

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'ENGINYERIA AGRONÒMICA I DEL
MEDI NATURAL



ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS Y SENSORIALES DE ESFERAS DE MICROALGAS

TRABAJO FINAL DE GRADO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE LOS ALIMENTOS

Curso académico: 2016/2017

AUTORA: VERA CEBRIÁN LLORET

TUTORA: PURIFICACIÓN GARCÍA SEGOVIA

COTUTORA: M^a JESÚS PAGÁN MORENO

COTUTOR COLABORADOR: JAVIER MARTÍNEZ MONZÓ

VALENCIA, JUNIO 2017



TÍTULO: ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS Y SENSORIALES DE ESFERAS DE MICROALGAS

RESUMEN:

En el presente trabajo se estudia el proceso de elaboración de un nuevo producto alimentario utilizando como base dos tipos diferentes de microalgas -*Chlorella vulgaris* y *Arthrospira platensis*-, elegidas debido a los beneficios que proporcionan sus propiedades a la salud humana. Además, estos beneficios se ven incrementados mediante la incorporación de batidos naturales a la formulación final del producto. Estos batidos están compuestos por una combinación de frutas y verduras como: zanahoria, pepino, naranja, manzana y apio que, aparte de elevar su valor nutricional, suponen un incremento en la intensidad de sabor del producto.

El objetivo principal es que el producto final tenga las características propias del caviar en cuanto a su forma, textura y tamaño, empleando para ello la técnica de esferificación inversa. Esta técnica parte de una disolución base en la que se encuentra el batido natural, la microalga utilizada, goma xantana al 1'2% y gluconolactato al 2%. Esta disolución se vierte sobre una disolución de alginato al 0,5%, consiguiendo así pequeñas esferas gelificadas de tamaño constante que mantienen en estado líquido su interior. Para concluir, se realizan diferentes pruebas físico-químicas como: textura, color o viscosidad, para comprobar su estabilidad, además de un análisis sensorial con el fin de conocer el grado de aceptabilidad del producto final.

Palabras clave: Microalgas, esferas, esferificación, caviar, *Spirulina*, *Chlorella*, batidos naturales.

AUTORA: Dña. Vera Cebrián Lloret

TUTORA: Prof. Dña. Purificación García Segovia

COTUTORA: Prof. Dña. M^a Jesús Pagán Moreno

COTUTOR COLABORADOR: Prof. D. Javier Martínez Monzó

VALENCIA, JUNIO 2017

**TITLE: STUDY OF PHYSICOCHEMICAL AND SENSORY PROPERTIES OF
MICROALGAE SPHERES**

ABSTRACT:

The object of study of this dissertation is the elaboration process of a new alimentary product, using as base two different kinds of microalgae -*Chlorella vulgaris* y *Arthrospira platensis*-, chosen because of the great benefits that their properties give to human health. Besides, these benefits are increased due to the incorporation of natural shakes to the final formulation of the product. These shakes are made of some fruits and vegetables like carrot, cucumber, orange, apple and celery that, in addition to raising their nutritional value, increase flavour intensity of the product.

The main objective is to obtain a final product to have the characteristics of caviar regarding its texture, shape and size, using for that purpose the reverse spherification technique. This method starts from a base dissolution containing the natural shake, the used microalgae, xanthan gum at 1'2% and gluconolactate at 2%. This dissolution is poured over a solution of alginate at 0,5%, getting, thereby, small gelled spheres which maintain their liquid state inside and with a constant size. To conclude, different physicochemical tests are carried out, such as texture, colour and viscosity to check their stability, aside from a sensorial analysis in order to know the degree of acceptance of the final product.

Key words: Microalgae, spheres, spherification, caviar, *Spirulina*, *Chlorella*, natural shakes.

AUTHOR: Dña. Vera Cebrián Lloret

TUTOR: Prof. Dña. Purificación García Segovia

COTUTOR: Prof. Dña. M^a Jesús Pagán Moreno

COTUTOR COLLABORATOR: Prof. D. Javier Martínez Monzó

VALENCIA, JUNE 2017

AGRADECIMIENTOS

A mis padres y mi hermano, sin vuestro apoyo y cariño nunca hubiera llegado hasta aquí.

A Puri, por tu paciencia y apoyo. Has hecho que todo sea más fácil.

A Vanessa, Álvaro, Yeraith y Gonzalo, mis compañeros de laboratorio, por el apoyo recibido en cada momento.

A Carlos tu apoyo, amor y cariño incondicional hacen que cualquier bache en el camino sea mucho más fácil de afrontar.

A María, Patricia y Anahí, habéis hecho de estos años en la universidad una aventura fascinante.

A mis amigos, los de toda la vida, gracias por estar ahí siempre.

ÍNDICE GENERAL.....	i
ÍNDICE DE TABLAS.....	ii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	iii

ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Esferificación.....	1
1.1.1. Ferran Adrià y la Fundación Alicia.....	1
1.1.2. Técnica de esferificación.....	1
1.2. Microalgas.....	3
1.2.1. Definición e historia.....	3
1.2.2. Composición.....	4
1.2.3. Especies utilizadas.....	7
1.3. Relación con el grado.....	9
2. OBJETIVOS.....	11
2.1. Objetivo general.....	11
2.2. Objetivos específicos.....	11
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	12
3.1. Plan de trabajo.....	12
3.2. Materias primas e ingredientes.....	13
3.2.1. Disolución base de alginato.....	13
3.2.2. Preparación de los batidos de microalgas.....	13
3.3. Análisis físico-químico	15
3.3.1. PH.....	16
3.3.2. Color.....	16
3.3.3. Viscosidad.....	17
3.3.4. Textura.....	17
3.4. Análisis sensorial.....	17
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	19
4.1. Análisis físicoquímico.....	19
4.1.1. PH.....	19
4.1.2. Color.....	19
4.1.3. Viscosidad.....	22
4.1.4. Textura.....	22
4.2. Análisis sensorial.....	23
5. CONCLUSIONES.....	27
6. BIBLIOGRAFÍA.....	28

ANEXO I: HOJA DE CATA

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.- Comparación del porcentaje de contenido proteico de algunos alimentos con el presente en las especies más importantes de microalgas.

Tabla 2.- Ácidos grasos poliinsaturados procedentes de microalgas con importante utilidad.

Tabla 3.- Contenido en minerales de algunas especies de microalgas.

Tabla 4.- Valor nutricional de la microalga *Chlorella vulgaris*

Tabla 5.- Valor nutricional de la microalga *Athrospira platensis*

Tabla 6.- Formulaciones diseñadas para la elaboración de las esferas.

Tabla 7.- Valor nutricional de cada formulación.

Tabla 8.- Resultados obtenidos para las medidas de pH en las cuatro muestras.

Tabla 9.- Resultados del valor promedio y desviación estándar de las coordenadas y atributos de color de las diferentes formulaciones de esferas de microalgas.

Tabla 10.- Resultados obtenidos tras las pruebas de viscosidad.

Tabla 11.- Deformación máxima (N) de las esferas.

Tabla 11.- Resultados de aceptabilidad sensorial para cada atributo evaluado.

Tabla 12.- Intención de compra de las esferas de microalgas.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Proceso de esferificación directa

Figura 2.-Proceso de esferificación inversa.

Figura 3.- Productos sintetizados por microalgas y áreas de aplicación.

Figura 4.- Estructura de las clorofilas a y b.

Figura 5.- Estructura química de a) licopeno, b) betacaroteno, c) astaxantina, d) luteína, e) cantaxantina.

Figura 6.- Estructura de: a) la ficocianina, b) ficoeritrina.

Figura 7.- Esferas con: a) *Chorella vulgaris* y b) *Arthrospira platensis*

Figura 8.- Muestras preparadas para la medición del color.

Figura 9.- Representación del plano C^* vs L^* .

Figura 10.- Representación del plano a^* vs b^* .

Figura 11.- Gráfico de medias de deformación máxima.

Figura 12.- Gráficas de deformación: a) 4min; b) 5min; c) 6min y d) 7min.

Figura 13.-Puntuaciones de los distintos atributos sensoriales para las cuatro muestras de esferas de microalgas.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. ESFERIFICACIÓN

En la actualidad, la gastronomía molecular le está ganando terreno a la cocina tradicional y cada vez son más los cocineros que dedican parte de su actividad profesional a la investigación de nuevas tecnologías que permiten la reinterpretación del uso de productos tradicionales de manera que, no solo el gusto y el olfato son utilizados, sino que los cinco sentidos del comensal son clave a la hora de degustar una receta. Algunas de estas nuevas técnicas de innovación se encuentran, por ejemplo, en el uso de espesantes, enzimas, nitrógeno líquido o, como es objeto de estudio en el presente trabajo, la técnica de esferificación, siendo Ferran Adrià uno de sus mayores exponentes a nivel mundial (Corell et al., 2007).

1.1.1. FERRAN ADRIÀ Y LA FUNDACIÓN ALICIA

Ferran Adrià, cocinero nacido en 1962, empezó su carrera cerca de unos fogones como friegaplatos, destacando su talento culinario desde una pronta edad. El azar lo llevó a El Bulli, un restaurante situado en la cala Montjoi de la Costa Brava, donde fue creciendo como profesional. Fue esta profesionalidad la que determinó que su restaurante fuera galardonado con hasta 3 estrellas Michelin y nombrado mejor restaurante del mundo durante cuatro años consecutivos (2006-2009). Pero si hay algo en lo que ha destacado Ferran Adrià en sus más de 20 años de profesión, es en reinventar la gastronomía tradicional, siendo impulsor de muchas nuevas técnicas culinarias tales como el uso del sifón para la elaboración de espumas o la gelificación controlada de un líquido. Esta última, denominada “esferificación” (gelificación del alginato en presencia de iones Ca^{2+}), fue presentada en El Bulli en el año 2003 coincidiendo, además, con la apertura de la Fundación Alicia (Alimentación y Ciencia) por parte de Adrià, que es un centro de investigación dedicado a la innovación tecnológica en cocina, a la mejora de los hábitos alimentarios y a la valoración del patrimonio agroalimentario y gastronómico.

1.1.2. TÉCNICA DE ESFERIFICACIÓN

La Esferificación como herramienta para la creatividad culinaria fue propuesta en 2003 por los hermanos Adrià. La técnica no es más que la encapsulación de un líquido o semilíquido en una película de alginato. Las esferas aparentemente sólidas, mantienen el interior en estado (semi)líquido. Pueden ser de diferentes tamaños, desde pequeñas huevas simulando auténtico caviar, hasta volúmenes mucho mayores. En 2017 han aparecido en el mercado las capsulas de agua especialmente diseñadas para la hidratación de corredores en el avituallamiento durante la carrera (SKIPPING ROCKS LAB, 2017). Están constituidas por una delgada membrana, formada por la reacción de dos compuestos, por un lado, alginato sódico, que es un espesante natural procedente de algas, y por otro, una solución rica en calcio. Esta membrana, es la encargada de contener el líquido, hasta que se ejerce una pequeña presión con la lengua, la cual provoca que se rompan y liberen su contenido, con una instantánea y sorprendente explosión de sabor en la boca. Las esferas son flexibles y pueden ser manipulados con cuidado. Existen dos técnicas oficiales de esferificación desarrollada en gastronomía: directa e inversa (Corell et al., 2007),(COCINA CREATIVA-CERVEZA CASERA, 2017) .

Esferificación directa o básica

Esta técnica es ideal para la elaboración de esferas con una membrana tan fina que resulta casi imperceptible en la boca.

Para su elaboración se parte de un producto, generalmente en estado líquido, el cual se combina con alginato. A su vez, por otro lado, se elabora una disolución de agua rica en cloruro cálcico. Una vez que se tienen ambas disoluciones, se deja caer con un cuentagotas la disolución formada por producto+alginato sobre la formada por agua+calcio. El contacto entre calcio y alginato provoca la gelificación de la capa externa de las esferas y hace posible su elaboración.

Como resultado, se obtiene una esfera que explota fácilmente en la boca, transformándose la sensación de algo sólido sin apenas sabor, a una explosión líquida con un sabor intenso.

El principal problema de esta técnica es que una vez que la esfera se retira del baño de calcio, el proceso de gelificación continúa incluso después de enjuagar la esfera con agua. Ello significa que las esferas deben ser servidas de inmediato o se convertirían en una bola de gel compacto sin líquido en su interior. El otro problema principal que presenta esta técnica es que la gelificación no se produce si la acidez del líquido es alta ($\text{pH} < 3,6$). (Corell et al., 2007)

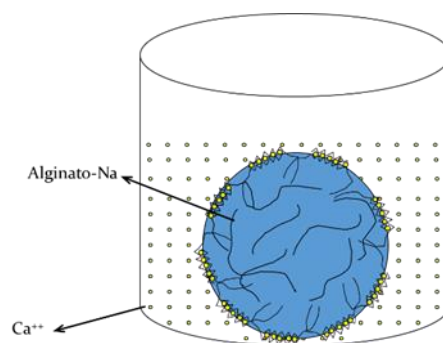


Figura 1.- Proceso de esferificación directa

Esferificación inversa

Es una técnica mucho más versátil que la esferificación directa, ya que se pueden hacer esferas con casi cualquier producto.

Para su elaboración, se parte de un producto, generalmente en estado líquido, el cual es combinado con calcio. Si el producto escogido posee una baja viscosidad, dificultando así el proceso de esferificación, a esta disolución se le puede añadir goma xantana como espesante. Por otro lado, se elabora una disolución de alginato. Una vez que se tienen ambas disoluciones, se deja caer con un cuentagotas la disolución formada por producto+calcio sobre la formada por agua+alginato. El contacto entre calcio y alginato provoca la gelificación de la capa externa de las esferas y hace posible su elaboración.

Contrariamente a las esferas producidas mediante la técnica directa, estas poseen una membrana más gruesa y son de larga duración ya que el proceso de gelificación se detiene en el momento en que la esfera es retirada del baño de alginato y ha sido enjuagada con agua. Gracias a estas características, las esferas se pueden manipular más fácilmente y conservarse en óptimas condiciones durante varios días.

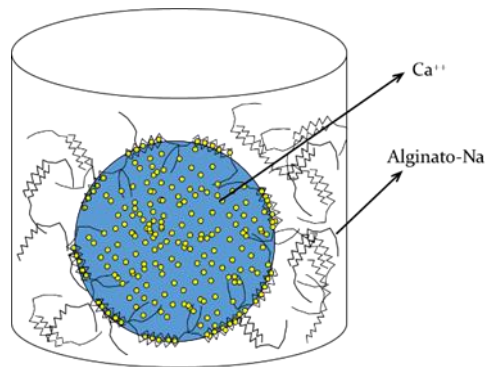


Figura 2.-Proceso de esferificación inversa.

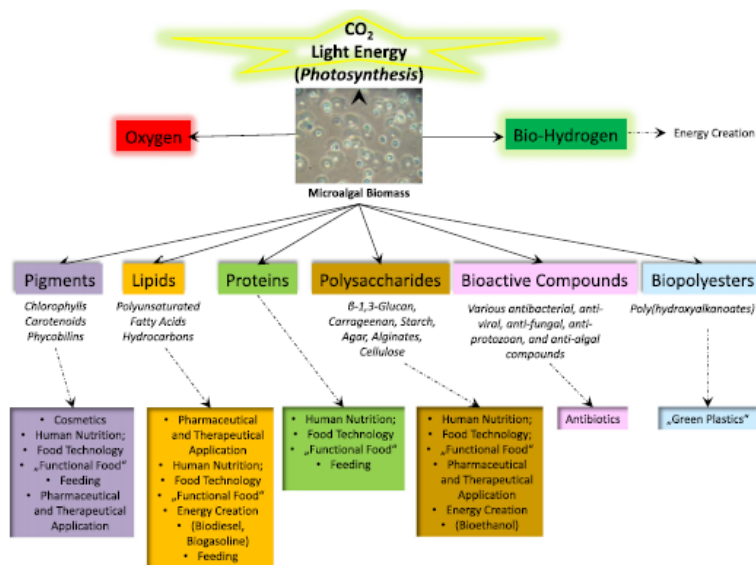
1.2. MICROALGAS

1.2.1. DEFINICIÓN E HISTORIA

Las microalgas son organismos unicelulares eucariotas fotosintéticos (2-200 μm), que pueden crecer de modo autotrófico o heterotrófico. Están presentes en todos los ambientes con agua, como lagos, mares y ríos, aunque también pueden encontrarse en el suelo. Habitan la mayoría de los ambientes terrestres, incluso los más extremos, lo cual permite hallarlas ampliamente distribuidas en la biósfera. (Chacón-Lee y González-Mariño, 2010)

En general, son altamente eficientes en la fijación del CO_2 y utilización de la energía solar para producir biomasa, con una eficiencia hasta cuatro veces superior a la de las plantas. Esto es debido a que poseen una estructura celular más sencilla y, además, se encuentran completamente sumergidas en un medio acuoso, por lo que toda su superficie se define como un área de intercambio de nutrientes y CO_2 (Chacón-Lee y González-Mariño, 2010).

La importancia de las microalgas radica en su papel como productoras primarias de la cadena trófica, convirtiéndolas en las primeras productoras de materia orgánica. Son la base de las redes tróficas, su gran número de especies y su versatilidad permiten utilizarlas en diferentes campos industriales con grandes posibilidades de éxito. Aunque los inicios de su consumo se remontan a los aztecas, su cultivo no empezó a desarrollarse hasta los años 50 del siglo pasado. Desde entonces, existe una incipiente industria basada en la biotecnología de algas que se ha ido desarrollando gracias a las industrias alimentaria, acuícola, farmacológica, cosmética y, últimamente, energética. En la actualidad, existen más de 30.000 especies de microalgas, de las cuales unas 100 han sido estudiadas y solo unas 10 se explotan comercialmente. (González, 2015)



Fuente: Koller et al., 2014

Figura 3.- Productos sintetizados por microalgas y áreas de aplicación

1.2.2. COMPOSICIÓN

Proteínas

Son de gran importancia en la composición de las microalgas debido a que participan significativamente en sus funciones vitales: crecimiento, reparación y enriquecimiento de la célula, sirven como motores celulares, mensajeros químicos, reguladores de actividades celulares y defensa contra antígenos. (Safi et al.,2014)

Su alta calidad nutricional es determinada mediante el contenido en aminoácidos esenciales no sintetizables (Tabla 1) por las células animales tales como: lisina, valina, metionina, triptófano, treonina o histidina. Siendo sus valores comparables con los presentes en el huevo, la carne o la soja. (Safi et al.,2014); (Spolaore et al.,2006)

Tabla 1.- Comparación del porcentaje de contenido proteico de algunos alimentos con el presente en las especies más importantes de microalgas.

Mercancía	Proteína
Levadura de panadería	39
Carne	43
Leche	26
Arroz	8
Soja	37

<i>Anabaena cylindrica</i>	43-56
<i>Chlamydomonas reinhardtii</i>	48
<i>Chlorella vulgaris</i>	51-58
<i>Dunaliella salina</i>	57
<i>Porphyridium cruentum</i>	28-39
<i>Scenedesmus obliquus</i>	50-56
<i>Spirulina maxima</i>	60-71
<i>Synechococcus sp.</i>	63

Fuente: Spolaore et al.,2006

Ácidos grasos

Las microalgas son de gran interés como fuente de ácidos grasos, especialmente, ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga (Tabla 2), los cuales pueden separarse en dos grupos. Por un lado, se encuentran los omega 6: ácidos linolénico y araquidónico; y por otro, parte los omega 3: ácidos eicosapentaenoico (EPA) y docosahexaenoico (DHA) (Borowitzka,2013).

Estos ácidos grasos necesitan ser incorporados al organismo mediante la nutrición ya que las plantas y animales superiores carecen de las enzimas necesarias para sintetizarlos. Generalmente, esta incorporación se realiza mediante la ingesta de pescado y aceite de pescado, pero en la actualidad, se han planteado problemas de seguridad debido a su posible acumulación de toxinas. (Spolaore et al., 2006).

Tabla 2. – Ácidos grasos poliinsaturados procedentes de microalgas con importante utilidad.

PUFA	Estructura	Aplicación principal
ácido linolénico (GLA)	18:3 ω6, 9, 12	Alimentación para infantes y suplementos nutricionales
ácido araquidónico (AA)	20:4 ω6, 9, 12,15	Alimentación para infantes y suplementos nutricionales
ácido eicosapentaenoico (EPA)	20:5 ω3, 6, 9, 12, 15	Suplementos nutricionales y acuicultura
Ácido docosahexaenoico (DHA)	22:6 ω3, 6, 9, 12, 15,18	Alimentación para infantes, suplementos nutricionales y acuicultura

Fuente: Spolaore et al.,2006

Vitaminas y minerales

La biomasa de microalgas es rica en las siguientes vitaminas: A, B1, B6, B12, C, E, biotina, riboflavina, ácido nicotínico, pantotenato y ácido fólico. (Gouveia et al., 2007); (Safi et al.,2014). Además, son ricas en minerales tal y como se puede apreciar en la Tabla 3.

Tabla 3.- Contenido en minerales de algunas especies de microalgas.

	<i>Spirulina maxima</i>	<i>Chlorella vulgaris</i> (verde)	<i>Chlorella vulgaris</i> (naranja)	<i>Haematococcus pluvidis</i>	<i>Diatronema vlkianum</i>
N (%)	7,19	6,08	2,02	1,64	6,15
P (%)	1,29	1,53	1,01	1,31	1,49
K (%)	2,58	0,98	0,45	0,97	0,72
Ca (%)	0,91	4,73	0,8	0,25	0,91
Mg (%)	0,35	1,46	0,18	0,22	0,53
Na (%)	8,53	0,98	4,84	5,87	1,03
Cu(mg/kg)	1,1	2,2	1	344	1,9
Mn(mg/kg)	24,6	471,5	11,7	111,9	2548,7
Zn(mg/kg)	3,5	17,5	17,8	232,2	91,3
Fe(mg/kg)	93,6	166,3	17,2	822,7	208,1

Fuente: Batista et al., 2013

Pigmentos

Se pueden hallar tres grupos principales de pigmentos a saber: las clorofilas, que son las causantes del color verde; carotenoides, entre los que se pueden encontrar, por un lado, los carotenos proporcionando una coloración naranja, y, por otro, las xantofilas, responsables del color amarillento; y las ficobiliproteínas, otorgando una coloración roja o azul. (Koller et al., 2014)

- **Clorofilas:**

Son los pigmentos más predominantes en las microalgas. Su utilización como aditivo alimentario está permitido siendo utilizado como colorante para otorgar una coloración verde al producto. Además, estudios recientes han determinado que tienen actividad anticancerígena si se consumen como suplemento alimentario. (Koller et al., 2014)

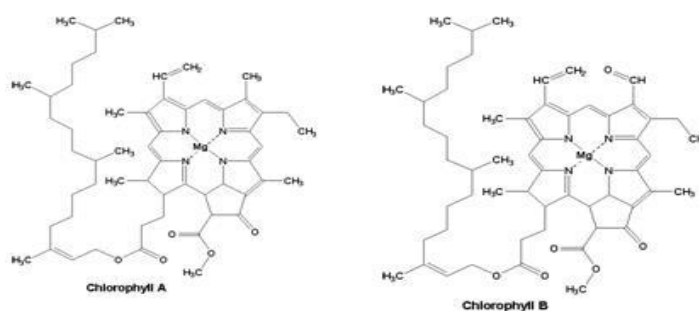


Figura 4.- Estructura de las clorofilas a y b

- **Carotenoides:**

Absorben energía electromagnética en rangos espectrales donde las clorofilas no son capaces de hacerlo, principalmente en longitudes de onda entre 400-500 nm. Esta energía es transferida a la clorofila *a* para ser finalmente utilizado durante la fotosíntesis. Presentan un alto potencial como antioxidantes, protegiendo las células de las algas contra los efectos negativos

de la radiación solar excesiva. (Kollet et al., 2014) Los más utilizados son: β -caroteno, astaxantina y, con menor importancia, luteína, zeaxantina, licopeno y bixina (Figura 5). Siendo sus usos más importantes como colorantes alimentarios naturales y como aditivos para alimentación animal (aves de corral, pescado). La importancia nutricional y terapéutica de estos pigmentos se debe a su capacidad para actuar como provitamina A, es decir, se pueden convertir en vitamina A. Además, presentan propiedades antiinflamatorias que se han relacionado con una disminución del riesgo de algunas enfermedades como la arteriosclerosis o el cáncer. (Spolaore et al., 2006)

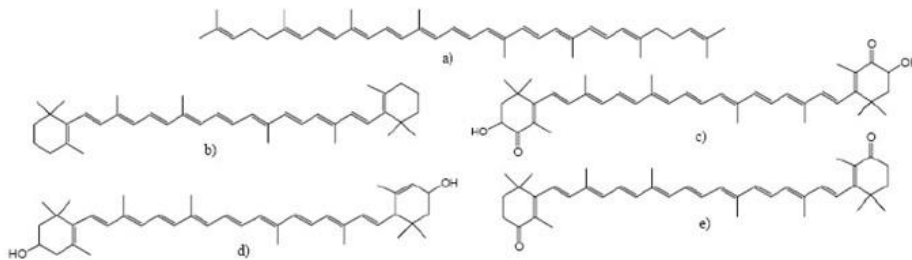
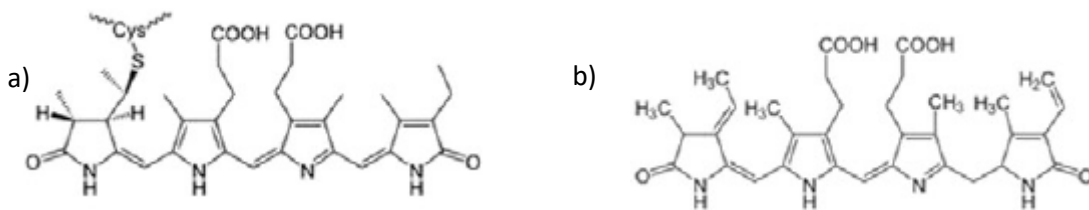


Figura 5.- Estructura química de a) licopeno, b) betacaroteno, c) astaxantina, d) luteína, e) cantaxantina.

- **Ficobiliproteínas:**

Su principal uso es como colorantes naturales, pero un número creciente de investigaciones han demostrado sus propiedades promotoras de la salud y una amplia gama de aplicaciones farmacéuticas. Además, pueden utilizarse como reactivos fluorescentes muy potentes y altamente sensibles. Los más utilizados son la ficocianina y ficoeritrina (Figura 6).



Fuente: Koller et al., 2014

Figura 6.- Estructura de: a) la ficocianina, b) ficoeritrina.

1.2.3. ESPECIES UTILIZADAS

Para la elaboración de este novedoso producto, se han utilizado dos especies diferentes de microalgas: *Chlorella vulgaris* y *Arthrospira platensis*

Chlorella vulgaris

Alga verde unicelular perteneciente al reino Protista. Tiene forma esférica, diámetro de 2 a 10 μm , no posee flagelo y se encuentra presente en la mayoría de los espacios de agua dulce.

- **Beneficios y propiedades:**

Su elevada capacidad para eliminar las toxinas del cuerpo humano, incluyendo el hígado, los intestinos y la sangre, ha motivado su uso entre los científicos japoneses como método de evacuación de metales pesados en los cuerpos de los pacientes. Además, en los últimos años, se ha convertido en un elemento fundamental de la formulación de algunas cremas corporales de elevado coste, y ello debido al poder de reparación de la piel dañada que esta microalga posee, ya que contiene una hormona que estimula el crecimiento natural y la regeneración celular.

Posee un elevado valor nutricional con un contenido en proteínas de aproximadamente el 50%. Además, cuenta con una gran variedad de aminoácidos esenciales, entre los que pueden destacar: la metionina, leucina, alanina o lisina. Los cuales, son necesarios para el buen funcionamiento del organismo y necesariamente introducidos en él mediante la dieta.

Por otro lado, destaca por ser rica en vitaminas, como la vitamina C, que, junto a la clorofila, ayudan al organismo en la absorción de hierro. También, en minerales, como el fósforo, necesario para el proceso de absorción del calcio. Además, presenta gran cantidad de luteína, un pigmento natural que protege los ojos de la formación de cataratas, y suficiente beta caroteno y xantófilas para que tenga un importante poder antioxidante (Spolaore et al.,2006)

Su contenido en clorofila es espectacular, siendo una de las mejores sustancias para la limpieza del intestino y sistema linfático, el hígado y la sangre.

Tabla 4.- Valor nutricional de la microalga *Chlorella vulgaris*

Proteína	45-55 %
Ácidos grasos	8-13 %
Carbohidratos	30-35 %
Minerales	6-9 %
Fibra	15-26 %

- **Contraindicaciones:**

Puede existir fotosensibilidad en personas que tomen elevadas dosis de *Chlorella vulgaris*. También puede producir un aumento del ácido úrico, náuseas y malestar estomacal, además de provocar la formación de gases y flatulencias, debido al aumento del peristaltismo intestinal. (SUPERALIMENTOS, 2017)

Arthrospira platensis

Es una cianobacteria con capacidad fotosintética, formada por filamentos con estructura helicoidal, crece en aguas alcalinas y posee un color verde-azulado.

- **Beneficios y propiedades:**

Es un complemento nutricional muy completo ya que es rica en proteínas, hidratos de carbono, fibras, minerales, vitaminas, clorofila a, β -caroteno, luteína, zeaxantina y mucílagos.

Dentro del grupo de las ficobiliproteínas se encuentra la ficocianina, un pigmento fotosintético de color azul con propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y antienvjecimiento.

Además de su uso como complemento nutricional en dietas de adelgazamiento, se ha demostrado una mejora del rendimiento físico tras la ingesta de esta microalga, gracias a su efecto antioxidante.

Posee propiedades inmunoestimulantes, asociadas a su fracción polisacáridica, y hepatoprotectoras relacionadas con su contenido en carotenoides. También, se han investigado las propiedades antiinflamatorias, hipoglucemiantes e hipolipidémicas de la *Arthrospira platensis*, comprobándose que ayuda a disminuir la glucosa, el colesterol total y LDL en sangre, mientras que incrementa el colesterol HDL. (TOPPLANT, 2015)

Tabla 5.- Valor nutricional de la microalga *Arthrospira platensis*

Proteína	55-70 %
Ácidos grasos	5-7 %
Carbohidratos	10-30 %
Fibra	1-3 %

- **Contraindicaciones:**

Está contraindicada en personas con niveles altos de ácido úrico. Se desaconseja para mujeres embarazadas o en periodo de lactancia. Tampoco es recomendado su consumo en niños y menores de 18 años. (TOPPLANT, 2015)

1.3. RELACIÓN CON EL GRADO

Los conocimientos adquiridos en las diferentes asignaturas del grado en Ciencia y Tecnología de los Alimentos han sido fundamentales a la hora de poder llevar a cabo este proyecto, como se expone seguidamente:

En primer lugar, la asignatura de *Dietética* supuso una primera toma de contacto con el desarrollo de nuevos productos ya que, durante su impartición, los alumnos tuvimos que elaborar un producto saludable, partiendo de una idea propia y siguiendo los pasos propios del departamento de I+D de una empresa alimentaria;

Por otro lado, durante el desarrollo de las esferas de microalgas, los conocimientos adquiridos a partir de las asignaturas *Nutrición Humana* y *Composición química de los alimentos*, han sido clave para conocer y comprender todos los elementos que componen el producto final.

En concreto, la asignatura *Nutrición Humana* ha sido especialmente provechosa, ya que me ha dado las herramientas necesarias para llevar a cabo la evaluación nutricional del producto;

En cuanto a la asignatura de *Análisis y control de la calidad*, si bien ciertos conocimientos impartidos en la misma fueron de utilidad en lo que respecta al párrafo anterior, ha sido especialmente provechosa para realizar el análisis de calidad del producto -concretamente, en lo que concierne a la realización del análisis sensorial-;

A continuación, cursar la asignatura de *Propiedades Físicas de los alimentos* me ha permitido saber cuáles eran las propiedades físico-químicas necesarias que debían medirse para asegurar la estabilidad del producto final;

Por último, a partir de la asignatura *Ingeniería de la calidad* me ha sido posible conocer las herramientas necesarias para llevar a cabo la evaluación estadística de los resultados obtenidos en las propiedades medidas, mientras que el conocimiento de la legislación alimentaria otorgada por la asignatura *Normalización y Legislación Alimentaria* ha sido fundamental para conocer el uso permitido y dosis adecuada de los aditivos presentes en el producto.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

El objetivo del presente trabajo es el desarrollo de esferificaciones que tienen como base en su proceso de elaboración dos tipos de microalgas: *Chlorella vulgaris* y *Arthrospira platensis*. Se pretende que simule el caviar auténtico y destaque como un producto innovador de alto valor nutricional, al introducir las microalgas como fuente alimentaria.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desarrollar formulaciones donde las microalgas se mezclen con distintos tipos de batidos vegetales.
- Evaluación de los parámetros fisicoquímicos de las formulaciones desarrolladas.
- Aceptación del producto por parte del consumidor mediante análisis sensorial.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. PLAN DE TRABAJO

Para poder desarrollar como producto las esferas con microalgas y, por consiguiente, alcanzar los objetivos marcados anteriormente, se ha seguido el siguiente plan de trabajo:

1. Realización de una búsqueda de productos similares que actualmente se encuentren en el mercado con el objetivo de conocer los diferentes ingredientes y aditivos que se emplean para su elaboración.
2. Realización de una búsqueda de posibles técnicas de elaboración del producto además de artículos científicos que definan sus propiedades a medir.
3. Pruebas preliminares de esferas con microalgas
 - a. Diferentes formulaciones con el fin de ajustar las concentraciones de alginato, gluconolactato y goma xantana, para la correcta formación de la esfera.
 - b. Diferentes formulaciones con muestras de batidos naturales para definir el sabor de las esferas.
4. Elaboración de la formulación final del producto
 - a. Elección de las concentraciones adecuadas de alginato, gluconolactato y goma xantana en el proceso de elaboración.
 - b. Elección de las concentraciones adecuadas de *Arthrospira platensis* y *Chlorella vulgaris*.
 - c. Elección de las concentraciones adecuadas de las frutas y verduras que forman la base del batido.
 - d. Evaluación de los parámetros fisicoquímicos de las esferas de microalgas.
5. Medida de evaluación del producto por parte del consumidor.
 - a. Medida del grado de aceptación de las esferas de microalgas por parte del posible consumidor mediante la realización de una cata.
 - b. Evaluación de los resultados obtenidos tras la realización de la cata.

3.2. MATERIAS PRIMAS E INGREDIENTES

Los componentes utilizados para la realización de las esferas de microalgas se pueden diferenciar en dos grupos: en primer lugar, materias primas e ingredientes destinados a la elaboración de la disolución de alginato, es decir, el medio gelificante; en segundo lugar, materias primas e ingredientes destinados a la elaboración del producto a gelificar.

3.2.1. DISOLUCIÓN BASE DE ALGINATO

Para la elaboración del medio gelificante se preparó una disolución con una concentración de alginato al 0,5%. Este compuesto procedente de las paredes celulares de las algas marinas pardas se obtiene a partir de un conjunto de reacciones de intercambio iónico para la extracción del ácido algínico del alga en forma de alginato de sodio (Avedaño et al., 2013). En este caso, se ha utilizado alginato en polvo (Sosa Ingredients, Barcelona). Además del alginato, se necesita agua destilada de baja mineralización, ya que la presencia de calcio en la disolución de alginato podría dificultar el proceso de gelificación e incluso impedirlo.

3.2.2. PREPARACIÓN DE LOS BATIDOS DE MICROALGAS

Para la realización de los medios a gelificar - "Producto 1" y "Producto 2"- se utilizan dos tipos de batidos naturales. En el "Producto 1", el batido está compuesto por zanahoria, manzana y pepino. Y en el "Producto 2", el batido está compuesto por naranja, pepino, manzana, apio y espinacas.

La fusión de estas diferentes frutas y verduras da como resultado batidos caracterizados por un aporte calórico bajo. Además, presentan un potente y fresco sabor en boca por lo que resultan una elección idónea para formar parte del proceso de elaboración de las esferas de microalgas.

Además, como producto base para la elaboración de las esferas, a los batidos naturales anteriormente citados se les incorporan dos tipos de microalgas: *Arthrospira platensis* y *Chlorella vulgaris*. Como ya se ha explicado anteriormente (Apartado 1.2.3. Especies utilizadas) dichos productos son utilizados como suplementos alimenticios, dado su elevado valor nutritivo, ya que presentan un gran contenido en proteínas, vitaminas, carotenoides, antioxidantes y otras sustancias de gran interés y beneficio para la salud humana. Las microalgas utilizadas para la realización de las esferas han sido cultivadas y producidas por ALGAENERGY (Madrid, España).

De cada batido se extraen dos muestras, a cada una de las cuales se les incorpora un tipo de microalga, dando lugar a cuatro formulaciones finales distintas, a saber: ZMPch, ZMPs, NMPAEch, NMPAEs

Por otra parte, para poder llevar a cabo las reacciones que permiten el proceso de esferificación, se utiliza gluconolactato de calcio al 2% (Solé Graells, Barcelona) y goma xantana al 1,2% (Solé Graells, Barcelona).

El gluconolactato es un aditivo alimentario utilizado para incrementar la concentración de calcio en un alimento siendo muy útil ya que, además, carece completamente de sabor. En el proceso de esferificación es el encargado de reaccionar con el alginato provocando la gelificación de la capa externa de la esfera. Presenta una forma de empleo muy sencilla debido a su textura en polvo y su fácil disolución tanto en frío como en caliente. “

La goma xantana es un aditivo utilizado en la técnica de esferificación como espesante. De esta manera, si el medio a esferificar no posee la fuerza suficiente para penetrar completamente en la disolución de alginato, este aditivo le aporta una mayor viscosidad favoreciendo así el proceso.

A continuación, en la Tabla 6 se señala la cantidad utilizada de cada uno de los ingredientes empleados en la formulación final de las cuatro muestras.

Tabla 6.- Formulaciones diseñadas para la elaboración de las esferas.

Ingredientes	ZMPch	ZMPs	NMPAEch	NMPAEs
Zanahoria	93 g	93 g	x	x
Manzana	165 g	165 g	125 g	125 g
Naranja	x	x	105 g	105 g
Pepino	52 g	52 g	125 g	125 g
Espinacas	x	x	10 g	10 g
Apio	x	x	5 g	5 g
Gluconolactato	3,6 g	3,6 g	3,5 g	3,5 g
Goma Xantana	2,16 g	2,16 g	2,1 g	2,1 g
<i>Chlorella vulgaris</i>	0,9 g	x	0,88 g	x
<i>Arthrospira platensis</i>	x	0,9 g	x	0,88 g

Nota: **ZMPch** fórmula 1 (zanahoria, manzana pepino) con chorella; **ZMPs** fórmula 1 (zanahoria, manzana, pepino) con spirulina. **NMPAEch**: fórmula 2 (naranja, manzana, pepino, apio, espinacas) con chorella; **NMPAEs**: fórmula 2 (naranja, manzana, peino, apio, espinacas) con spirulina.

Seguidamente, en la Tabla 7 se muestra el contenido nutricional para cada una de las formulaciones previamente citadas. Esta información se da para 100g de producto y a su vez, para 50g de producto, lo que corresponde con la cantidad estimada de producto por envase a comercializar.

Tabla 7.- Valor nutricional de cada formulación.

	ZMPch		ZMPs		NMPAEch		NMPAEs	
	100g	50g	100g	50g	100g	50g	100g	50g
Energía (kcal)	134,29	67,15	134,11	67,06	133,38	66,69	133,20	66,60
Proteínas (g)	2,10	1,05	2,19	1,10	2,82	1,41	2,91	1,46
Lípidos totales (g)	0,34	0,17	0,30	0,15	0,34	0,17	0,30	0,15
AG saturados (g)	0,09	0,04	0,07	0,04	0,11	0,05	0,09	0,05
AG monoinsaturados (g)	0,03	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01
AG poliinsaturados (g)	0,18	0,09	0,16	0,08	0,16	0,08	0,14	0,07
Hidratos de carbono (g)	27,85	13,92	27,73	13,87	26,86	13,43	26,74	13,37
Fibra(g)	6,39	3,20	10,26	5,13	6,08	3,04	9,95	4,97

Fuente: Tablas de composición de los alimentos de la Fundación Española de la Nutrición

A continuación, en la Figura 7 se muestran dos ejemplos de batidos naturales y de esferas realizadas con *Chlorella vulgaris* y con *Arthrospira platensis*.

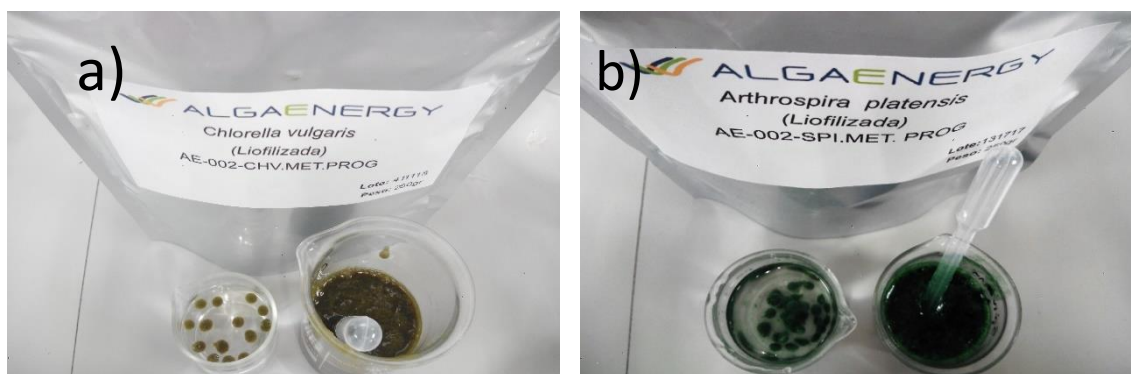


Figura 7.- Esferas con: a) *Chlorella vulgaris* y b) *Arthrospira platensis*

3.3. ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS

Para determinar la calidad de las esferas de microalgas se han realizado diversas pruebas físico-químicas tales como: medida del pH, color, viscosidad y textura.

3.3.1. PH

La obtención del pH es muy importante durante los procesos de elaboración de los productos alimentarios, ya que sirve para el control de los procesos de transformación, incluyendo los procesos de conservación de los alimentos, además de que sirve como indicador de las condiciones higiénicas del producto. En el proceso de esferificación con alginato el pH es un parámetro significativo, ya que para que la gelificación se produzca de forma correcta es necesario un pH entre 4-6.

Para la determinación del pH de las diferentes formulaciones de las esferas de microalgas se utilizó un PH-metro CRISON multimeter MM 41 (CRISON, Barcelona, España) a una temperatura aproximada de 23°C.

3.3.2. COLOR

En la industria de alimentos, el color supone un factor decisivo en la intención de compra de un producto por parte del consumidor, lo que hace necesario su control al evaluar la calidad comercial del producto. Esto es así debido a que está correlacionado muchas veces con la calidad nutricional, el estado sanitario, la presencia de defectos externos o internos o la concentración en determinados colorantes entre otros muchos aspectos.

Para realizar la medición del color de las esferas de microalgas se realizaron tres medidas a cada una de las cuatro formulaciones diseñadas. Para ello, se utilizó un espectrofotómetro Minolta CM-700d (Minolta Konica Gbhm, Tokyo, Japón).

A partir de los valores de L^* , a^* y b^* , se pueden obtener los atributos de color percibido siendo: luminosidad (L^*), el tono (h^*_{ab}) y el croma (C^*_{ab}) que pueden obtenerse mediante el uso de las ecuaciones siguientes:

$$h^*_{ab} = \arctg \frac{b^*}{a^*}$$

h^* representa el ángulo que mide la tonalidad, indicando la orientación relativa del color respecto al origen 0°

$$C^*_{ab} = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$$

C^* representa la saturación de un color siendo medida desde el punto central del espacio de color y a lo largo de una línea recta que se extiende hacia fuera de dicho punto.

3.3.3. VISCOSIDAD

La medida reológica de materias primas y de productos en elaboración, resulta de gran utilidad para el control de procesos y para conocer la funcionalidad de determinados ingredientes en el desarrollo de nuevos productos. Además, influye de forma muy considerable en el grado de aceptación del producto por parte del consumidor (Chiralt et al., 2007).

La viscosidad es una característica de los fluidos en movimiento. Muestra una tendencia de oposición hacia su flujo ante la aplicación de una fuerza. Esta oposición es debida a las fuerzas de adherencia que poseen las moléculas de un líquido con respecto a las otras moléculas del mismo líquido.

Para llevar a cabo la medida de la viscosidad de las cuatro muestras destinadas a la elaboración de las esferas de microalgas se utilizó un viscosímetro Fungilab Smart Series (Fungilab S.A., Barcelona, España).

3.3.4. TEXTURA

La textura de los alimentos abarca, además de aspectos reológicos, otros aspectos más relacionados con sensaciones percibidas en el momento de la ingesta del alimento como puede ser, en el caso de las esferas de microalgas, la ruptura de la esfera durante la masticación. Debido a que la textura supone un parámetro de calidad que es consecuencia de un conjunto de sensaciones percibidas por los seres humanos, podría definirse como el conjunto de atributos mecánicos, geométricos y superficiales de un producto perceptibles por medio de receptores mecánicos, táctiles y, si es apropiado, visuales y auditivos (Chiralt et al., 2007).

Existen gran variedad de ensayos que pueden determinar la textura de un alimento, pero, para determinar el más adecuado se deben analizar ciertos factores como: la naturaleza del producto, si puede tratarse de un ensayo destructivo o no, el tiempo del que se dispone para poder realizarlo, e incluso, el lugar de localización del equipo que va a realizar el ensayo (Chiralt et al., 2007). Después de analizar estos factores teniendo en cuenta la naturaleza de las esferas de microalgas, se decidió que el ensayo que mejor se adaptaba a ellas era el ensayo de deformación, clasificado dentro del grupo de ensayos por compresión.

Para llevar a cabo el ensayo de deformación sobre las esferas de microalgas se utilizó un texturómetro TA-XTPlus (Stable microsystems, Godalming, Reino Unido), empleando una sonda de compresión cilíndrica P/12, es decir, de 12 mm de diámetro. El ensayo se realizó bajo las siguientes condiciones: se aplicó una deformación del 10% y una velocidad de ensayo de 10 mm/s.

3.4. ANÁLISIS SENSORIAL

El análisis sensorial es definido como el conjunto de técnicas de medida y evaluación de determinadas propiedades de los alimentos por uno o más de los sentidos humanos, es decir, es la calidad evaluada con los sentidos. Supone una herramienta de vital importancia en el

control de calidad de alimentos puesto que de ella depende en gran medida que el consumidor acepte o rechace un producto.

La evaluación sensorial de las esferas de microalgas se llevó a cabo mediante la realización de una cata en la que participaron 35 jueces no entrenados que evaluaron mediante una escala Likert de 9 puntos: tamaño, color, textura en boca, intensidad de sabor y potencia del sabor marino presente en las esferas. Además, también se les planteó como cuestión si estarían dispuestos a comprar el producto si lo pudieran hallar en su supermercado habitual. La presentación de las muestras se realizó de forma monádica.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

4.1. ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO

4.1.1. PH

Para conseguir una buena reacción entre el alginato y el gluconolactato de calcio, se necesita un pH ácido cuyo valor se encuentre aproximadamente entre 4-6. En el caso de que el producto tuviera un pH inferior, este se puede incrementar mediante el uso de citras, un producto elaborado a base de citrato sódico que tiene la propiedad de reducir la acidez de los alimentos.

Para llevar a cabo la medición del pH, primero se realizó la calibración del instrumento y, después de corroborar su buen funcionamiento, se realizó la medida de cada una de las cuatro muestras, las cuales se encuentran representadas en la Tabla 8.

Tabla 8.- Resultados obtenidos para las medidas de pH en las cuatro muestras.

	NMPAEs	ZMPs	ZMPch	NMPAEch
pH	5,07	5,18	5,2	5,06

Como se puede observar, todas las muestras presentan un valor de pH en el rango óptimo definido para el buen desarrollo de las reacciones que permiten el proceso de gelificación del alginato en presencia de iones Ca^{2+} .

4.1.2. COLOR

Las esferas están compuestas por *Arthrospira Platensis* y *Chlorella vulgaris*. Estas microalgas se caracterizan por presentar un elevado contenido en clorofila. Este pigmento destaca por otorgar una coloración verde intensa al individuo que la posee, esto es debido a su capacidad para absorber la luz violeta, roja y azul y reflejar la verde. Por tanto, cabe esperar que las esferas presenten una coloración verde un tanto alterada, debido a la presencia de otras frutas y verduras en su formulación. Específicamente, esta alteración debe percibirse más en las muestras en las que se ha utilizado zanahoria en su proceso de elaboración ya que presentan β -carotenos, los cuales absorben la luz verde y reflejan la luz amarilla y naranja.



Figura 8.- Muestras preparadas para la medición del color.

Para llevar a cabo la evaluación del color de las preparaciones de microalgas las medidas de cada una de las cuatro muestras se realizaron por triplicado. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 9.

Tabla 9.- Resultados del valor promedio y desviación estándar de las coordenadas y atributos de color de las diferentes formulaciones de esferas de microalgas.

	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	C* (croma)	h* (tono)
NMPAEs	24,9 ± 0,2 ^a	-9,1 ± 0,2 ^a	13,4 ± 0,3 ^a	16,2 ± 0,4 ^a	124,03 ± 0,31 ^a
ZMPch	29,1 ± 0,4 ¹	1,04 ± 0,02 ¹	13'4 ± 0,6 ¹	13,4 ± 0,5 ¹	85'6 ± 0,3 ¹
ZMPs	31 ± 1 ^b	-2'09 ± 0,07 ^b	2,6 ± 0,2 ^b	3'3 ± 0,2 ^b	129 ± 2 ^b
NMPAEch	29,6 ± 0,3 ¹	-2,04 ± 0,17 ²	15,8 ± 0,5 ²	15'9 ± 0,5 ²	97,4 ± 0,4 ²

Nota: Letra o número diferente en la misma columna denota diferencia significativa

Si se analiza cada coordenada y atributo de color, se puede afirmar que la muestra ZMPs posee una mayor luminosidad (L*) que el resto, siendo a su vez, la muestra NMPAEs la que presenta el menor valor de este atributo. Ambas muestras se caracterizan por poseer la misma cantidad de la ciannobacteria *Arthrospira platensis* en su formulación, pero, por otro lado, difieren del resto de ingredientes utilizados para la elaboración del batido natural. Es esta diferencia de ingredientes la que provoca que los valores de luminosidad (L*) entre estas dos muestras sea estadísticamente significativas.

Por otro lado, las muestras ZMPch y NMPAEch presentan valores similares para cada uno de los atributos y las coordenadas La luminosidad de ambas formulaciones no difiere estadísticamente, encontrándose diferencias en el resto de parámetros debidas a las diferencias en los ingredientes de ambas.

Para poder observar donde se sitúan las muestras en el espacio de color CIE L*a*b*, se representan a partir de los siguientes gráficos.

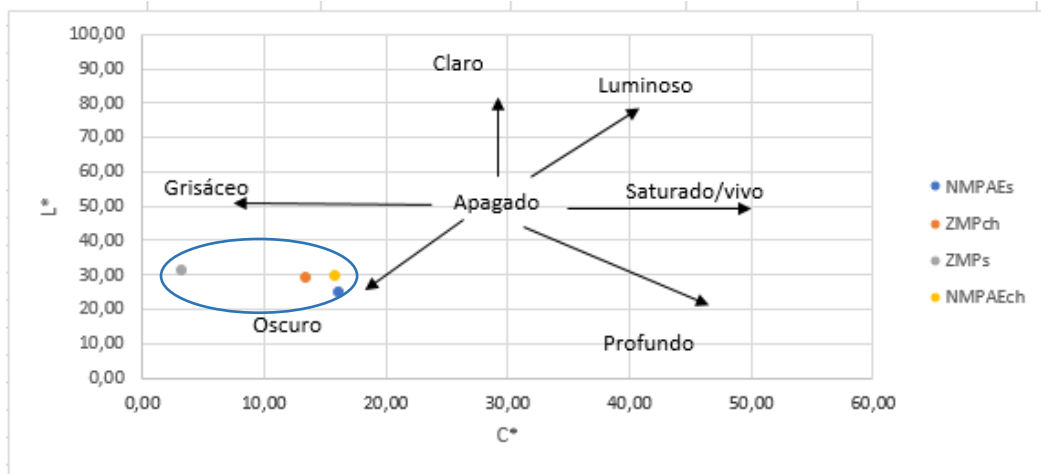


Figura 9.- Representación del plano C*vs L*.

En cuanto al corma (C*), ninguna muestra destaca por ser altamente saturada ya que los valores obtenidos son bastante bajos, lo que indica, especialmente en el caso de la muestra ZMPs, que no presentan ninguna orientación definida hacia rojo, verde, azul o amarillo.

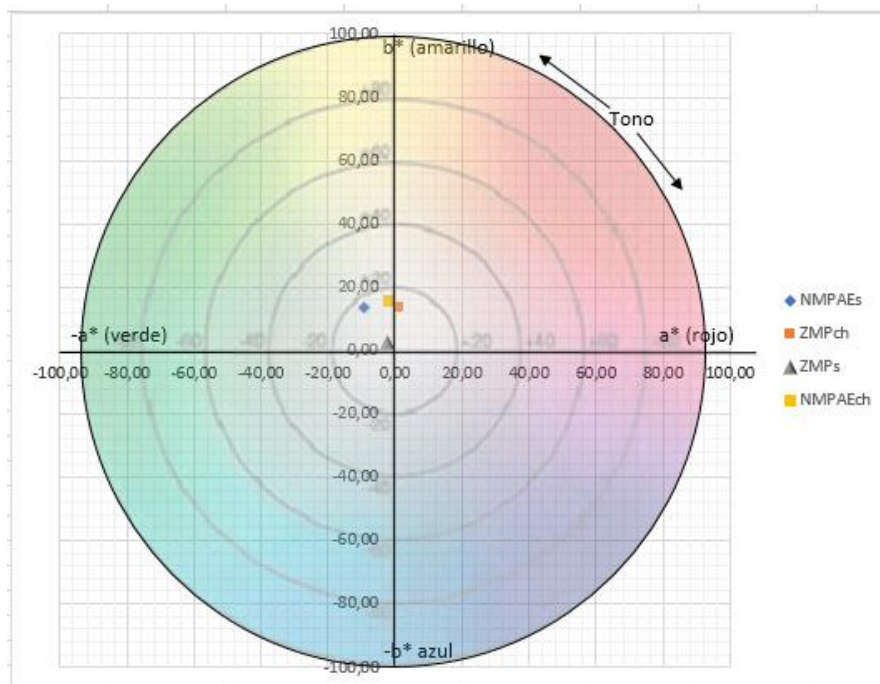


Figura 10.- Representación del plano a* vs b*.

Como se puede observar en el gráfico representado por la Figura 10, todas las muestras, a excepción de la muestra ZMPch, presentan valores negativos para a* lo que sugiere que presentan cierta cantidad de verde, por otro lado, el valor positivo de la muestra indica que presenta cierta cantidad de rojo. A su vez, todas las muestras poseen un valor de b* positivo advirtiendo la presencia de coloración amarilla en ellas.

4.1.3. VISCOSIDAD

Para poder determinar diferencias significativas entre muestras, se escogieron los datos obtenidos para el husillo L4 y un gradiente de velocidad de 30 rpm. Estos valores fueron escogidos a partir del porcentaje de medida o medida de arranque. Este porcentaje determina la aceptabilidad de los valores escogidos para realizar la medición. Así, se considera que, para un buen funcionamiento del instrumento, debe permanecer entre 15-90%. En el caso de que el valor se encuentre fuera del rango establecido, se debe cambiar el husillo, el gradiente de velocidad o ambas cosas.

Las medidas de viscosidad para cada una de las formulaciones elaboradas, se muestran en la Tabla 10.

Tabla 10.- Resultados obtenidos tras las pruebas de viscosidad.

	NMPAEs	ZMPch	ZMPs	NMPAEch
Viscosidad (Cp)	5917 ± 150 ^a	6406 ± 243 ^a	5979 ± 193 ^a	6323 ± 171 ^a

No se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre las diferentes formulaciones a las cuales se añadió la misma cantidad de goma xantana como agente espesante.

4.1.4. TEXTURA

El análisis de textura se llevó a cabo con el fin de averiguar cómo afecta el tiempo que la esfera se encuentra sumergida en el baño de alginato en el grosor que adquiere la capa que la recubre y, por consiguiente, en la capacidad de rotura que estas presentan durante la masticación. Para ello, se elaboraron 80 esferas siguiendo la formulación ZMPs, las cuales se dividieron en cuatro grupos de 20 esferas cada uno. El primer grupo mantuvo las esferas sumergidas durante 4 minutos, el segundo durante 5 minutos, el tercero durante 6 minutos y el cuarto durante 7 minutos.

Mediante el ensayo de deformación se obtuvieron una serie de resultados, en los cuales, se mostraba la deformación máxima que sufrió cada esfera respecto al tiempo. Estos resultados se muestran en la Tabla 11, y a su vez, de forma gráfica, en la Figura 11.

Tabla 11.- Deformación máxima (N) de las esferas.

	4min	5min	6min	7min
Fuerza máxima (N)	0,053 ± 0,011	0,056 ± 0,007	0,056 ± 0,007	0,060 ± 0,006

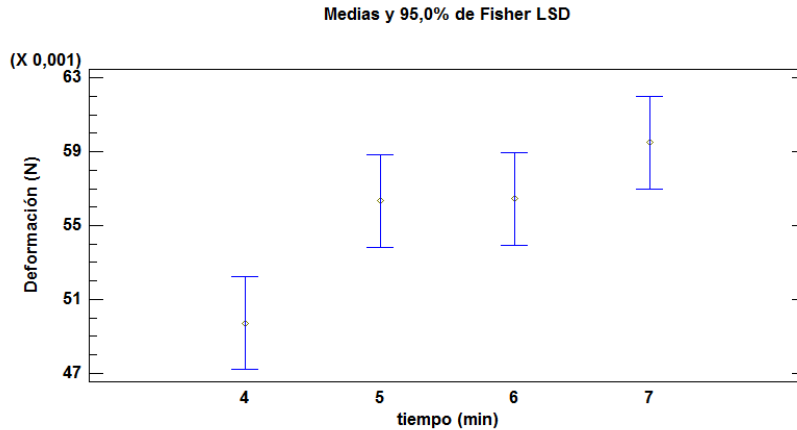


Figura 11.- Gráfico de medias de deformación máxima.

Tras el posterior análisis estadístico de los resultados, y como se puede observar en la Figura 11, se encuentran diferencias significativas ($p < 0,05$) con un nivel de confianza del 95% para las muestras que permanecieron en el baño de alginato 4 minutos respecto al resto de muestras. Esto es debido a que un menor tiempo en el medio gelificador, produce una capa externa más delgada y frágil provocando una mayor facilidad de rotura, y, por consiguiente, una menor resistencia ante la deformación.

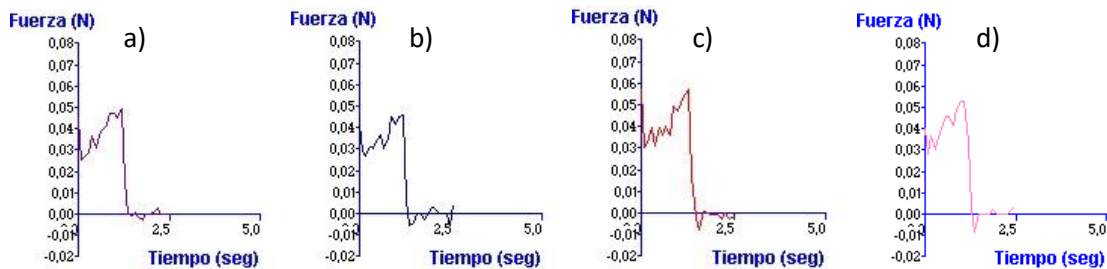


Figura 12.- Gráficas de deformación: a) 4min; b) 5min; c) 6min y d) 7min.

4.2. ANÁLISIS SENSORIAL

Tras la realización de la cata y la posterior evaluación de las 35 encuestas realizadas, se obtuvieron una serie de resultados para cada uno de los atributos a valorar. En la Tabla 12 se muestran los valores de media y desviación estándar para cada propiedad evaluada del 1 al 9, representando el valor 1 los aspectos más negativos de la propiedad y 9 los más positivos.

Tabla 12.- Resultados de aceptabilidad sensorial para cada atributo evaluado.

	tamaño	color	textura	sabor	intensidad	sabor marino	aceptabilidad global
NMPAEs	6 ± 2	6 ± 2	6 ± 2	5 ± 2	5 ± 2	5 ± 2	6 ± 2
ZMPS	6 ± 2	5 ± 2	5 ± 2	5 ± 2	6 ± 2	6 ± 3	5 ± 2
ZMPch	6 ± 2	5 ± 2	6 ± 2	5 ± 2	6 ± 2	5 ± 2	6 ± 2
NMPAEch	7 ± 2	7 ± 2	6 ± 2	5 ± 2	6 ± 2	6 ± 2	6 ± 2

Como se puede observar, en cuanto al tamaño, las cuatro muestras presentan unos resultados muy similares y, exclusivamente, se encuentran diferencias significativas ($p < 0,05$) con un nivel de confianza del 95% entre la muestra ZMPs y la muestra NMPAEch. Aun así, las cuatro presentan valores satisfactorios.

Respecto a la evaluación del color, las cuatro muestras presentan valores más dispares en los que se encuentran diferencias significativas ($p < 0,05$) con un nivel de confianza del 95% entre las muestras: ZMPs y NMPAEch, ZMPs y NMPAEs, ZMPch y NMPAes y, destacando estas diferencias significativas por encima de las otras, la muestra NMPAEch y la muestra ZMPch, siendo la muestra NMPAEch la que presenta un valor medio máximo y la muestra ZMPch la que presenta un valor medio mínimo. Ambas están elaboradas utilizando *Chlorella vulgaris* como microalga base y, por tanto, es la composición del batido natural la que determina la coloración final del producto. La muestra ZMPch presenta en su formulación zanahoria, cuyos carotenos aportan una coloración naranja, los cuales, junto a la coloración verde aportada por las clorofilas presentes en la microalga, proporcionan una tonalidad verde apagada que, como se ha podido observar tras la realización de la evaluación sensorial, puede no resultarle muy atrayente a un posible consumidor.

La textura de las esferas depende del tiempo que permanezcan en el baño de alginato que, en el caso de las muestras utilizadas para la evaluación del análisis sensorial, fue de 5 minutos. Pese a que teóricamente todas las muestras pasaron el mismo tiempo en el baño, los catadores le otorgaron una mejor valoración media a la muestra NMPAEch, y como peor valorada se encuentra la muestra ZMPs, existiendo diferencias significativas entre ambas. Pero en general, todos los resultados obtenidos pueden calificarse como satisfactorios.

La evaluación del sabor se llevó a cabo mediante tres cuestiones. La primera, aludiendo a la posibilidad de identificar el sabor de la esfera como conocido; la segunda, referida a la intensidad de sabor proporcionada por la esfera al estallar en la boca; y la última, aludiendo a la posible presencia de sabor marino debido al uso de microalgas en su formulación. En cuanto a las cuestiones referidas tanto al sabor como a la presencia de sabor marino, no se encuentran diferencias significativas entre los resultados obtenidos para las cuatro muestras. Sin embargo, en el caso de la intensidad de sabor, se encuentran diferencias significativas entre las muestras ZMPs y NMPAEs y entre las muestras NMPAEch y NMPAEs, destacando la muestra NMPAEs por poseer el valor más bajo obtenido.

En general, los resultados medios de dichas cuestiones fueron muy similares entre las cuatro muestras y se caracterizan por no evidenciar valores muy elevados ni muy bajos, sino que se mantienen dentro de la neutralidad. Esto puede ser debido a que, tanto el uso de las microalgas como de los batidos naturales en alimentación son, aún hoy en día, desconocidos para muchos individuos.

En vista de todos los atributos de las esferas de microalgas evaluados anteriormente, se determinó la aceptabilidad total del producto, y, aunque no se encuentran diferencias significativas entre las muestras, destaca la muestra NMPAEch por ser la mejor valorada. En general, esta muestra es la que ha recibido una mejor puntuación para cada una de las propiedades analizadas y esto se puede observar en la Figura 13.

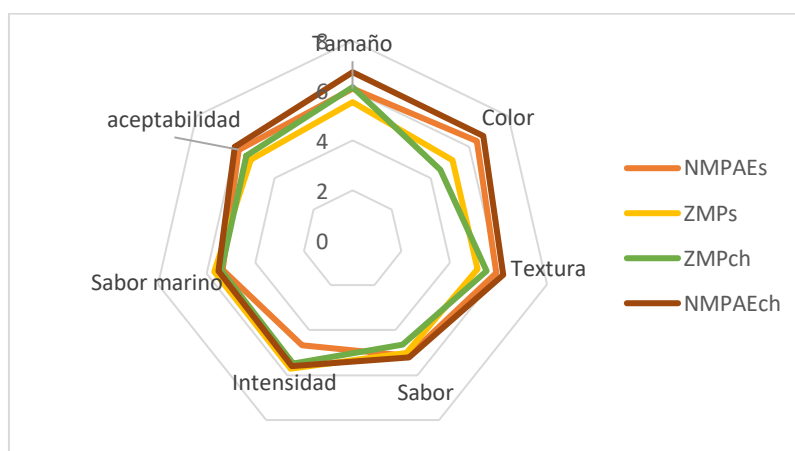


Figura 13.- Puntuaciones de los distintos atributos sensoriales para las cuatro muestras de esferas de microalgas.

A parte de las características anteriormente citadas también se les planteó a los catadores como cuestión si estarían dispuestos a comprar el producto si lo pudieran hallar en su supermercado habitual. Para realizar la evaluación se clasificaron las respuestas positivas (Sí) como 1 y las negativas (No) como 2 y se representaron los resultados gráficamente (Tabla 12)

Tabla 12.- Intención de compra de las esferas de microalgas.

NMPAEs	1,5 ± 0,5
ZMPs	1,7 ± 0,5
ZMPch	1,6 ± 0,5
NMPAEch	1,4 ± 0,5

Como se puede observar, para que la intención de compra por parte de los catadores sea positiva, la media obtenida para cada muestra se debe encontrar por debajo de 1'5. En este caso, únicamente la muestra NMPAEch se encuentra por debajo de este valor por lo que sería

la primera en ser lanzada al mercado. Para estudiar su comercialización, se ha determinado la edad media de los encuestados que manifestaron que comprarían el producto, siendo este valor de 29'80 años. Por tanto, a la hora de lanzarlo debe ser destinado a una población adulta que supere los 30 años de edad.

5. CONCLUSIONES

El desarrollo de este trabajo me ha supuesto un acercamiento a la alta cocina de la mano de la técnica de esferificación inversa, en la cual he tenido que aprender cómo ajustar las concentraciones de los componentes que la forman y, además, adaptarlas a las diferentes características presentes en los alimentos que deseamos gelificar. Por otra parte, la utilización de las microalgas *Chlorella vulgaris* y *Arthrospira platensis*, me ha permitido conocer los enormes beneficios que éstas pueden proporcionar al ser humano si se incluyen de forma correcta en la alimentación.

En cuanto a los ensayos realizados, estos me han permitido conocer las propiedades físico-químicas de las esferas:

Por un lado, mediante la medida del pH, he determinado que las muestras presentan una acidez adecuada que permite llevar a cabo la gelificación (pH entre 4-6);

Por otro lado, mediante el uso del viscosímetro he determinado que las muestras presentan una viscosidad adecuada, permitiéndoles penetrar en el baño de alginato;

A partir del ensayo de textura, he podido determinar el grado de deformación que han sufrido las esferas al ser expuestas a una fuerza y la variación de esta deformación dependiendo del tiempo que la esfera hubiese pasado en el baño de alginato;

Mediante el ensayo de color, he podido observar las diferencias de color existentes en las muestras dependiendo tanto de la microalga utilizada como del resto de componentes de los batidos naturales que las conforman.

Además, la elaboración de una cata me ha permitido conocer la opinión de 35 catadores, los cuales han valorado de manera satisfactoria las propiedades previamente citadas además del grado de aceptabilidad del producto global.

Finalmente, considero que mediante la técnica de esferificación inversa he logrado obtener esferas de pequeño tamaño que, simulando el auténtico caviar, proporcionan una explosión de sabor durante la masticación. De esta manera, he conseguido elaborar un producto innovador mediante el uso de técnicas gastronómicas presentes en la alta cocina mundial que, además, cuentan con una elevada calidad nutricional proporcionada tanto por las microalgas como por los demás componentes de los batidos naturales.

6. BIBLIOGRAFÍA

AVEDAÑO-ROMERO, G.C.; LÓPEZ-MALO, A.; PALOU, E. (2013). Propiedades del alginato y aplicaciones en alimentos. *Temas selectos de ingeniería de alimentos*, 7: 87-96.

BATISTA, A.P.; GOUVEIA, L.; BANDARRA, N.M.; FRANCO, J.M.; RAYMUNDO, A. (2013). Comparison of microalgal biomass profiles as novel functional ingredient for food products. *Algal research*, 2: 164–173.

BOROWITZKA, M.A. (2013). High-value products from microalgae—their development. *Journal of Applied Phycology*, 25: 743–756.

CHACÓN-LEE, T.L.; GONZÁLEZ-MARIÑO, G.E. (2010). Microalgae for “healthy” food—Possibilities and challenges. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* Vol. 9, 2010: 655-675.

CHIRALT, A.; MARTÍNEZ, N.; GONZÁLEZ, C.; TALENS, P.; MORAGA, G. (2007). *Propiedades físicas de los alimentos*. Editorial Universitat Politècnica de València. Valencia. 203pp.

COCINA CREATIVA-CERVEZA CASERA (2017). *Técnicas de cocina molecular*, visto el 11 de abril de 2017

<http://cocina-creativa.com/tecnicas-de-cocina-molecular/>

CORELL, P.; GARCÍA-SEGOVIA, P.; SAPIÑA, F.; FARRÉ, I.; CASTELLS, P.; MARTÍNEZ-MONZÓ, J. (2007). Efecto del ion calcio sobre las propiedades texturales de esferas de alginato aplicadas a cocina. *Alimentaria*, noviembre 2007: 81-83.

FUNDACIÓN ESPAÑOLA DE LA NUTRICIÓN, pág.: 135-136, visto el 8 de mayo de 2017
<http://www.fen.org.es/mercadoFen/pdfs/apio.pdf>

FUNDACIÓN ESPAÑOLA DE LA NUTRICIÓN, pág.: 173-174, visto el 8 de mayo de 2017
<http://www.fen.org.es/mercadoFen/pdfs/espinacas.pdf>

FUNDACIÓN ESPAÑOLA DE LA NUTRICIÓN, pág.: 193-194, visto el 8 de mayo de 2017
<http://www.fen.org.es/mercadoFen/pdfs/pepino.pdf>

FUNDACIÓN ESPAÑOLA DE LA NUTRICIÓN, pág.: 212-214, visto el 8 de mayo de 2017
<http://www.fen.org.es/mercadoFen/pdfs/zanahoria.pdf>

FUNDACIÓN ESPAÑOLA DE LA NUTRICIÓN, pág.: 257-258, visto el 8 de mayo de 2017
<http://www.fen.org.es/mercadoFen/pdfs/manzana.pdf>

FUNDACIÓN ESPAÑOLA DE LA NUTRICIÓN, pág.: 269-270, visto el 8 de mayo de 2017
<http://www.fen.org.es/mercadoFen/pdfs/naranja.pdf>

GONZÁLEZ, A. (2015). *Negocio alimentario y cooperativo*. Fichas de transferencia. Fundación Cajamar – grupo cooperativo Cajamar. Nº: 011: 2-11.

GOUVEIA, L.; BATISTA, A.P.; MIRANDA, A.; EMPIS, J.; RAYMUNDO, A. (2007). *Chlorella vulgaris* biomass used as colouring source in traditional butter cookies. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 8: 433-436.

KOLLER, M.; MUHR, A.; GERHART, B. (2014). Microalgae as versatile cellular factories for valued products. *Algal research*, 6: 52-63.

SAFI, C.; ZEBIB, B.; MERAH, O.; PONTALIER, P.Y.; VACA-GARCÍA, C. (2014). Morphology, composition, production, processing and applications of *Chlorella vulgaris*: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 35: 265–278.

SKIPPING ROCKS LAB (2017), European Institute of Innovation & Technology (EIT), visto el 20 de mayo de 2017.

<http://www.oohowater.com/>

SPOLAORE, P.; JOANNIS-CASSAN, C.; DURAN, E; ISAMBERT, A. (2006). Commercial Applications of Microalgae. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, Vol. 101, nº 2: 87–96.

SUPERALIMENTOS (2017), *chlorella alga: beneficios propiedades y contraindicaciones*, visto el 15 de abril de 2017

<http://chlorella.superalimentos.es/>

TOPPLANT (2015), *espirulina: beneficios, propiedades, contraindicaciones y dosis*, visto el 15 de abril de 2017.

<https://www.topplant.es/espirulina/>

ANEXO I: HOJA DE CATA

CATA DE ESFERAS DE MICROALGAS

Muestra

--	--	--

Edad _____

Fecha _____

A continuación, probará 4 tipos de esferas elaboradas a partir de microalgas. Siga las instrucciones del cuestionario.

1. El tamaño de la esfera le resulta:

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

1

5

9

inapropiado

Muy apropiado

2. El color le resulta:

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

1

5

9

Nada apetecible

Muy apetecible

3. Con respecto a la textura de la esfera en boca, esta le resulta:

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

1

5

9

Completamente desagradable

Muy agradable

4. Este sabor le resulta:

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

1

5

9

Totalmente desconocido

Totalmente conocido

5. Con respecto a la intensidad del sabor, la valora como:

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

1

5

9

nada intenso

Muy intenso

6. Encuentra el sabor marino de la microalga presente en el producto:

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

1

5

9

Nada presente

Muy presente

7. En vista de todas las características de las esferas de microalgas, valora la aceptabilidad global como:

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

1

5

9

Totalmente rechazable

Totalmente aceptable

8. ¿Compraría el producto?

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
--------------------------	--------------------------

Sí

No

CATA DE ESFERAS DE MICROALGAS

Muestra

--	--	--

1. El tamaño de la esfera le resulta:

--	--	--	--	--	--	--	--	--

1

5

9

inapropiado

Muy apropiado

2. El color le resulta:

--	--	--	--	--	--	--	--	--

1

5

9

Nada apetecible

Muy apetecible

3. Con respecto a la textura de la esfera en boca, esta le resulta:

--	--	--	--	--	--	--	--	--

2

5

9

Completamente desagradable

Muy agradable

4. Este sabor le resulta:

--	--	--	--	--	--	--	--	--

2

5

9

Totalmente desconocido

Totalmente conocido

5. Con respecto a la intensidad del sabor, la valora como:

--	--	--	--	--	--	--	--	--

1

5

9

nada intenso

Muy intenso

6. Encuentra el sabor marino de la microalga presente en el producto:

--	--	--	--	--	--	--	--	--

1

5

9

Nada presente

Muy presente

7. En vista de todas las características de las esferas de microalgas, valora la aceptabilidad global como:

--	--	--	--	--	--	--	--	--

1

5

9

Totalmente rechazable

Totalmente aceptable

8. ¿Compraría el producto?

--	--

Sí

No

CATA DE ESFERAS DE MICROALGAS

Muestra

--	--	--

1. El tamaño de la esfera le resulta:

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1				5				9
inapropiado								Muy apropiado

2. El color le resulta:

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1				5				9
Nada apetecible								Muy apetecible

3. Con respecto a la textura de la esfera en boca, esta le resulta:

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4				5				9
Completamente desagradable								Muy agradable

4. Este sabor le resulta:

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4				5				9
Totalmente desconocido								Totalmente conocido

5. Con respecto a la intensidad del sabor, la valora como:

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1				5				9
nada intenso								Muy intenso

6. Encuentra el sabor marino de la microalga presente en el producto:

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1				5				9
Nada presente								Muy presente

7. En vista de todas las características de las esferas de microalgas, valora la aceptabilidad global como:

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1				5				9
Totalmente rechazable								Totalmente aceptable

8. ¿Compraría el producto?

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sí	No