



Universidad de Chile

Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas

Departamento de Ciencia de los Alimentos y Tecnología Química

# **EMULSIONES ALIMENTARIAS PLANT-BASED FORTIFICADAS Y ADICIONADAS EN PROTEÍNAS CON MICROALGA: DESARROLLO EXPERIMENTAL BASADO EN ANÁLISIS BIBLIOMÉTRICO**

**MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERA EN ALIMENTOS**

**DANAE FERNANDA LIRA GUTIÉRREZ**

**Profesor(a) Patrocinante y Director:**

**Dr. Roberto Lemus**

**Departamento de Ciencia de los Alimentos, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas,  
Universidad de Chile.**

**Co-Director:**

**Dr. Luis Puente**

**Departamento de Ciencia de los Alimentos, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas,  
Universidad de Chile.**

**Santiago de Chile**

**2024**

## **FINANCIAMIENTO**

Esta memoria de título fue seleccionada y financiada por medio del proyecto Fondecyt regular N°1231528 que lleva como nombre “Swirl-flow, cross-flow, and premix membrane emulsification methods for microalgae-loaded plant+fungi proteins-based monodisperse O/W and W/O/W emulsions high-performing production”, la cual tiene como Investigador Responsable a Dr. Roberto Lemus-Mondaca, Departamento de Ciencia de los Alimentos y Tecnología Química, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas, Universidad de Chile.

## **DEDICATORIA**

Dedico mi trabajo de tesis a:

### **Dios:**

Por guiar mi camino y llenarme de bendiciones en cada etapa de mi vida, por permitirme compartir mis logros con los amores más grandes de mi vida.

### **A mis padres, Ricardo y Any:**

Por confiar siempre en mí y haberme formado con valores y hábitos que me han permitido lograr grandes sueños.

### **A mi hermano, Mauricio:**

Gracias por el apoyo y cariño incondicional, que me acompañó en cada momento de esta etapa.

### **A mi mascota, Jack:**

Quien me extendió su pata en los momentos más difíciles y me acompañó en cada noche de estudio.

### **A mi familia:**

Que me entregó un ambiente grato de estudio, me guiaron, apoyaron y alentaron a lo largo de todos los años de carrera.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a cada profesor, compañero, ayudante y trabajador de la institución que me prestó ayuda en esta etapa. Gracias a la Universidad, por haberme permitido crecer como persona, abrir mi mente y amar mi carrera.

Gracias a mi director de tesis, Roberto Lemus, quien creyó en mí y me permitió ser parte de este proyecto. Agradecida de cada tiempo y espacio que otorgó para la investigación.

Gracias a mi codirector de tesis, Luis Puente, por haberme entregado herramientas para utilizar, manejar y aprender el análisis bibliométrico.

Gracias a los encargados de laboratorio, Alfredo Henríquez y Helem Eisele, quienes siempre otorgaron un espacio en el laboratorio y la mejor disposición para ayudarnos frente a cualquier eventualidad.

Gracias a Dr. Jaime Ortiz del departamento de Ciencia y Tecnología de los Alimentos, Dr. Felipe Oyarzun y Dr. (c) Gonzalo Álvarez del departamento de Ciencia y Tecnología Farmacéutica, y Dr. Mario Rivera, del departamento de Química Farmacológica y Toxicológica, por facilitar un espacio y sus equipos, como el Reómetro, el medidor de tamaño de partícula y el homogeneizador, respectivamente, que permitieron obtener datos y productos indispensables en esta investigación.

Gracias al Fondo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico por incentivar la investigación científica para el área de los alimentos.

Sin estas personas no hubiera sido posible el desarrollo de la investigación.

## ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. MARCO TEÓRICO.....	3
2.1. Plant-based.....	3
2.1.1. Tendencia <i>plant-based</i> en Chile.....	4
2.1.2. Dietas plant-based.....	4
2.2. Legumbres.....	5
2.2.1. Pulses.....	6
2.2.2. Aislado proteico de legumbres en emulsiones.....	7
2.3. Aceite vegetal.....	7
2.3.1. Aceite en emulsiones.....	8
2.4. Microalgas.....	8
2.4.1. Microalgas más conocidas en la industria alimentaria.....	8
2.4.2. Microalgas como surfactante.....	9
2.4.3. Fortificación y Adición de proteínas por microalgas.....	10
2.5. Emulsiones.....	11
2.6. Emulsificación por ultrasonido.....	12
2.7. Propiedades de estabilidad de una emulsión.....	13
2.8. Comportamiento reológico.....	14
2.9. Análisis bibliométrico.....	15
3. HIPÓTESIS.....	17
4. OBJETIVOS.....	17
4.1. Objetivo general.....	17
4.2. Objetivos Específicos.....	17
5. MATERIALES Y MÉTODOS.....	18
5.1. Revisión bibliográfica.....	18
5.1.1. Búsqueda de literatura existente.....	18
5.1.1.1. Emulsión con aceite vegetal.....	18
5.1.1.2. Emulsión con proteínas de legumbres.....	18
5.1.1.3. Emulsión con microalgas.....	18

5.1.1.4.	Emulsión plant-based y su emulsionante .....	19
5.1.2.	Recopilación de documentos relacionados .....	19
5.2.	Análisis bibliométrico .....	19
5.2.1.	Entrenamiento en programa de análisis bibliométrico.....	19
5.2.2.	Clasificación de los datos obtenidos .....	19
5.2.3.	Análisis e interpretación de los datos obtenidos .....	19
5.2.4.	Relación entre fase acuosa, fase lipídica y métodos de emulsión.....	20
5.3.	Desarrollo de las emulsiones.....	20
5.3.1.	Selección de materia prima.....	20
5.3.2.	Formulación de emulsión.....	21
5.3.3.	Diseño experimental.....	22
5.3.4.	Evaluación de tamaño de partícula .....	23
5.3.5.	Evaluación de comportamiento reológico .....	24
5.3.6.	Análisis e interpretación de datos obtenidos.....	24
6.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	25
6.1.	Análisis bibliométrico .....	25
6.1.1.	Análisis bibliométrico de emulsión con aceite vegetal .....	25
6.1.1.1.	Tendencias de publicación y citación.....	25
6.1.1.2.	Revistas más productivas en emulsiones con aceite vegetal .....	26
6.1.1.3.	Autores más productivos en emulsiones con aceite vegetal .....	27
6.1.1.4.	Documentos más citados en emulsiones con aceite vegetal .....	28
6.1.1.5.	Análisis de citación en emulsiones con aceite vegetal .....	29
6.1.1.6.	Análisis de palabras claves en emulsiones con aceite vegetal .....	30
6.1.2.	Análisis bibliométrico de emulsiones de proteína de legumbres.....	32
6.1.2.1.	Tendencias de publicación y citación.....	32
6.1.2.2.	Revistas más productivas en emulsiones de proteína de legumbres .....	33
6.1.2.3.	Autores más productivos en emulsiones de proteína de legumbres .....	34
6.1.2.4.	Documentos más citados en emulsiones de proteína de legumbres.....	36
6.1.2.5.	Análisis de citación en emulsiones de proteína de legumbres .....	36
6.1.2.6.	Análisis de palabras claves en emulsiones de proteína de legumbres.....	37
6.1.3.	Análisis bibliométrico de emulsiones con microalgas .....	39
6.1.3.1.	Tendencias de publicación y citación.....	39
6.1.3.2.	Revistas más productivas en emulsiones de emulsiones con microalgas 40	

6.1.3.3.	Autores más productivos en emulsiones de emulsiones con microalgas	41
6.1.3.4.	Documentos más citados en emulsiones con microalga. ....	43
6.1.3.5.	Análisis de citación en emulsiones con microalgas. ....	44
6.1.3.6.	Análisis de palabras claves en emulsiones con microalga .....	44
6.1.4.	Relación entre fase acuosa, fase lipídica y métodos de emulsificación a través de bibliometría. ....	46
6.2.	Desarrollo de las emulsiones.....	48
6.2.1.	Caracterización de las emulsiones.....	48
6.2.1.1.	Tamaño de partícula .....	48
6.2.1.2.	Comportamiento reológico: Viscosidad aparente .....	50
6.2.1.3.	Comportamiento reológico: curvas de flujo.....	52
7.	CONCLUSIÓN.....	57
8.	BIBLIOGRAFÍA.....	58
9.	ANEXOS.....	65
9.1.	Anexo 1: Tutorial de análisis bibliográfico .....	65
9.2.	Anexo 2: Tabla de frecuencia de palabras claves de emulsiones con aceite vegetal..	67
9.3.	Anexo 3: Tabla de frecuencia de palabras claves de emulsiones con proteínas de legumbres. ....	68
9.4.	Anexo 4: Tabla de frecuencia de palabras claves de emulsiones con microalgas.....	69
9.5.	Anexo 5: Tabla de relación entre código, fase acuosa, fase lipídica y métodos de emulsificación para diagrama aluvial.....	70
9.6.	Anexo 6: Tabla de códigos utilizados en diagrama aluvial.....	71
9.7.	Anexo 7: Análisis estadístico resultados media de tamaño de partícula. ....	72
9.8.	Anexo 8: Análisis estadístico resultados mediana de tamaño de partícula. ....	74
9.9.	Anexo 9: Análisis estadístico de resultados de reómetro.....	76

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Diseño experimental. ....	22
<b>Tabla 2.</b> Las 5 revistas más productivas en emulsiones con aceite vegetal. ....	26
<b>Tabla 3.</b> Autores más productivos en emulsiones con aceite vegetal. ....	27
<b>Tabla 4.</b> Documentos más citados en emulsiones con aceite vegetal.....	29
<b>Tabla 5.</b> Países más productivos e influyentes en emulsiones con aceite vegetal. ....	29
<b>Tabla 6.</b> Las 5 revistas más productivas en emulsiones de proteína de legumbres.....	33
<b>Tabla 7.</b> Autores más productivos en emulsiones de proteína de legumbres.....	35
<b>Tabla 8.</b> Documentos más citados en emulsiones de proteína de legumbres. ....	36
<b>Tabla 9.</b> Países más productivos e influyentes en emulsiones de proteína de legumbres.....	37
<b>Tabla 10.</b> Las 5 revistas más productivas en emulsiones con microalga. ....	40
<b>Tabla 11.</b> Autores más productivos en emulsiones con microalga. ....	42
<b>Tabla 12.</b> Documentos más citados en emulsiones con microalga.....	43
<b>Tabla 13.</b> Países más productivos e influyentes en emulsiones con microalga. ....	44
<b>Tabla 14.</b> Mediana (D5) de las emulsiones para todas las condiciones experimentales. ....	49
<b>Tabla 15.</b> Media de las emulsiones para todas las condiciones experimentales. ....	50
<b>Tabla 16.</b> Valores de R de los distintos modelos reológicos comparados.....	52
<b>Tabla 17.</b> Parámetros del modelo Casson para las curvas de flujo de las emulsiones de adición. ....	55
<b>Tabla 18.</b> Parámetros del modelo Hershel-Bulkley para las curvas de flujo de las emulsiones de fortificación.....	56
<b>Tabla 19.</b> ANOVA media de emulsiones de adición.....	72
<b>Tabla 20.</b> ANOVA media de emulsiones de fortificación. ....	72
<b>Tabla 21.</b> ANOVA media emulsiones 1:1 (proteína: aceite).....	72
<b>Tabla 22.</b> ANOVA media emulsiones 2:1 (proteína: aceite).....	72
<b>Tabla 23.</b> ANOVA media emulsiones 1:2 (proteína: aceite).....	73
<b>Tabla 24.</b> ANOVA mediana de emulsiones de adición. ....	74
<b>Tabla 25.</b> ANOVA mediana de emulsiones de fortificación. ....	74
<b>Tabla 26.</b> ANOVA mediana de emulsiones 1:1 (proteína: aceite). ....	74
<b>Tabla 27.</b> ANOVA mediana de emulsiones 2:1 (proteína: aceite). ....	74
<b>Tabla 28.</b> ANOVA mediana emulsiones 1:2 (proteína: aceite).....	75
<b>Tabla 29.</b> Esfuerzo de corte inicial emulsión adición.....	76
<b>Tabla 30.</b> Viscosidad emulsión adición. ....	76
<b>Tabla 31.</b> Esfuerzo de corte inicial emulsión fortificación. ....	76
<b>Tabla 32.</b> Constante de flujo emulsión fortificación. ....	76
<b>Tabla 33.</b> Índice de comportamiento emulsión fortificación. ....	77



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Gráfico de ofertas de productos en Brasil, Argentina y Chile.....	4
<b>Figura 2.</b> Tabla comparativa de dietas plant-based.....	5
<b>Figura 3.</b> Clasificación de las legumbres.....	6
<b>Figura 4.</b> Chlorella.....	9
<b>Figura 5.</b> Spirulina.....	9
<b>Figura 6.</b> Diferencia entre nanoemulsión y microemulsión.....	12
<b>Figura 7.</b> Estabilidad de nanoemulsión y microemulsión (Farmaceutico Social, 2020).....	12
<b>Figura 8.</b> Modelos de esfuerzo de cizalle (Aguilar et al, 2023).....	15
<b>Figura 9.</b> Equipo Ultra Turrax T25 digital.....	21
<b>Figura 10.</b> Equipo de ultrasonido.....	21
<b>Figura 11.</b> Diagrama de flujo del procedimiento de los experimentos.....	23
<b>Figura 12.</b> Equipo Partica LA-960, Horiba.....	24
<b>Figura 13.</b> Thermo Scientific HAAKE RheoStress 1.....	24
<b>Figura 14.</b> Total de artículos publicados (TP) y citados(TC) por año de emulsión con aceite vegetal.....	25
<b>Figura 15.</b> Índice h de revistas en emulsiones con aceite vegetal.....	27
<b>Figura 16.</b> Índice h de autores en emulsiones con aceite vegetal.....	28
<b>Figura 17.</b> FoamTree de emulsiones con aceite vegetal.....	30
<b>Figura 18.</b> Total de artículos publicados y citados por año de emulsión de proteína de legumbres.....	32
<b>Figura 19.</b> Índice h de revistas en emulsiones de proteína de legumbres.....	34
<b>Figura 20.</b> Índice h de autores en emulsiones de proteína de legumbres.....	35
<b>Figura 21.</b> FoamTree de emulsiones de proteína de legumbres.....	38
<b>Figura 22.</b> Total de artículos publicados y citados por año de emulsión con microalga.....	39
<b>Figura 23.</b> Índice h de revistas en emulsiones con microalgas.....	41
<b>Figura 24.</b> Índice h de autores en emulsiones con microalgas.....	42
<b>Figura 25.</b> FoamTree de emulsiones con microalga.....	45
<b>Figura 26.</b> Diagrama aluvial de fase acuosa, fase lipídica, código y métodos de emulsión.....	47
<b>Figura 27.</b> Deciles tamaño de partícula.....	48
<b>Figura 28.</b> Media tamaño de partícula.....	49
<b>Figura 29.</b> Viscosidad aparente emulsiones de adición.....	51
<b>Figura 30.</b> Viscosidad aparente emulsiones de fortificación.....	51
<b>Figura 31.</b> Curva de flujo emulsiones adición modelo Casson.....	53
<b>Figura 32.</b> Curva de flujo emulsiones fortificación modelo Herschel-Bulkley.....	54
<b>Figura 33.</b> Tutorial análisis bibliométrico parte 1.....	65
<b>Figura 34.</b> Tutorial análisis bibliométrico parte 2.....	66
<b>Figura 35.</b> Tabla de frecuencia de palabras claves de emulsiones con aceite vegetal.....	67
<b>Figura 36.</b> Tabla de frecuencia de palabras claves de emulsiones con proteína de legumbres.....	68
<b>Figura 37.</b> Tabla de frecuencia de palabras claves de emulsiones con microalgas.....	69
<b>Figura 38.</b> Tabla de relación entre código, fase acuosa, fase lipídica y métodos de emulsificación para diagrama aluvial.....	70

**Figura 39.** Tabla de códigos utilizados en diagrama aluvial ..... 71

## **RESUMEN**

La microalga como surfactante en emulsiones es una gran innovación debido a que puede sustituir emulsionantes que no son aptos para todo tipo de dietas plant-based como lo es el huevo, pudiendo llegar así a un público más amplio. El objetivo de este estudio fue determinar en base a tendencias encontradas con análisis bibliométrico, las materias primas a utilizar en emulsiones plant-based fortificadas y adicionadas (de proteínas) con microalgas. Posteriormente desarrollar las emulsiones basándose en el método de emulsificación por ultrasonido y comparar su estabilidad a través del tamaño de partícula y su comportamiento reológico.

Se realizaron 3 análisis bibliométricos independientes para determinar las materia primas a utilizar en la emulsión, seleccionando el aceite de soja como fase lipídica, la proteína hidrolizada de arveja hidratada como para la fase acuosa y Chlorella como emulsionante natural. Se desarrollaron 6 emulsiones, 3 adicionadas y 3 fortificadas con proteínas, teniendo las 3 diferentes proporciones proteína: aceite (1:1, 1:2, 2:1).

Se observó que la emulsión con un menor tamaño de partícula era la fortificada 2:1 (proteína: aceite), seguida de la fortificada 1:1, encontrando que a una menor cantidad de aceite (2:1) y a una mayor cantidad de proteína (fortificada), el tamaño de partícula es menor y por lo tanto la emulsión tiene una mayor estabilidad. Para el caso del comportamiento reológico, se observó que las emulsiones con proporción 2:1 tenían un viscosidad aparente mayor al volverse constante, siguiéndole las emulsiones con proporción 1:1, al igual que en el caso del esfuerzo de corte con relación a la velocidad de cizalla. Por lo que se pudo analizar que la emulsión de fortificación 2:1 presenta una estabilidad mayor, tanto por tamaño de partícula como comportamiento reológico, lo cual coincide con la muestra que presenta una mayor cantidad de Chlorella.

### **Palabras claves**

Emulsión, Microalga, Proteína de legumbre, Plant-based, Ultrasonido.

## **ABSTRACT**

The microalgae as a surfactant in emulsions is a significant innovation as it can replace emulsifiers unsuitable for various plant-based diets, such as egg, thus reaching a broader audience. The objective of this study was to determine, based on trends identified through bibliometric analysis, the raw materials to be used in fortified and protein-enriched plant-based emulsions with microalgae. Subsequently, emulsions were developed using the ultrasonication emulsification method, and their stability was compared based on particle size and rheological behavior.

Three independent bibliometric analyses were conducted to determine the raw materials for the emulsion, selecting soybean oil as the lipid phase, hydrated hydrolyzed pea protein for the aqueous phase, and *Chlorella* as the natural emulsifier. Six emulsions were developed, three enriched and three fortified with protein, with three different protein: oil ratios (1:1, 1:2, 2:1).

It was observed that the emulsion with the smallest particle size was the fortified 2:1 (protein: oil), followed by the fortified 1:1. It was found that with a lower amount of oil (2:1) and a higher amount of protein (fortified), the particle size is smaller, indicating greater stability. Regarding rheological behavior, emulsions with a 2:1 ratio exhibited higher apparent viscosity, followed by emulsions with a 1:1 ratio, consistent with shear rate and shear stress observations. Therefore, it was analyzed that the fortified 2:1 emulsion shows greater stability, both in terms of particle size and rheological behavior, coinciding with the sample containing a higher amount of *Chlorella*.

## **Keywords**

Emulsion, Microalgae, Legume protein, Plant-based, Ultrasonication.

# 1. INTRODUCCIÓN

Las dietas vegetarianas son un subconjunto de dietas basadas en plantas que excluyen la ingesta total o parcial de los alimentos de origen animal (Hu & Satija, 2018). Se caracterizan por un alto consumo de frutas, verduras, frutos secos, legumbres, semillas, aceites vegetales y granos enteros, componiendo la dieta de múltiples nutrientes beneficiosos, como los son las vitaminas, los antioxidante, minerales, ácidos grasos mono y poliinsaturados, ácidos grasos omega-3, fitoquímicos, fibra y proteínas vegetales (Bes et al, 2021).

Alrededor del mundo, la búsqueda de alimentos más saludables se ha convertido en una tendencia y dentro de las últimas décadas ha aumentado el interés de los consumidores por los productos procesados de origen vegetal, lo cual va asociado a distintos motivos personales, como la preocupación por los animales, la salud, el medio ambiente o simplemente por gusto. Debido a la expansión de este mercado, la industria sigue en constante evolución para ampliar la gama de productos que sigan el movimiento plant-based (Bernardes, 2022).

Actualmente, en el campo de la innovación de la industria alimentaria, se trabaja en la búsqueda de nuevas fuentes proteicas, que además de tener una producción más sostenible, mejoren la cadena alimentaria, destacando las proteínas obtenidas a partir de algas, legumbres, carne cultivada y de insectos comestibles (Gómez, 2022).

En el caso de las legumbres, desde el punto de vista nutricional, se destacan por su alto aporte de proteínas, carbohidratos y también son reconocidas por su alto aporte de fibra dietética y minerales. No contienen gluten, por lo que se pueden incluir en preparaciones para pacientes celíacos, considerando además que presentan un menor costo que otras fuentes proteicas, favoreciendo su incorporación en la dieta habitual en la mayoría de la población (Durán, 2020).

Los concentrados de proteínas vegetales son de un creciente interés para la industria debido a su progresiva aplicación en los mercados alimentarios como alternativa saludable a la proteína animal, sin embargo, estas aplicaciones están casi limitadas a proteínas de semillas de soja, siendo menos empleadas otras proteínas vegetales, es por esto que las proteínas de

legumbres, han sido tema de estudio en los últimos años, presentando resultados prometedores como aditivo en alimentos (Aguilar et al, 2020).

Por otro lado, las proteínas derivadas de las microalgas poseen propiedades valiosas en la industria alimentaria, como capacidad espumante, emulsionante, espesante y gelificante. Sus proteínas presentan grupos funcionales hidrofílicos e hidrofóbicos, pudiendo actuar en una emulsión como emulsionantes estables, incluso frente a cambios significativos de pH y altas concentraciones de sal (Martín, 2022).

En el presente proyecto se realiza una investigación en base a análisis bibliométrico de las dos últimas décadas de emulsiones plant-based utilizando proteínas de legumbres fortificadas y adicionadas con microalgas, para generar una visión global y contribuir con datos concretos y actualizados con respecto al tema.

Se desarrollarán emulsiones en base a la técnica de emulsificación por ultrasonido y con ello se determinará su estabilidad con el tamaño de partícula y el comportamiento reológico de ellas.

## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Plant-based**

La demanda de alimentos saludables es una tendencia global en constante crecimiento. En las últimas décadas, se ha observado un incremento en el interés de los consumidores por los productos procesados de origen vegetal (Bernardes, 2022). Esto se debe a diferentes factores como conciencia ambiental, estilo de vida, sustentabilidad, oposición a la matanza y a la producción de productos a base de carne, dietas plant-based, motivos patológicos o alergénicos. Debido a esto, la industria alimentaria ha estado prestando atención a estas demandas y desarrollando productos acorde a las necesidades de la población (Araújo, 2022). El término "plant-based" se refiere a una amplia gama de productos elaborados a partir de verduras, legumbres, semillas, cereales, entre otras materias primas, que van más allá de los derivados de soja y trigo. Estos productos abarcan una gran variedad de preparaciones, aprovechando la abundancia del reino vegetal y las múltiples formulaciones que se pueden lograr con estos ingredientes. Algunas empresas se dedican a desarrollar sustitutos vegetales que sean prácticamente indistinguibles de los productos animales originales, buscando replicar su sabor, textura y apariencia (Lantern, 2019).

Las dietas plant-based aportan múltiples nutrientes beneficiosos, como los son las vitaminas, los antioxidantes, minerales, ácidos grasos mono y poliinsaturados, ácidos grasos omega-3, fitoquímicos, fibra y proteínas vegetales (Bes et al, 2021).

En contraste con las dietas que se basan en productos de origen animal, las dietas plant-based son más sostenibles, ya que requieren menos recursos naturales y tienen un menor impacto ambiental (Sabaté y Soret, 2014).

La producción de alimentos plant-based se enfoca en la creación de productos igualmente deliciosos, nutritivos y saludables que sus contrapartes tradicionales, pero sustituyendo todos sus ingredientes de origen animal por otros de origen vegetal. Este enfoque permite reducir significativamente la huella ambiental, además de ofrecer opciones adecuadas para las dietas plant-based (Armerding, 2022).

### 2.1.1. Tendencia *plant-based* en Chile

En 2021, un estudio de Mintel en colaboración con Veganuary reveló que, en Chile, la oferta de productos veganos ha crecido un 8% en los últimos 4 años, esto debido a una mayor demanda de los consumidores e innovadoras soluciones alimenticias de parte de las empresas, encontrando cada vez una mayor variedad de productos libres de ingredientes de origen animal (Veganuary, 2021).

Se analizaron 3 países en el estudio, Brasil, Argentina y Chile, concluyendo que Chile lleva la delantera en el aumento de la oferta de productos etiquetados como veganos, alcanzando en el año 2021 un 12%, por lo que más de 1 de cada 10 productos a la venta en el país están etiquetados como veganos, siendo el país líder. En el caso de productos vegetarianos se puede observar que alcanza un 4%, siendo igualado por Argentina en el año 2021. Con lo que respecta de productos plant-based, también encontramos que Chile lidera el mercado, ofreciendo un abanico de opciones a chilenos que se rigen por dietas plant-based o simplemente optan consumirlos por gusto (Veganuary, 2021).

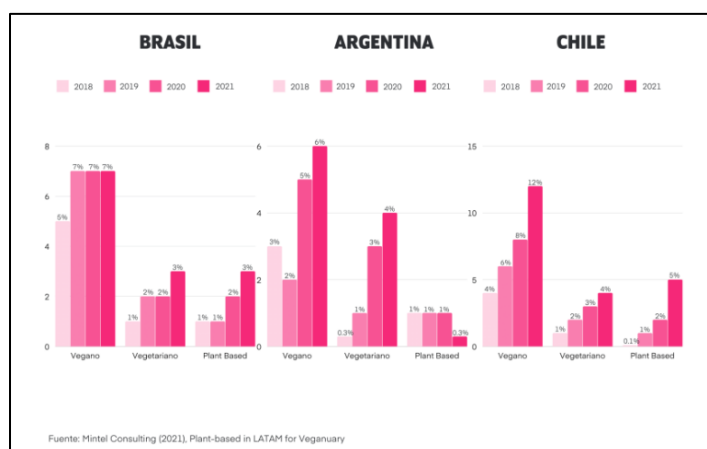


Figura 1. Gráfico de ofertas de productos en Brasil, Argentina y Chile.

### 2.1.2. Dietas plant-based

Las dietas plant-based son un conjunto de patrones dietéticos que comparten la característica de limitar el consumo de alimentos de origen animal. Dentro de esta categoría se encuentran diversas variantes, algunas de las cuales excluyen completamente los alimentos de origen animal, como lo es la dieta vegana, además es la única dieta que no consume miel (ya que proviene de una explotación animal) (Hu & Satija, 2018). Según un informe de la ONU publicado en el diario The Guardian en el año 2010: “Un cambio global hacia una dieta



vegana es vital para salvar al mundo del hambre, la escasez de combustible y los peores impactos del cambio climático”.

Otras dietas excluyen parcialmente el consumo de origen animal, como la dieta vegetariana, la cual excluye el consumo de carne, pescado y mariscos (Hu & Satija, 2018). También se encuentran las dietas pescetarianas, en las cuales se consume pescados, mariscos y alimentos de origen animal, pero excluyen las carnes (Clark y Tilmman, 2014).

Otra de las dietas es la lacto-vegetariana, en la cual se consumen productos lácteos pero ningún otro alimento de origen animal y la dieta ovo-vegetariana, en la cual se consumen huevos, pero ningún otro alimento de origen animal (Fan et al, 2013).

	Huevos	Carnes	Pescados y mariscos	Lácteos	Miel
Vegetariana	✓	✗	✗	✓	✓
Pescetariana	✓	✗	✓	✓	✓
Ovovegetariana	✓	✗	✗	✗	✓
Lactovegetariana	✗	✗	✗	✓	✓
Vegana	✗	✗	✗	✗	✗

Figura 2. Tabla comparativa de dietas plant-based.

## 2.2. Legumbres

Desde tiempos remotos, las legumbres han sido un componente fundamental de la alimentación diaria, debido a que son reconocidos por su alto contenido de fibra, proteínas (19-36%), hidratos de carbono de absorción lenta, minerales, vitaminas y compuestos bioactivos. Además, se destacan por su bajo contenido de grasas y azúcares simples. Estas cualidades hacen que las legumbres sean un plato estrella para formar parte de una dieta equilibrada, además de que en la industria alimentaria, cada vez es más valorada por ser una materia prima con propiedades deseables (Martínez, 2018).

“Las legumbres, incluyendo todo tipo de frijoles y guisantes secos, son una fuente barata, deliciosa y muy nutritiva de proteínas vitales y micronutrientes que pueden ser muy beneficiosos para la salud y el sustento de las personas, en particular en los países en desarrollo” mencionó la ONU para presentar el año internacional de la legumbre el 2016 (González, 2016).

En el caso de Chile, las legumbres más consumidas son las lentejas, los porotos, las arvejas y los garbanzos, con una frecuencia de al menos 2 porciones a la semana (Urbina, 2021).

### 2.2.1. Pulses

Es muy importante no confundir los términos "legumbres" y "pulses", ya que, todas las “pulses” se consideran legumbres, pero no todas las legumbres son consideradas “pulses”. Los pulses pertenecen a la familia de las leguminosas e incluyen aquellas especies que son consumidas por los seres humanos y animales domésticos, en forma de granos secos, sin incluir maní ni soja, los cuales se cultivan principalmente para obtener aceite comestible (Singh, 2017).

Las “pulses” se han consumido durante al menos 10.000 años y se encuentran entre los alimentos más utilizados en el mundo. Los fitoquímicos, saponinas y taninos que se encuentran en ellas poseen efectos antioxidantes y anticancerígenos y disminuye el riesgo de enfermedades cardiovasculares (Aukema et al, 2014).

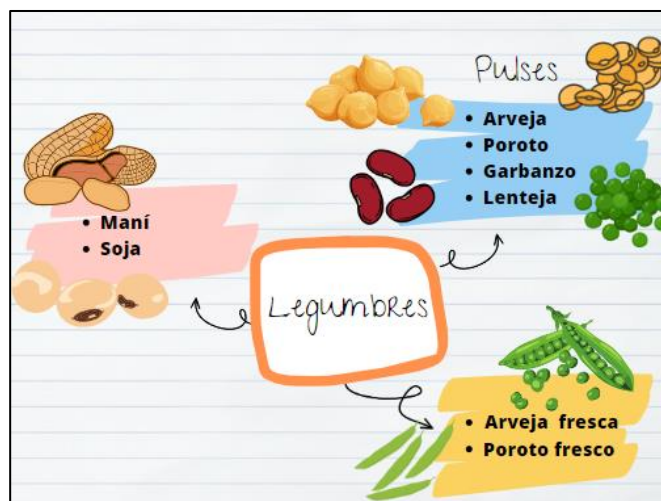


Figura 3. Clasificación de las legumbres.

### **2.2.2. Aislado proteico de legumbres en emulsiones**

Los aislados de proteína son formas refinadas de proteína que contienen la mayor cantidad de proteína con mayor digestibilidad, actualmente es la principal fuente de proteínas baratas, especialmente para atletas, culturistas y dietas plant-based. Han aumentado con creces sus aplicaciones en diversas industrias de bebidas, lácteos y alimentos infantiles debido a sus propiedades funcionales. Se produce ampliamente a partir de tortas desaceitadas de vegetales mediante una combinación de precipitación isoelectrica y alcalina utilizando ácido sulfúrico e hidróxido de sodio, seguida de centrifugación para obtener los aislados puros que además se puede secar hasta obtener una forma de polvo con aproximadamente un 90 % de proteína (Garba y Kaur, 2014).

Las propiedades emulsionantes de las proteínas vegetales dependen de las propiedades fisicoquímicas de estas, incluida la composición, solubilidad, condiciones ambientales, el pH, la fuerza iónica, la concentración de proteínas, entre otras. Posee propiedades emulsionantes, por lo que pueden ayudar a estabilizar la interfase entre el agua y el aceite en una emulsión. Estas proteínas forman una película alrededor de las gotas de aceite, evitando su coalescencia y promoviendo la estabilidad de la emulsión (Chibane et al, 2016), Sus atributos tecnofuncionales, como la gelificación, emulsificación y formación de espuma, las hacen viables para su uso en numerosos productos alimentarios y aplicaciones, tanto en sus formas naturales como en sus formas modificadas (Goldstein y Reifen, 2022).

### **2.3. Aceite vegetal**

El aceite vegetal es un triglicérido que se obtiene a partir de semillas, granos de cereales o frutos. Se componen de mezclas complejas de triacilgliceroles (TAG), generalmente mayor al 95% con algunas cantidades menores de diacilgliceroles, comúnmente menor al 5% (Lorenzo y Nieto, 2022).

Existen varios tipos de aceites vegetales, cada uno con sus características y usos específicos, uno de los más utilizados y de los más importantes dentro del mundo contemporáneo debido a su calidad y su bajo costo es el aceite de soja, el cual es extraído del prensado de la soja, este aceite es rico en ácidos grasos poliinsaturados (Franco, 2001).

Existen muchos otros tipos de aceites vegetales, como el aceite de oliva, de girasol, de canola, de maíz, de coco, de palma, de almendra, entre otros.

### **2.3.1. Aceite en emulsiones**

El tipo de aceite utilizado en una emulsiones alimentarias puede ser de origen vegetal o de origen animal, dependiendo de las preferencias y restricciones dietéticas.

El aceite en las emulsiones alimentarias está estabilizado por emulsionantes, que evitan la separación de las fases oleosa y acuosa, manteniendo la emulsión estable durante el almacenamiento y el uso (Rayner y Smith, 2018).

## **2.4. Microalgas**

Las microalgas, con alrededor de 100.000 especies identificadas, son los organismos más simples que pertenecen al reino vegetal. Se destacan por su capacidad de adaptación a diversos entornos (Olmedo, 2019).

A pesar de haber sido ampliamente utilizadas en la antigüedad, especialmente en China, las microalgas están experimentando un resurgimiento en la actualidad debido a su potencial como fuente de proteínas y componentes bioactivos. Su uso en la industria alimentaria está en constante crecimiento, y su consumo está aumentando de manera significativa, esto debido a la crisis de alimentos que generó la pandemia de COVID-19 (Gómez, 2020).

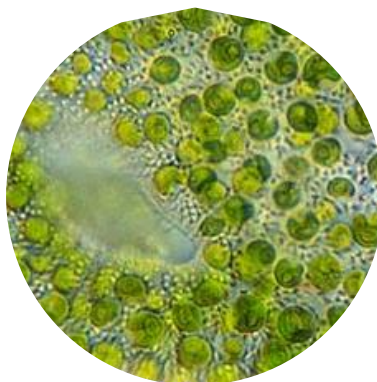
Las proteínas derivadas de las microalgas poseen propiedades valiosas en la industria alimentaria, como capacidad espumante, emulsionante, espesante y gelificante, además de ser utilizadas como colorantes y aportar antioxidantes. Estas proteínas presentan grupos funcionales hidrofílicos e hidrofóbicos, lo que les confiere la habilidad de actuar como emulsionantes estables, incluso frente a cambios significativos de pH y altas concentraciones de sal (Martín, 2022).

### **2.4.1. Microalgas más conocidas en la industria alimentaria**

Existen diversas microalgas que son ampliamente utilizadas en diferentes industrias y aplicaciones, el uso de microalgas en alimentos está en constante evolución y se están explorando nuevas especies y aplicaciones, estas se utilizan en la producción de ingredientes funcionales, aditivos alimentarios y en la mejora de la calidad nutricional de los alimentos (Chen et al, 2022).

La *Chlorella vulgaris* se utiliza como ingrediente alimentario en forma de polvo o extracto, contiene una composición única y diversa de macro y micronutrientes funcionales que incluyen proteínas, ácidos grasos poliinsaturados omega-3, polisacáridos, vitaminas y

minerales, los ensayos clínicos sugieren la suplementación con esta microalga, ya que, puede mejorar la hiperlipidemia, la hiperglucemia, proteger contra el estrés oxidativo, cáncer y enfermedad pulmonar obstructiva crónica (Beiraghdar et al, 2016).



*Figura 4. Chlorella*

La Spirulina es una cianobacteria multicelular y filamentosa ampliamente utilizada en la industria alimentaria debido a su alto contenido de macronutrientes, micronutrientes, aminoácidos esenciales, proteínas, lípidos, vitaminas, minerales y antioxidantes (Arora et al, 2017).



*Figura 5. Spirulina*

#### **2.4.2. Microalgas como surfactante**

Un surfactante es una sustancia química que cuenta con una estructura molecular que combina una región hidrofílica (polar) y una región lipofílica (apolar), lo que le otorga una doble afinidad. Estos compuestos poseen actividad interfacial y se adsorben en la interfase entre el agua y el aceite de manera orientada, disminuyendo la tensión interfacial entre estos dos líquidos (Hernández, 2004).

Las microalgas son organismos microscópicos fotosintéticos que pueden desempeñar un papel como surfactantes naturales, facilitando la formación y estabilidad de emulsiones

(Bertsch et al, 2021), ya que, contienen diversos compuestos bioactivos, incluidos lípidos, proteínas y polisacáridos, que pueden tener propiedades surfactantes. Estos compuestos surfactantes pueden formar una capa en la interfase entre el agua y el aceite, reduciendo la tensión interfacial y promoviendo la formación de emulsiones (Asraful et al, 2022).

La utilización de microalgas como surfactantes presenta varias ventajas potenciales, son organismos que pueden cultivarse de manera sostenible, lo que las convierte en una fuente renovable de surfactantes (Deog et al, 2018), los compuestos surfactantes presentes en las microalgas pueden tener propiedades funcionales adicionales, como actividad antioxidante, antimicrobiana o antiviral, lo que podría beneficiar a las emulsiones y a los productos en los que se utilizan (Centeno et al, 2019), los surfactantes derivados de microalgas pueden tener aplicaciones en diversas industrias, como alimentos, cosméticos, productos farmacéuticos, productos de limpieza, productos químicos, entre otros (Deog et al, 2018).

#### **2.4.3. Fortificación y Adición de proteínas por microalgas**

Según el Reglamento Sanitario de los Alimentos (2023), Párrafo II: De la rotulación y publicidad:

La complementación comprende los conceptos de adición, enriquecimiento o fortificación y suplementación, según el porcentaje del nutriente agregado, basado en las Dosis Diarias de Referencia y por porción de consumo habitual.

En el caso de la adición, es el agregado de uno o más nutrientes o factores alimentarios, por ejemplo fibra dietética a un alimento, para fines nutricionales, en una concentración menor a un 10% de la Dosis Diaria de Referencia (DDR) por porción de consumo habitual para un nutriente particular. Por otro lado, el enriquecimiento o fortificación, es la adición de uno o más nutrientes o fibra dietética a un alimento, en una concentración de un 10% o más de la Dosis Diaria de Referencia (DDR) por porción de consumo habitual para un nutriente en particular.

Con respecto a las proteínas, la Dosis Diaria de Referencia (DDR) es de 50 g, por lo que adición hace referencia a menos de 5 gramos de proteínas por porción de consumo habitual y enriquecimiento o fortificación a más de 5 gramos de proteínas por porción de consumo habitual.

## 2.5. Emulsiones

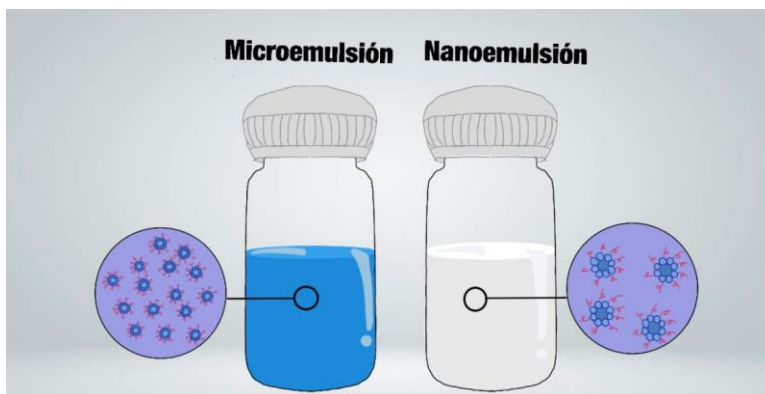
Una emulsión es una mezcla de dos líquidos que son inmiscibles entre sí, donde uno de ellos se dispersa en forma de pequeñas gotas esféricas dentro del otro líquido (generalmente aceite y agua). En las emulsiones alimentarias, el tamaño de las gotas suele oscilar entre 0,1 y 100  $\mu\text{m}$  (Bengoechea, 2006).

Las emulsiones se pueden clasificar según la distribución de las fases dentro de la emulsión; Dentro de las emulsiones simples se encuentran las W/O (agua en aceite), sistema en el que se encuentran gotas de agua dispersas como pequeñas gotas en una fase oleosa, como lo puede ser la margarina o mantequilla, y O/W (aceite en agua) sistema en el que se encuentran gotas de aceites dispersas como pequeñas gotas en una fase acuosa como lo puede ser la mayonesa, leche o sopa; por otro lado, se encuentran las emulsiones múltiples las cuales presentan tres fases, como puede ser W/O/W o O/W/O (Cabezas, 2023).

Es posible formar emulsiones que sean estables a través del tiempo, gracias a moléculas que se unen con la superficie de las gotas, formando una capa protectora que evita que las gotas se unan entre sí; en su mayoría, los emulsionantes son moléculas anfipáticas (solubles en agua y en aceite), los más comunes en la industria alimentaria son los fosfolípidos, las proteínas y los polisacáridos (Álvarez y Bautista, 2019).

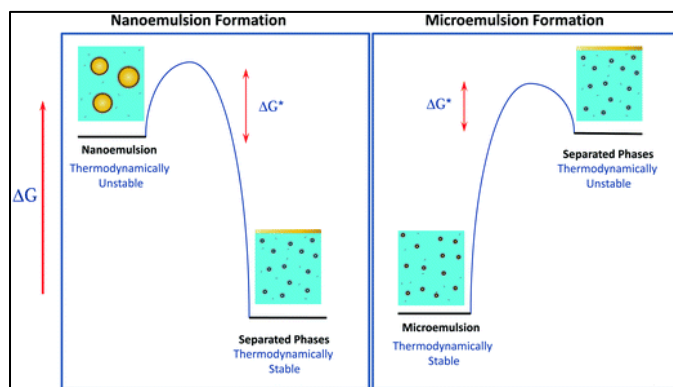
Las nanoemulsiones son emulsiones con un tamaño de gota muy pequeño, que oscila entre 50 y 500 nm, y presentan una baja polidispersidad, lo que les confiere una alta estabilidad cinética y una apariencia translúcida. Debido a que las nanoemulsiones son sistemas termodinámicamente inestables, no pueden formarse de manera espontánea, por lo que requieren la aplicación de energía para su creación. Esta energía puede ser suministrada mediante métodos de dispersión (por ejemplo, fuerza mecánica) o mediante métodos fisicoquímicos (como la condensación o métodos de baja energía) (Hernández, 2004).

El empleo de nanoemulsiones tiene mayores ventajas sobre las emulsiones debido a su pequeño tamaño de gota, lo cual permite ampliar las opciones de aplicación, además de presentar una mayor estabilidad en comparación con las emulsiones (Moreno, 2013).



**Figura 6.** Diferencia entre nanoemulsión y microemulsión.

Por otro lado, las microemulsiones son fluidos tecnológicamente importantes y de naturaleza compleja que se utilizan en numerosas aplicaciones. Estas microemulsiones son especialmente adecuadas para alojar aditivos funcionales como medicamentos, polímeros y nanopartículas, lo que añade una mayor complejidad a los sistemas en los que se emplean (Acharya y Hartley, 2012). El uso de microemulsiones ofrece varias ventajas, son sistemas termodinámicamente estables (a diferencia de las nanoemulsiones), su preparación es sencilla y se pueden emplear en la mayoría de las reacciones en disolución (Blanco et al, 1997)



**Figura 7.** Estabilidad de nanoemulsión y microemulsión (Farmaceutico Social, 2020).

## 2.6. Emulsificación por ultrasonido

La técnica analítica del ultrasonido es altamente efectiva en la caracterización de aceites y grasas comestibles, así como en la evaluación de propiedades físicas y químicas, como las temperaturas de cristalización y fusión, el contenido de grasa sólida, la dureza, el contenido de aceite y la composición del aceite. Además, el ultrasonido de baja intensidad se utiliza



ampliamente para monitorear la cristalización de emulsiones, lo cual es de gran importancia para garantizar la calidad de diversos productos alimenticios en forma de emulsiones, como mantequilla, margarina, crema batida y helados (Armando et al, 2013).

Durante muchos años, el uso del ultrasonido como una tecnología emergente para el procesamiento de alimentos ha sido objeto de investigación y desarrollo continuo, debido a que es una alternativa de bajo costo y sustentable, revolucionando la industria de procesamiento de alimentos con una amplia aplicación en diversos procesos (Bhargavaa et al, 2021). El ultrasonido es una tecnología innovadora con aplicaciones tanto en el análisis como en el procesamiento de alimentos y entre sus ventajas se puede encontrar que no es un tratamiento invasivo, lo que significa que no altera negativamente las propiedades ni la calidad de los alimentos (Gelvez et al, 2019).

El ultrasonido se define como una forma de energía que se propaga en forma de ondas sonoras con una frecuencia igual o superior a 20 kHz. Generalmente, los equipos de ultrasonido utilizan frecuencias de 20 kHz a 10 MHz (McKellar et al, 2003).

Al viajar a través de un medio, el ultrasonido promueve la formación de burbujas microscópicas que oscilan y aumentan de tamaño hasta que finalmente colapsan en un fenómeno conocido como cavitación. Durante el colapso, se generan altas temperaturas y presiones (Bates et al, 2008). La eficiencia de la cavitación está determinada por varios factores, siendo la frecuencia de la onda de sonido uno de los más importantes. A frecuencias entre 18-100 kHz, las burbujas de gas tienen más tiempo para crecer durante el ciclo de rarefacción, lo que resulta en cavitación menos frecuente pero más intensa en comparación con frecuencias superiores a 1 MHz. Si el colapso de las burbujas ocurre dentro de un material biológico, el ultrasonido puede afectar los tejidos biológicos a nivel micro y macroscópico. En el caso del procesamiento de alimentos, estos efectos son generalmente beneficiosos, ya que se pueden aplicar para mejorar la calidad y seguridad alimentaria (Bhat y Kumar, 2018).

## **2.7. Propiedades de estabilidad de una emulsión**

La estabilidad de una emulsión se define como la capacidad de mantener una distribución uniforme y estable de dos líquidos inmiscibles, en presencia de fuerzas externas o internas (Dickison y Leser, 2007). Varios factores influyen en la estabilidad de una emulsión, entre ellos el tamaño de gota, ya que, un tamaño de gota pequeño y uniforme ayuda a mejorar la

estabilidad de la emulsión, esto debido a que las gotas más pequeñas tienen una mayor área superficial en comparación con su volumen, lo que dificulta su coalescencia (McClements, 2015).

La viscosidad de la fase continua puede influir en la estabilidad de la emulsión, una fase continua con una viscosidad adecuada puede ayudar a dispersar y estabilizar las gotas de la fase dispersa (Dickinson, 2003), también la tensión interfacial entre las fases acuosa y oleosa el uso de emulsionantes o surfactantes puede reducir la tensión interfacial y evitar la coalescencia de las gotas (Chirino et al, 2003), el pH de la emulsión, ya que, algunas emulsiones pueden volverse inestables en un rango de pH específico debido a la desestabilización de los emulsionantes o cambios en la carga eléctrica de las gotas (Achouri et al, 2012) y los métodos utilizados para emulsionar y mezclar los componentes, un proceso adecuado puede ayudar a obtener una distribución uniforme de las gotas y evitar su coalescencia (Binks y Lumsdon, 2000).

## **2.8. Comportamiento reológico**

La reología (del griego reos, fluir y logos, estudio) es la “ciencia del flujo”, es decir, una disciplina científica, rama de la física, la cual estudia la deformación y el comportamiento de flujo de la materia (Arias et al, 2018).

El comportamiento reológico se clasifica dependiendo de cómo reaccione el material a las fuerzas aplicadas, extendiéndose desde la Mecánica de los Fluidos Newtonianos hasta la elasticidad de Hooke, abordando todos los materiales pastosos y suspensiones (Avendaño et al, 2012).

La reología permite medir de manera cuantitativa la deformación que experimenta un material o líquido cuando se le aplica una fuerza, utilizando un reómetro (¿Qué es la reometría?, 2021).

El reómetro actúa midiendo el historial de estrés y deformación de un material para poder determinar así las funciones del material (Magaña, 2019).

Las emulsiones pueden presentar diferentes comportamientos reológicos, dependiendo de factores como la concentración de los componentes, el tamaño de las gotas, la viscosidad de las fases y la presencia de emulsionantes (Decher et al, 2007).

Existen fluidos en los cual sus características reológicas dependen del tiempo (tixotrópico y reopéctico) y los que no (Bingham, dilatante, pseudoplástico y newtoniano), siendo estos últimos los más estudiados, existiendo varios modelos que analizan la relación entre los esfuerzos cortantes y los gradientes de velocidad de un material (Arias et al, 2018).

En los fluidos newtonianos, el esfuerzo de corte o cizalla es directamente proporcional al gradiente o tasa de deformación (Viosin, 2011). Pero no todos los fluidos siguen el comportamiento de este modelo, categorizándose como fluidos no newtonianos.

Entre los modelos de esfuerzo de cizalla para fluidos no newtonianos, se encuentra el modelo de Bingham, Casson, Power Law y Herschel-Bulkley, el modelo al que se adecue cada material va a depender de cómo se comporte frente al esfuerzo.

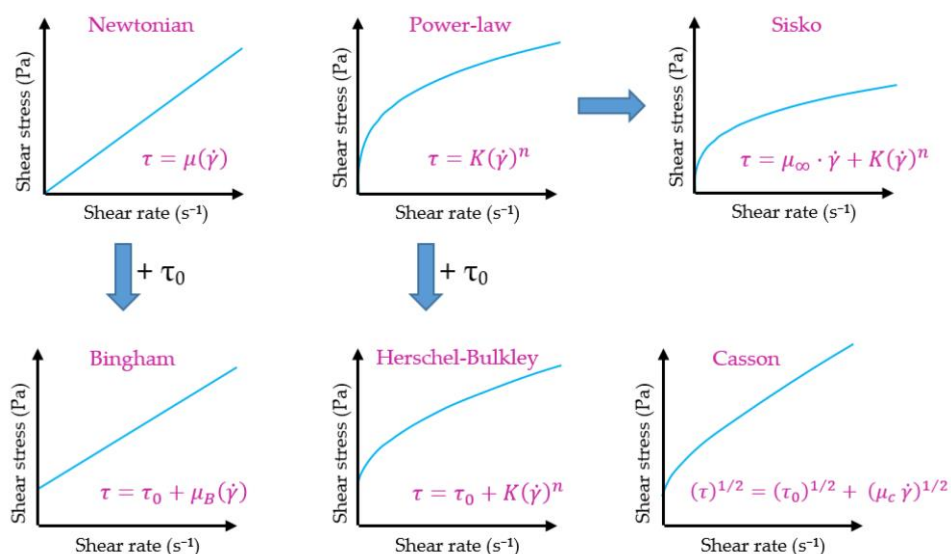


Figura 8. Modelos de esfuerzo de cizalle (Aguilar et al, 2023)

## 2.9. Análisis bibliométrico

El análisis bibliométrico es una metodología utilizada en la investigación científica para evaluar y medir la producción, difusión y uso de la literatura científica, basándose en el análisis cuantitativo de las publicaciones científicas (libros, revistas, artículos de conferencias, etc.) con el objetivo de obtener información sobre patrones, tendencias y características de la producción científica en una determinada área de estudio.

Algunos de los indicadores más comunes utilizados en el análisis bibliométrico son:

- Número de publicaciones (TP)
- Número de citas (TC)

- Factor de impacto de revistas (FI)
- Cuartiles (Q)
- Citas por publicaciones (C/P)
- Citas por año (C/A)
- Categoría JRC (Journal Citation Reports): JCR (herramienta bibliométrica utilizada para evaluar la importancia relativa de las revistas académicas) clasifica las revistas en categorías temáticas, y la categoría JRC específica se refiere a la clasificación de las revistas en función del área temática o campo de estudio al que pertenecen.
- Índice *h*: se ordenan las publicaciones del autor según el número de citas recibidas, de mayor a menor. El índice *h* es el número más grande tal que al menos *h* de las publicaciones del autor han recibido al menos *h* citas cada una.

Pudiendo concluir la importancia relativa de diferentes investigaciones, la influencia de autores o instituciones en un campo específico, así como tendencias y áreas de interés dentro de una disciplina científica (Campos, 2023).

### **3. HIPÓTESIS**

- En base al análisis bibliométrico se encuentran las tendencias óptimas para el desarrollo efectivo de emulsiones plant-based fortificadas y adicionadas en proteínas con microalgas por el método de emulsificación por ultrasonido.
- La concentración de microalga mejora la estabilidad de emulsiones plant-based fabricadas por emulsificación por ultrasonido.

### **4. OBJETIVOS**

#### **4.1. Objetivo general**

- Desarrollar y comparar emulsiones plant-based fortificadas y adicionadas con microalgas en base a tendencias encontradas en un análisis bibliométrico basándose en el método de emulsificación por ultrasonido.

#### **4.2. Objetivos Específicos**

1. Explorar emulsiones plant-based fortificadas y adicionadas con microalgas bajo técnica de emulsificación por ultrasonido mediante un análisis bibliométrico.
2. Desarrollar una emulsión plant-based fortificada y adicionada con microalgas en base a la técnica de emulsificación por ultrasonido y con ello determinar el tamaño de gota, además del comportamiento reológico de emulsión plant-based sometida por la técnica de emulsificación por ultrasonido.

## 5. MATERIALES Y MÉTODOS

### 5.1. Revisión bibliográfica

#### 5.1.1. Búsqueda de literatura existente

Se buscaron artículos científicos relacionados con emulsiones alimentarias plant-based y el uso de microalgas en emulsiones alimentarias en *Web of Science* a través de la página Biblioteca Universidad de Chile, sección Base de datos.

En sección “Documentos” se buscó en “Topics” para la búsqueda en títulos, resúmenes y en palabras claves de los documentos, la búsqueda se realizó en inglés.

Los datos obtenidos se presentaron en base a indicadores bibliométricos como: total de publicaciones (TP), total de citas (TC), índice *h*, citas por artículo (C/P), Ranking (R), factor de impacto (FI) y cuartil (Q).

Se dividió en cuatro la búsqueda de artículos, enfocándolas en los distintos temas relacionados al proyecto: Emulsión con aceite vegetal, emulsión con proteínas de legumbres, emulsiones con microalgas y emulsiones plant-based y su emulsionante.

##### 5.1.1.1. Emulsión con aceite vegetal

La información bibliográfica se extrajo de Web of Science (WoS) el 17 de mayo del 2023, utilizando *emulsion* y *vegetable oil*, como palabras claves para la búsqueda, también se delimitó el rango de años entre 2000-2022. La muestra de datos corresponde a 602 documentos totales que mencionan ambas palabras.

##### 5.1.1.2. Emulsión con proteínas de legumbres

La información bibliográfica se extrajo de Web of Science (WoS) el 03 de mayo del 2023. Se buscaron las palabras *emulsion*, *protein* y *legume*, encontrándose 156 artículos que las mencionan, se filtraron los resultados tomando los artículos publicados entre los años 2000-2022, disminuyendo a una muestra total de 144 documentos.

##### 5.1.1.3. Emulsión con microalgas

La información bibliográfica se extrajo de Web of Science (WoS) el 03 de mayo del 2023. Se buscaron las palabras *microalgae* y *emulsion*, encontrándose 191 artículos que las mencionan, se filtraron los resultados tomando los artículos publicados entre los años 2000-2022, disminuyendo a una muestra total de 168 documentos.

#### **5.1.1.4. Emulsión plant-based y su emulsionante**

La información bibliográfica se extrajo de Web of Science (WoS) el 01 de junio del 2023. Se buscaron las palabras “*plant-based*”, “*emulsion*” y “*emulsifier*”, incluyendo las comillas, encontrándose 36 artículos que las mencionan, se filtraron los resultados tomando los artículos publicados entre los años 2000-2022, disminuyendo a una muestra total de 34 documentos. Por falta de información se eliminaron 4 artículos (de los cuales 2 eran review), quedando 30 artículos para el análisis.

#### **5.1.2. Recopilación de documentos relacionados**

Una vez cargados los artículos, se pulsó la opción *export* en formato *plain text file*, inmediatamente la página lleva al siguiente paso, en el cual se personalizó el formato, en *records options* se descargó de 500 en 500 artículos y en *records contents* se utilizó la opción *full record and cited references*. En emulsión plant-based y su emulsionante (5.1.1.4.) no se realizó esta recopilación, ya que, solo se visualizaron los artículos a través de *web of science*.

### **5.2. Análisis bibliométrico**

#### **5.2.1. Entrenamiento en programa de análisis bibliométrico**

Esta etapa se llevó a cabo con ayuda del Dr. Luis Puente Díaz, conocedor de los programas *VOSviewer*, *Bibliometrix* y *Carrotsearch*, los cuales fueron utilizados en el análisis bibliométrico. Este proceso constó de 6 sesiones, en las cuales se conocieron en profundidad los programas, se adjuntaron los archivos y se trabajó con los datos para llegar a gráficos, esquemas y tablas.

#### **5.2.2. Clasificación de los datos obtenidos**

Los programas entregaron los datos deseados y estos se clasificaron dependiendo de lo necesitado en la investigación y se ordenaron de acuerdo al tema a analizar.

También algunos de ellos fueron modificados para adaptarlos a la investigación, y otros fueron elaboración propia en base a lo entregado en *Web of Science*.

#### **5.2.3. Análisis e interpretación de los datos obtenidos**

Se analizó detalladamente cada gráfico entregado por el programa y se interpretó de acuerdo al tema de interés. Se realizó para las primeras cuatro búsquedas siendo diferente para los datos de emulsión plant-based y su emulsionante (5.1.1.4.).

Dentro del análisis se obtuvo información de:

- Total de artículos publicados y citados por año (2000-2022)
- Tasa de crecimiento de publicaciones y citas.
- Revistas más productivas en el tema
- Índice  $h$  de revistas más productivas en el tema.
- Autores más productivos en el tema
- Índice  $h$  de autores más productivos en el tema.
- Documentos más citados en el tema
- Países más productivos e influyentes en el tema
- Acoplamiento bibliográfico de países
- Foamtree

#### **5.2.4. Relación entre fase acuosa, fase lipídica y métodos de emulsión**

Para el caso de los datos de emulsión plant-based y su emulsionante (5.1.1.4.), estos se utilizaron para la realización de un diagrama aluvial, en el cual relaciona la fase acuosa, fase lipídica y los métodos utilizados con cada artículo.

Los datos se recopilaron en una tabla Excel según la información de cada artículo, y una vez terminada la tabla, se adjuntó en el sitio web *Carrotsearch*, en el cual se realizó el diagrama aluvial.

La tabla de Excel contenía la siguiente información: fase lipídica, fase acuosa, código, método de emulsión 1 y método de emulsión 2 (en caso de utilizar 2 métodos, en caso de no contar con más de 1 método, se clasificaba en N/A). El código hace referencia al número del paper al que corresponde (anexo 6).

### **5.3. Desarrollo de las emulsiones**

Se desarrollaron 6 emulsiones plant-based fortificada y adicionadas (de proteína) con microalgas en triplicado y con ellos se analizaron y evaluaron distintas variables de interés. Para ello se utilizó el método de emulsificación por ultrasonido.

#### **5.3.1. Selección de materia prima**

Dependiendo de las tendencias analizadas en el trabajo bibliométrico se escogió la proteína de legumbre, la microalga y el aceite vegetal para utilizarlos en el desarrollo de las emulsiones.



### 5.3.2. Formulación de emulsión

La preparación de la solución de proteína vegetal se realizó dispersando el extracto de proteína vegetal en agua ultrapura en proporciones proteína: aceite de 1:2, 1:1 y 2:1. La solución se mantuvo durante la noche con agitación magnética a temperatura ambiente para permitir la disolución completa de la proteína vegetal y la microalga. La formulación se preparó a 20°C utilizando aceite vegetal como fase dispersa y solución de proteína de legumbre como fase continua utilizando dos métodos de homogeneización secuencial. Primero, las emulsiones fueron prehomogeneizadas utilizando un homogeneizador de rotor-estator (Ultra Turrax T25 digital, IKA, Alemania) a 13500 rpm durante 2 minutos.



*Figura 9. Equipo Ultra Turrax T25 digital*

Para el método de emulsificación por ultrasonido, se utilizó el equipo de ultrasonido a una frecuencia de 20kHz, una amplitud del 100% por 15 minutos (5 segundos del proceso por 5 segundos de descanso), a 4°C.



*Figura 10. Equipo de ultrasonido.*

### 5.3.3. Diseño experimental

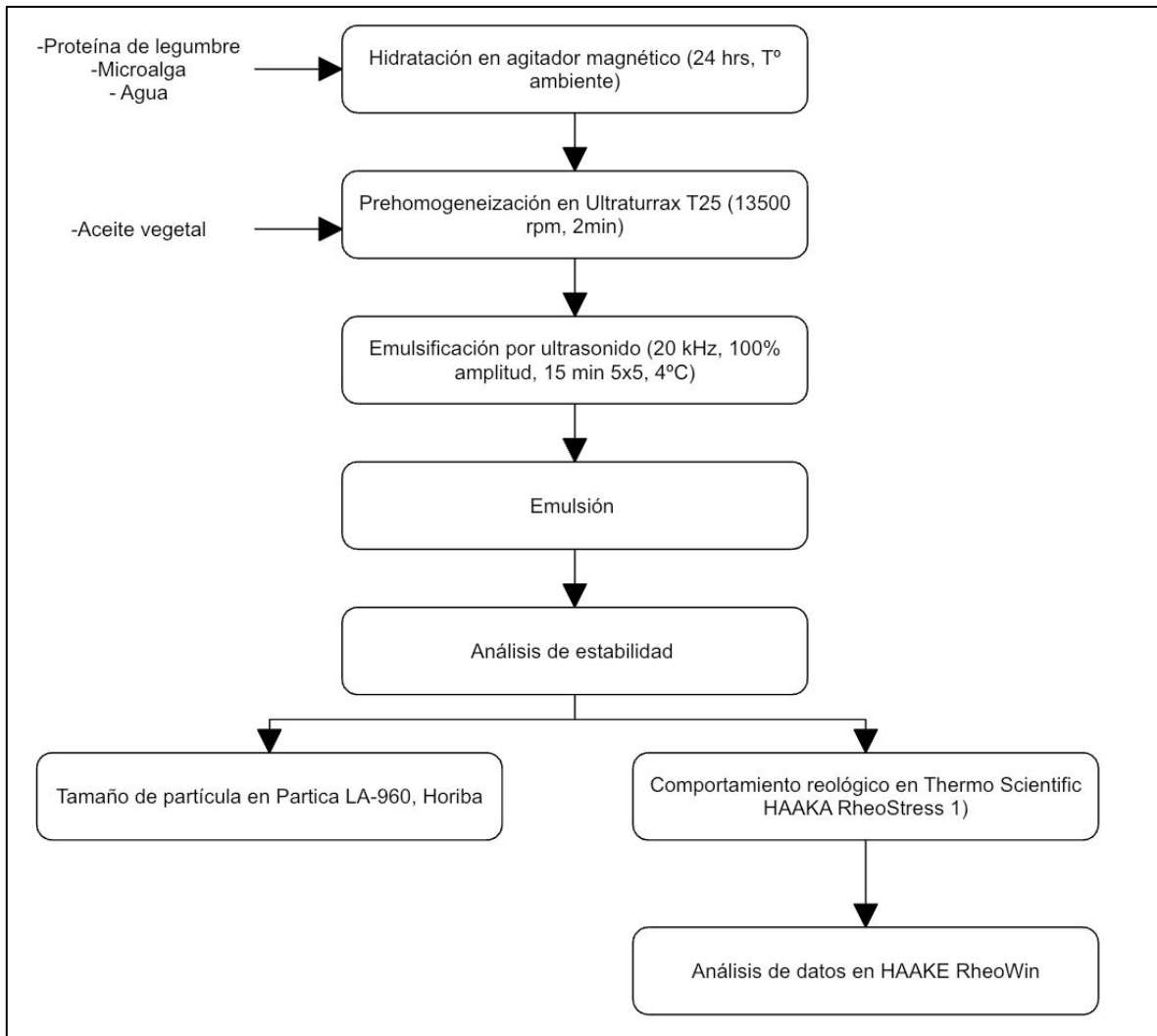
Se realizaron 6 experimentos, en los cuales varía la relación proteína: aceite y la cantidad de Chlorella utilizada dependiendo si el producto será fortificado o adicionado en proteína con la Chlorella. Para todos los experimentos se utilizó el equipo Utra Turrax y el equipo de ultrasonido a las mismas condiciones, la cantidad de proteína de legumbre tampoco varía.

La cantidad de agua en la microalga es proporcional a los gramos que se utilizan, debido a su capacidad de dilución (cada gramo de microalga se diluyó en 23,6 ml de agua), por lo que al variar la cantidad de microalga, también cambia la cantidad de fase acuosa a utilizar.

En el caso de la adición se consideró la adición de 6% de proteína en microalga por porción de consumo habitual, y para la fortificación se consideró un 11% de proteína en microalga por porción de consumo habitual.

*Tabla 1. Diseño experimental.*

Experimento	Proteína: Aceite	Proteína de legumbre	Microalga	Ultraturrax	Ultrasonido
1	1:1	2,9 g en 38,4 ml de agua	2,9 g en 68,4 ml de agua 6%DDR proteína (Adición)	13500 rpm 2 min.	20 Hz 100% amplitud 15 min 4°C
2	1:2				
3	2:1				
4	1:1				
5	1:2				
6	2:1				
			5,5 g en 129,7 ml de agua 11%DDR proteína (Fortificación)		



*Figura 11. Diagrama de flujo del procedimiento de los experimentos.*

#### **5.3.4. Evaluación de tamaño de partícula**

Las propiedades de estabilidad se midieron inmediatamente después de preparar la emulsión mediante un analizador de tamaño de partículas por difracción láser (Partica LA-960 de Horiba).



*Figura 12. Equipo Partica LA-960, Horiba.*

### **5.3.5. Evaluación de comportamiento reológico**

El comportamiento reológico se caracterizó utilizando un reómetro de tensión/velocidad controlada (Thermo Scientific HAAKE RheoStress 1. El software HAAKE RheoWin se utilizó para calcular y analizar los datos.



*Figura 13. Thermo Scientific HAAKE RheoStress 1.*

### **5.3.6. Análisis e interpretación de datos obtenidos**

Se analizó detalladamente cada resultado de cada muestra que entregaron los distintos equipos que se utilizaron. Se compararon las muestras para determinar la mejor en términos de estabilidad y comportamiento reológico. Se realizó un análisis estadístico de los resultados.

## 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

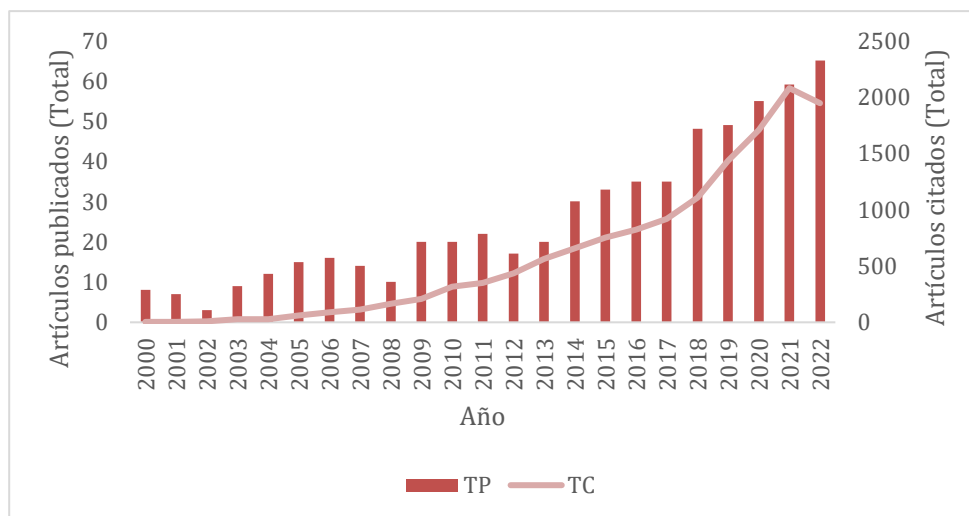
### 6.1. Análisis bibliométrico

#### 6.1.1. Análisis bibliométrico de emulsión con aceite vegetal

Este análisis tiene como objetivo encontrar el aceite vegetal más mencionado dentro de los documentos relacionados con emulsiones con aceite vegetal para posteriormente utilizarlo como materia prima en el desarrollo de emulsiones.

##### 6.1.1.1. Tendencias de publicación y citación

En la figura 14 se puede observar la tendencia de publicaciones y citaciones relacionadas con emulsiones con aceite vegetal desde el año 2000 hasta el 2022, destacando el mayor número de artículos publicados el año 2022 con un total de 65 publicaciones, en segundo lugar se encuentra el año 2021 con 59 publicaciones y en tercer lugar el año 2020 con 55 publicaciones, por lo que se puede decir que el tema se encuentra en alza con respecto a investigaciones, notando un gran interés en el tema en los últimos años. Por otro lado, es muy notorio el aumento de citaciones a través del tiempo, observando un peak el 2021 con un total de 2077, siguiéndole el 2022 con un total de 1944 citaciones.



**Figura 14.** Total de artículos publicados (TP) y citados (TC) por año de emulsión con aceite vegetal.

En cuanto al tipo de documento, podemos destacar a los artículos como los documentos con mayor frecuencia publicados con un total de 546 (90,7%), en segundo lugar, podemos destacar los reviews con un total de 33 (5,5%) documentos, abarcando un 96,2% del total de documentos la suma de los artículos y Reviews.

### 6.1.1.2. Revistas más productivas en emulsiones con aceite vegetal

La tabla 2 presenta las 5 revistas más productivas en emulsiones con aceite vegetal, dentro de la cual distingue la revista *JOURNAL OF DISPERSION SCIENCE AND TECHNOLOGY* con un total de 18 publicaciones, enfocada en química y física; en segundo lugar, se encuentra *COLLOIDS AND SURFACES A PHYSICOCHEMICAL AND ENGINEERING ASPECT* con un total de 14 publicaciones, también enfocada en química y física. En relación al factor de impacto es importante mencionar que la revista *FOODS HIDROCOLLOIDS* presenta el mayor factor de impacto con 11,50, enfocada en la química aplicada y la ciencia y tecnología de alimentos.

**Tabla 2.** Las 5 revistas más productivas en emulsiones con aceite vegetal.

R	Revistas	Categoría de JRC	TP	FI	Q	Editorial
1	Journal of dispersion science and technology	Chemistry, Physical in Scie edition	18	2,06	4	TAYLOR & FRANCIS INC
2	Colloids and surfaces a physicochemical and engineering aspects	Chemistry, Physical	14	5,52	2	ELSEVIER
3	Journal of cleaner production	Engineering, Environmental	14	11,07	1	ELSEVIER SCI LTD
4	Food Hidrocolloids	Chemistry, Applied	11	11,50	1	ELSEVIER
5	Journal of colloid and interface science	Chemistry, Physical	11	9,97	1	ACADEMIC PRESS INC ELSEVIER SCIENCE

Como se puede observar en la figura 15, la cual indica el índice  $h$  de las revistas con mayor número de publicaciones con respecto a emulsiones con aceite vegetal, cabe destacar a la revista *JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION*, ya que, presenta el mayor índice  $h$ , con una calificación de 10, a pesar de encontrarse en tercer lugar en el ranking de número de publicaciones; en segundo lugar se encuentra la revista *FOOD HIDROCOLLOIDS* y *COLLOIDS AND SURFACES A PHYSICOCHEMICAL AND ENGINEERING ASPECTS* con un índice  $h$  de 9, estas revistas en el ranking de número de publicaciones se encuentran en 4° y 2° lugar respectivamente.

En cuanto a las editoriales, ninguna se repite dentro del top 5 revistas con mayor cantidad de publicaciones, pero si es importante mencionar que la revista *JOURNAL OF DISPERSION SCIENCE AND TECHNOLOGY* pertenece a la editorial TAYLOR & FRANCIS INC.

Finalmente, en cuanto a la clasificación por cuartiles referidos a la categoría del JRC, un 60% corresponde al Q=1, categorizando a 3 de 5 revistas en este cuartil, un 20% corresponden a Q=2 y los otros 20% a Q=4.

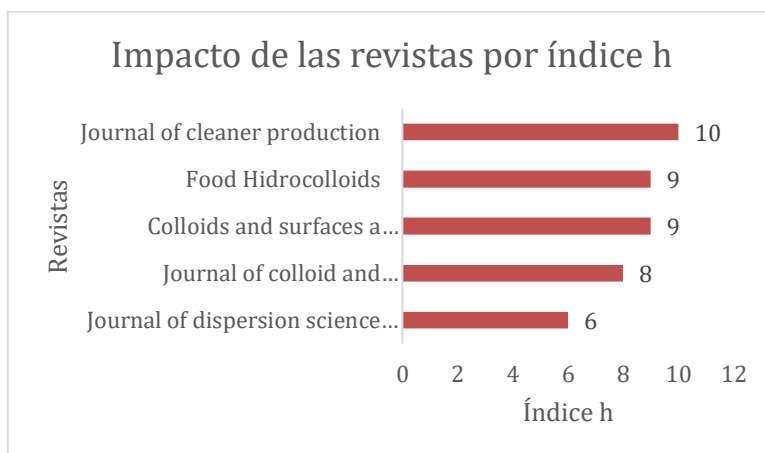


Figura 15. Índice h de revistas en emulsiones con aceite vegetal.

### 6.1.1.3. Autores más productivos en emulsiones con aceite vegetal

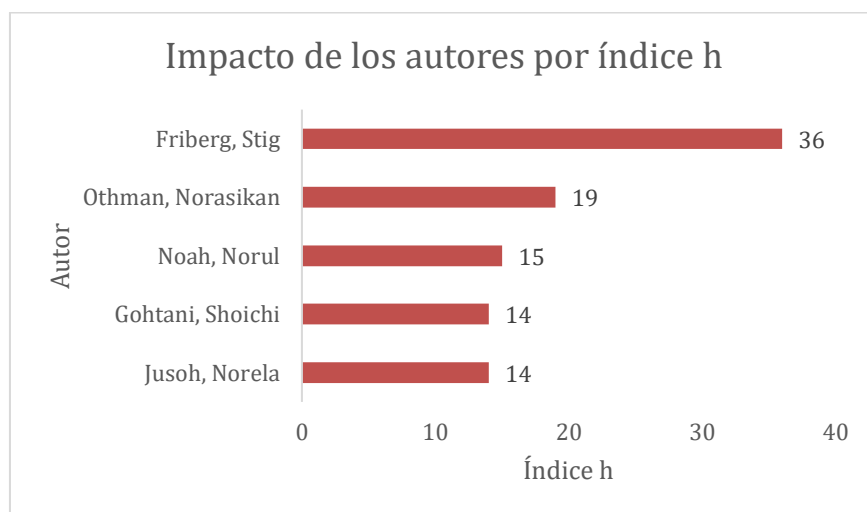
En la tabla 3 se encuentra un ranking de los 5 autores más productivos en emulsiones con aceite vegetal; en primer lugar, con respecto al total de publicaciones se encuentra Stig Friberg con un total de 10 publicaciones y 86 citaciones, Stig fue Doctor de Química y posteriormente el Dr. Friberg fue nombrado director del Instituto Sueco de Química de Superficies (YKI) (MS&T, s.f.), posteriormente, se encuentra Norela Jusoh y Norul Noah, ambos con un total de 9 publicaciones y 118 citaciones, ambos autores pertenecen a Universiti Teknologi Malaysia y tienen una relación citas/publicaciones de 13,1, la segunda más alta, ya que, lo supera Norasikan Othman con una relación de 14.6.

Tabla 3. Autores más productivos en emulsiones con aceite vegetal.

R	Autor	Organización	País	TP	TC	C/P
1	Friberg, Stig	Norwegian University of Science & Technology (NTNU)	Noruega	10	86	8,6
2	Jusoh, Norela	Universiti Teknologi Malaysia	Malasia	9	118	13,1
3	Noah, Norul	Universiti Teknologi Malaysia	Malasia	9	118	13,1
4	Gohtani, Shoichi	Kagawa University	Japón	8	92	11,5
5	Othman, Norasikan	Universiti Teknologi Malaysia	Malasia	8	117	14,6

TP: total de publicaciones, TC: total de citas, C/P: citas por publicaciones.

En la figura 16 se puede observar el índice  $h$  de los autores con mayor número de publicaciones, el índice  $h$  es en relación a las publicaciones totales del autor y no solo de emulsiones con aceite vegetal. Stig Friberg destaca en primer lugar con un índice  $h$  de 36, coincidiendo con su primer lugar con respecto a la cantidad de publicaciones, posteriormente se encuentra Norasikan Othman con un índice  $h$  de 19, importante destacar su índice  $h$  a pesar de que en el ranking con respecto a la cantidad de publicaciones se encuentra en quinto lugar. En tercer lugar se encuentra Norul Noah con un índice  $h$  de 15, quien se encuentra en la misma posición en el ranking de cantidad de publicaciones.



**Figura 16.** Índice  $h$  de autores en emulsiones con aceite vegetal.

#### 6.1.1.4. Documentos más citados en emulsiones con aceite vegetal

Según el ranking de 5 documentos más citados en emulsiones con aceite vegetal presentados en la tabla 4, dos son considerados review y 3 artículos; el documento más citado con un total de 303 citas se titula “Vegetable oils as a potential cutting fluid-An evolution” de Shashidhara et al., es un artículo publicado el año 2010 y cuenta con una relación citas/año de 21,64, en español se titula “Los aceites vegetales como potencial fluido de corte: una evolución” y trata sobre la aplicación de aceites vegetales como posibles fluidos para trabajar metales, destacando las contribuciones de más de 60 autores sobre los aceites vegetales como fluidos de corte amigables con el medio ambiente, informando el rendimiento de los aceites como emulsiones y puros para distintos materiales y condiciones. En segundo lugar, con un total de 303 citaciones se encuentra “Electrostatic enhancement of coalescence of water droplets in oli: a review of the technology” de Eow et al., es un review publicado el año 2002 y cuenta con una relación citas/año de 13,68, en español se titula “Mejora electrostática de la



coalescencia de gotas de agua en aceite: una revisión de la tecnología”. Es de importancia destacar el artículo “Ecological trends in machining as a key factor in sustainable production – A review” el cual, a pesar de encontrarse en el tercer puesto con respecto al total de publicaciones, se encuentra en primer lugar en relación de citas/año con 45,4, en español se titula “Tendencias ecológicas en el mecanizado como factor clave en la producción sostenible”.

**Tabla 4.** Documentos más citados en emulsiones con aceite vegetal.

TC	Título	Autor	Tipo de documento	Año	C/A
303	Vegetable oils as a potential cutting fluid-An evolution	Shashidhara et al.	A	2010	21,64
301	Electrostatic enhancement of coalescence of water droplets in oil: a review of the technology	Eow et al.	R	2002	13,68
227	Ecological trends in machining as a key factor in sustainable production - A review	Krolczyk et al.	R	2019	45,4
227	Encapsulation of oil in powder using spray drying and fluidised bed agglomeration	Fuchs et al.	A	2006	12,61
222	Non-coalescence of oppositely charged drops	Ristenpart et al.	A	2009	14,8

C/A: citas por año.

#### 6.1.1.5. Análisis de citación en emulsiones con aceite vegetal

En la tabla 5 se puede observar el ranking de los 5 países más productivos e influyentes en emulsiones con aceite vegetal, se puede apreciar que en primer lugar se encuentra Estados Unidos con un total de 84 publicaciones y 1951 citaciones, siguiéndole India con un total de 80 publicaciones y 1803 citaciones. Por otro lado, es importante destacar a Francia a pesar de que se encuentra en quinto lugar en relación al total de publicaciones con 1077, presenta la más alta relación citas/publicaciones con 31,68. Finalmente, India presenta 3 publicaciones con un número de citaciones mayor a 100 y Estados Unidos 2 publicaciones al igual que Francia.

**Tabla 5.** Países más productivos e influyentes en emulsiones con aceite vegetal.

R	PAÍS	TP	TC	C/P	≥100	≥50	≥10
1	USA	84	1951	23,23	2	11	53
2	India	80	1803	22,54	3	10	48
3	China	69	1208	17,51	1	6	39
4	Brasil	61	999	16,38	1	5	26
5	Francia	34	1077	31,68	2	5	26

TP: total publicaciones, TC: total citas, C/P: citas por publicación.

### 6.1.1.6. Análisis de palabras claves en emulsiones con aceite vegetal

En la figura 17 podemos observar un Foamtree de emulsiones con aceite vegetal, en el cual mientras más grandes se encuentre la palabra, fue más utilizada la palabra clave. Se utilizó un ranking de 25 palabras y se eliminaron las que eran idénticas a las utilizadas en la búsqueda de documentos, por lo que quedaron 21 palabras (anexo 2).



Figura 17. FoamTree de emulsiones con aceite vegetal.

La palabra clave que presenta mayor frecuencia es *estabilidad* con una frecuencia de 70, posteriormente la palabra clave *rendimiento* con una frecuencia de 46, siguiéndole *agua* con una frecuencia de 42. Es muy importante destacar que la primera variedad de aceite vegetal mencionada es el *aceite de soja* con una frecuencia de 19.

Este análisis tiene como objetivo encontrar el aceite más mencionado en documentos de emulsiones con aceite vegetal para utilizarla como materia prima en el desarrollo de una emulsión, por lo que se hará uso de aceite de soja.

La soja se cultiva desde hace 5.000 años en China, es una especie originaria del este de Asia. Su aceite se destaca por su buena calidad y bajo costo, siendo uno de los aceites vegetales más importante a nivel mundial, siendo Argentina, Brasil y Estados Unidos los principales productores (Franco, 2001).

La semilla de la soja posee alto contenido nutricional comparada con otras legumbres, gracias a su destacado porcentaje de proteínas (38,80% a 40,81%) y menor cantidad de carbohidratos que otras legumbres, por lo que es muy utilizada en dietas balanceadas; también posee alto contenido de aceite, formado en su mayor proporción por ácidos grasos

insaturados, especialmente ácido linoleico (omega 6) y oleico (omega 3), los cuales son importantes para la salud cardiovascular y puede contribuir en la reducción de colesterol LDL y aumentar el HDL (Aramendiz et al, 2014)

### 6.1.2. Análisis bibliométrico de emulsiones de proteína de legumbres

Este análisis tiene como objetivo encontrar la proteína de legumbre más mencionada dentro de los documentos relacionados con emulsiones de proteína de legumbres para posteriormente utilizarla como materia prima en el desarrollo de emulsiones.

#### 6.1.2.1. Tendencias de publicación y citación

La figura 18 muestra la tendencia de publicaciones y citaciones relacionadas con emulsiones de proteína de legumbres a través de los años 2000 al 2022. Dentro de este rango de tiempo no se publicaron documentos en los años 2000 y 2004. Los resultados no muestran una tendencia en el número de publicaciones, habiendo años en los que se publicaba una gran cantidad y al siguiente año disminuía notoriamente, esto se debe al tamaño de muestra, el cual es pequeño, lo que no permite obtener datos tan representativos.

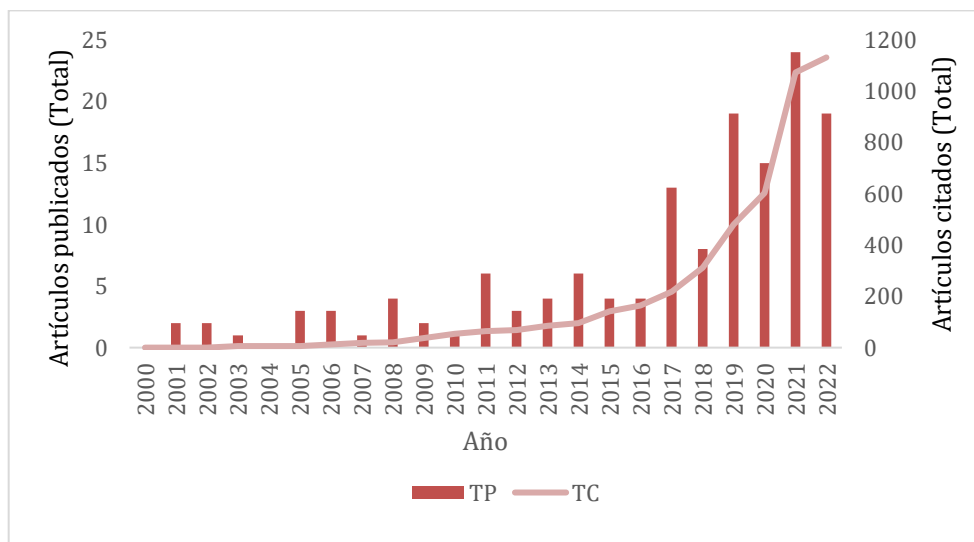


Figura 18. Total de artículos publicados y citados por año de emulsión de proteína de legumbres.

El año con mayor publicaciones fue el 2021 con un total de 24, encontrándose en el segundo lugar en cuanto a la cantidad de citaciones con un total de 1.072, por otro lado, los años 2019 y 2022 se encuentran en segundo lugar con respecto a la cantidad de artículos publicados, ambos con un total de 19, en cuanto a las citaciones, el año 2022 se encuentra en primer lugar con un total de 1.131 y el año 2019 en cuarto lugar con un total de 479.

En cuanto al tipo de documento, podemos destacar a los artículos como los documentos con mayor frecuencia publicados con un total de 129 (89,6%) documentos y en segundo lugar podemos destacar los artículos de revisión con un total de 14 (9,7%) documentos, abarcando un 99% del total de documentos la suma de los artículos y revisiones.

### 6.1.2.2. Revistas más productivas en emulsiones de proteína de legumbres

La tabla 6 muestra las 5 revistas más productivas en emulsiones de proteína de legumbres, siendo *FOOD RESEARCH INTERNATIONAL* la revista que se encuentra en primer lugar con un total de 11 publicaciones y un factor de impacto de 7,43, enfocada en ciencia y tecnología de los alimentos. Como segundo lugar le sigue la revista *FOOD HYDROCOLLOIDS* con un total de 10 publicaciones y con un factor de impacto de 11,50, siendo la revista con mayor impacto, enfocada en química aplicada. Posteriormente sigue la revista *FOODS Y LWT-FOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY*, ambos con un total de 9 publicaciones y un factor de impacto de 5,56 y 6,06 respectivamente, ambas enfocadas en ciencia y tecnología de los alimentos.

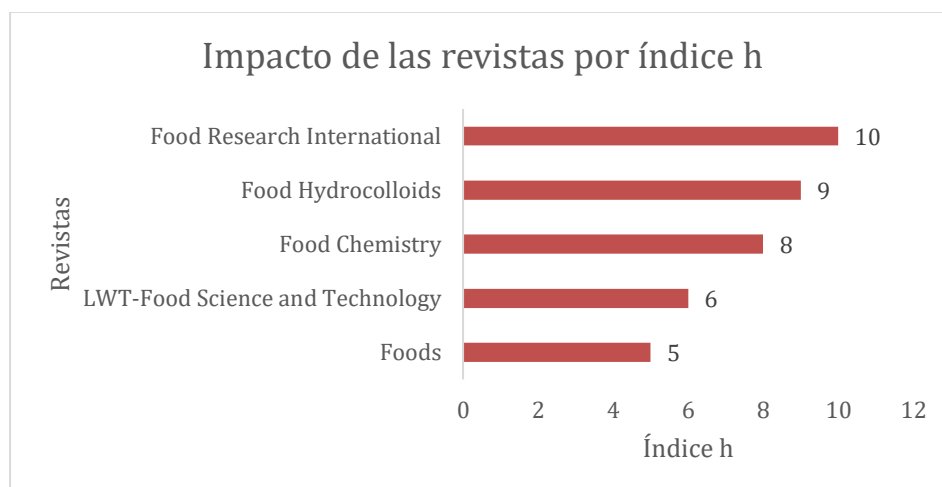
**Tabla 6.** Las 5 revistas más productivas en emulsiones de proteína de legumbres.

R	Revistas	Categoría de JRC	TP	FI	Q	Editorial
1	Food Research International	Food Science & Technology	11	7,43	1	ELSEVIER
2	Food Hydrocolloids	Chemistry, Applied	10	11,50	1	ELSEVIER R SCI LTD
3	Foods	Food Science & Technology	9	5,56	1	MDPI
4	LWT-Food Science and Technology	Food Science & Technology	9	6,06	1	ELSEVIER
5	Food Chemistry	Chemistry, Applied	8	9,23	1	ELSEVIER R SCI LTD

En la figura 19 se puede observar el índice *h* del ranking de las revistas con mayor número de publicaciones con respecto a emulsiones de proteína de legumbres, en el cual se puede destacar la revista *FOOD RESEARCH INTERNATIONAL* con un índice *h* de 10, coincidiendo su primer lugar con el ranking de revistas con mayor cantidad de publicaciones, esta revista pertenece a la editorial ELSEVIER, la siguiente revista es *FOOD HYDROCOLLOIDS* con un índice *h* de 9, también coincidiendo con el ranking; posteriormente se encuentra *FOOD CHEMISTRY* con un índice *h* de 8, cabe destacar que esta revista se encuentra en 5° lugar en el ranking con un total de 8 publicaciones.

En relación a las editoriales, ELSEVIER y ELSEVIER SCI LTD, cada una tiene 2 revistas del top 5 revistas con mayor publicaciones.

Finalmente, en cuanto a la clasificación por cuartiles referidos a la categoría del JRC, un 100% corresponde al Q=1, categorizando a las 5 revistas del ranking.



*Figura 19. Índice h de revistas en emulsiones de proteína de legumbres.*

### **6.1.2.3. Autores más productivos en emulsiones de proteína de legumbres**

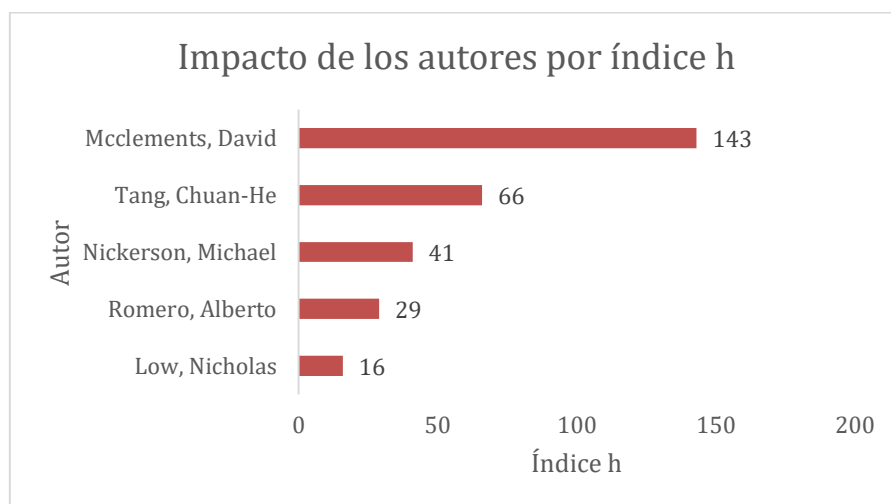
Entre el año 2000 al 2022, los 5 autores más productivos publicaron un total de entre 5 y 10 publicaciones con respecto a emulsiones de proteínas de legumbres. Según la tabla 7, Michael Nickerson es el autor más productivo con un total de 10 publicaciones y una relación citas/publicación de 80,4, Dr. Nickerson ocupa una Cátedra de Investigación Agrícola y Alimentaria de Saskatchewan en Calidad y Utilización de Proteínas en el Departamento de Ciencias Alimentarias y de Bioproductos de la Universidad de Saskatchewan desde 2006. Sus principales áreas de investigación incluyen la evaluación de tecnologías de procesamiento de proteínas derivadas de productos básicos agrícolas, la evaluación de proteínas calidad, mejorando la funcionalidad de las proteínas vegetales y desarrollando innovaciones de valor añadido asociadas al uso de proteínas derivadas de cultivos de oleaginosas, leguminosas y cereales (US, s.f.a); mientras que en la última posición se encuentra Nicholas Low con un total de 5 y relación entre citas y publicaciones de 126,8, destacándose por ser el autor que presenta mayor relación entre citas y publicaciones con 634, Nicholas es Doctor en Química de Alimentos, y dentro de sus áreas de investigación se

encuentra autenticidad y trazabilidad de los alimentos, estudios de estructura-función-mecanismo de fenoles de frutas y sus capacidades antioxidantes y química de carbohidratos (US, s.f.b).

**Tabla 7.** Autores más productivos en emulsiones de proteína de legumbres.

R	Autor	Organización	País	TP	TC	C/P
1	Michael Nickerson	University of Saskatchewan	Canadá	10	804	80,4
2	Alberto Romero	University of Seville	España	6	235	39,17
3	David Mcclements	University of Massachusetts	USA	6	355	59,17
4	Chuan-He Tang	South China University of Technology	Peoples R China	6	341	56,83
5	Nicholas Low	University of Saskatchewan	Canadá	5	634	126,8

En la figura 20 se puede observar el índice  $h$  de los 5 autores con mayor cantidad de publicaciones con respecto a emulsiones con proteínas de legumbres, en el cual se puede destacar a David Mcclements con un índice  $h$  de 143, número muy por sobre los otros autores. En segundo lugar se encuentra Chuan-He Tang con un índice  $h$  de 66, Tang se encuentra en el 4° lugar dentro del ranking de los autores con más publicaciones con un total de 6. Posteriormente se encuentra Michael Nickerson con un índice  $h$  de 41, quien se encuentra en 1° lugar en el ranking de cantidad de publicaciones.



**Figura 20.** Índice  $h$  de autores en emulsiones de proteína de legumbres.

#### 6.1.2.4. Documentos más citados en emulsiones de proteína de legumbres.

La tabla 8 presenta los 5 documentos más citados en emulsiones de proteína de legumbres, el total de ellos son artículos de investigación, de los cuales 1 es además proceeding papers. El documento “Emulsifying properties of chickpea, faba bean, lentil and pea proteins produced by isoelectric precipitation and salt extraction” de Karaca et al., publicado el año 2011, se destaca por ser el documento más citado con un total de 389 citas, en español se titula “Propiedades emulsionantes de proteínas de garbanzo, haba, lenteja y arveja producidas por precipitación isoelectrónica y extracción de sal”. El artículo trata sobre la investigación de propiedades emulsificantes y fisicoquímicas de aislados proteicos leguminosos producidos por precipitación isoelectrónica y extracción con sal, comparándolo con un aislado de soja, detectando que la fuente de leguminosas y el método de producción de aislados afectaron significativamente sus propiedades.

**Tabla 8.** Documentos más citados en emulsiones de proteína de legumbres.

R	TC	Título	Autor	Tipo de documento	Año	C/A
1	389	Emulsifying properties of chickpea, faba bean, lentil and pea proteins produced by isoelectric precipitation and salt extraction	Karaca et al.	A	2011	29,92
2	320	Structural and functional characterization of kidney bean and field pea protein isolates: A comparative study	Kaur et al.	A	2015	35,56
3	315	Plant-based milk alternatives an emerging segment of functional beverages: a review	Anurag et al.	A	2016	39,38
4	158	Study of functional properties of seed storage proteins from indigenous European legume crops (lupin, pea, broad bean) in admixture with polysaccharides	Doxastakis et al.	A; PP	2005	8,32
5	149	Nutrients and antinutrients in cowpea and horse gram flours in comparison to chickpea flour: Evaluation of their flour functionality	Sashikala et al.	A	2012	12,42

#### 6.1.2.5. Análisis de citación en emulsiones de proteína de legumbres

En la tabla 9 se pueden observar los 5 países más productivos e influyentes en emulsiones de proteína de legumbres entre los años 2000 y 2022. Cabe destacar a Canadá quien lidera por su gran productividad e influencia en el tema con un total de 19 publicaciones, 919 citas, obteniendo primer lugar en ambas categorías y una relación de citas por publicación de 48,37, obteniendo segundo lugar. Posteriormente se encuentra India con un total de 17 publicaciones, 911 citas, obteniendo segundo lugar en ambas categorías y una relación de



citas por publicación de 53,59, obteniendo primer lugar en esta categoría. En tercer lugar, se encuentra República Popular China con un total de 14 publicaciones, 618 citas y una relación de citas por publicación de 44,14. De acuerdo al número de citas, Canadá y Estados Unidos, ambos tienen 5 publicaciones con un número de citas mayor o igual a 50, siguiéndole República Popular China con 4 publicaciones e India con 3 publicaciones.

**Tabla 9.** Países más productivos e influyentes en emulsiones de proteína de legumbres.

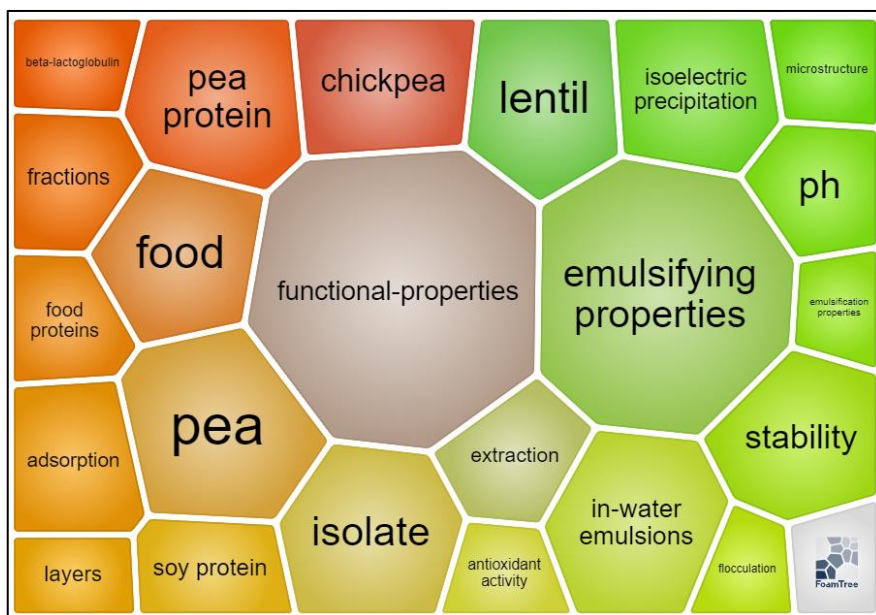
R	PAÍS	TP	TC	C/P	≥50	≥25	≥10
1	Canadá	19	919	48,37	5	7	12
2	India	17	911	53,59	3	5	7
3	República Popular China	14	618	44,14	4	7	12
4	Estados Unidos	13	614	47,23	5	8	10
5	Países Bajos	9	209	23,22	1	4	6

#### 6.1.2.6. Análisis de palabras claves en emulsiones de proteína de legumbres.

En la figura 21 podemos observar un Foamtrees de emulsiones de proteína de legumbres en el cual mientras más grandes se encuentre la palabra, fue más utilizada la palabra clave. Se utilizó un ranking de 25 palabras y se eliminaron las que eran idénticas a las utilizadas en la búsqueda de documentos, por lo que quedaron 23 palabras (anexo 3).

La palabra clave que presenta mayor frecuencia es *propiedades funcionales* con una frecuencia de 25, posteriormente la palabra clave *propiedades emulsificantes* con una frecuencia de 20, siguiéndole *arveja* con una frecuencia de 11, es muy importante destacar esta palabra clave, ya que, es la primera variedad de proteína de legumbre mencionada en las palabras claves.

Este análisis tiene como objetivo encontrar la legumbre más mencionada en documentos de emulsiones de proteína de legumbres para utilizarla como materia prima en el desarrollo de una emulsión, por lo que se hará uso de Arveja.



*Figura 21. FoamTree de emulsiones de proteína de legumbres.*

La arveja está considerada como una de las plantas cultivadas más antiguas, ya eran conocidas y utilizadas en el Cercano Oriente entre los años 7.000 a 6.000 a.C.

La producción de este cultivo es más extensiva en la India, Birmania, Etiopía, los países que bordean el lago Victoria en el Este de África, Congo y Marruecos. En Sudamérica; los países con mejor cosecha son Colombia, Ecuador, Chile y Perú, siendo considerados como los mejores productores (Gamarra et al, 2021).

En su estado natural, es uno de los vegetales más ricos en tiamina (vitamina B1), vitamina esencial para la producción de energía, además posee una alta cantidad de proteínas (20-25%) y carbohidratos y es baja en grasas, sumándole que es una fuente de fibra (promueve el buen funcionamiento intestinal, ayuda a eliminar grasas saturadas y previene el cáncer de colon) y de vitaminas A, B y C relevantes; proporciona energía que hace permanecer más tiempo la glucosa en la sangre, tiene un gran poder antioxidante protegiendo la retina y previniendo enfermedades vinculadas a la vista además de ser muy útil en los procesos de coagulación de la sangre y en el fortalecimiento de los huesos (Bernardi, s.f.).

### 6.1.3. Análisis bibliométrico de emulsiones con microalgas

Este análisis tiene como objetivo encontrar la microalga más mencionada dentro de los documentos relacionados con emulsiones de proteína de legumbres para posteriormente utilizarla como materia prima en el desarrollo de emulsiones.

#### 6.1.3.1. Tendencias de publicación y citación

En la figura 22 se puede observar la tendencia de publicaciones y citaciones relacionadas con emulsiones con microalga desde el año 2000 hasta el 2022, destacando el mayor número de artículos publicados el año 2020 con un total de 27 publicaciones, en segundo lugar se encuentra el año 2021 con 26 publicaciones y en tercer lugar el año 2022 con 21 publicaciones. Por otro lado, es muy notorio el aumento de citaciones a través del tiempo, por lo que los últimos 3 años son los más citados desde el 2000. Se puede decir que es un tema que va en alza con respecto a investigaciones, notando un gran interés en el tema en los últimos años.

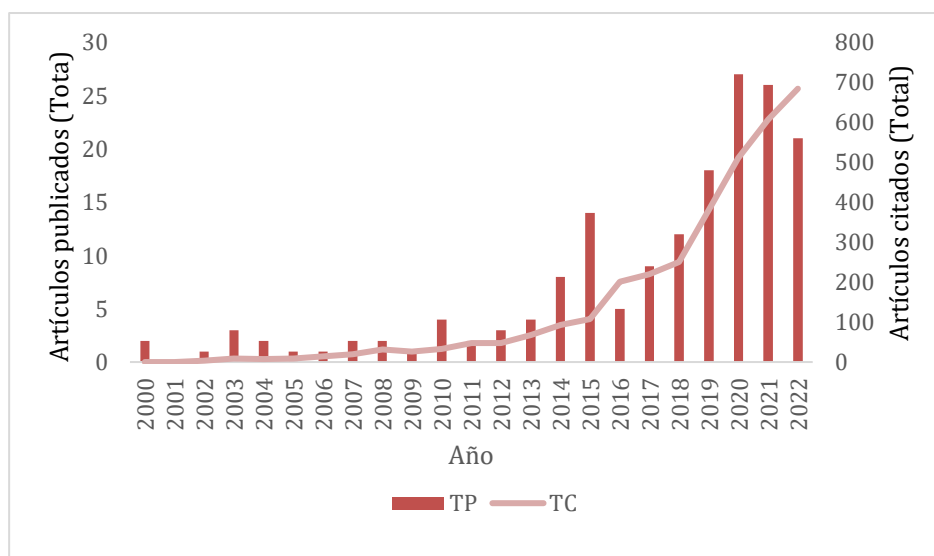


Figura 22. Total de artículos publicados y citados por año de emulsión con microalga.

En cuanto al tipo de documento, podemos destacar a los artículos como los documentos con mayor frecuencia publicados con un total de 48 (96%) documentos de un total de 50, de los dos restantes, uno de ellos es un artículo proceeding paper y el otro es meeting abstract.

### 6.1.3.2. Revistas más productivas en emulsiones de emulsiones con microalgas

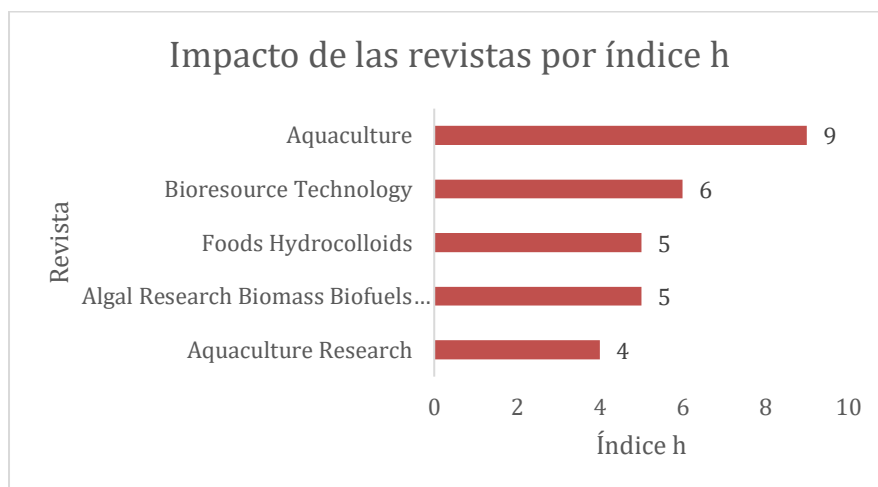
La tabla 10 presenta las 5 revistas más productivas en emulsiones con microalga, dentro de la cual distingue la revista *Aquaculture* con un total de 11 publicaciones, enfocada en pesca y biología marina y de agua dulce, en segundo lugar, se encuentra *BIORESOURCE TECHNOLOGY* con un total de 8 publicaciones, enfocada en ingeniería agrícola, en relación al factor de impacto esta se encuentra en primer lugar con 11,89, delante de la revista *FOODS HYDROCOLLOIDS* la cual presenta un factor de impacto de 11,50, enfocada en química aplicada.

Tabla 10. Las 5 revistas más productivas en emulsiones con microalga.

R	Revistas	Categoría de JRC	TP	FI	Q	Editorial
1	Aquaculture	Fisheries	11	5,14	1	ELSEVIER
2	Bioresource Technology	Agricultural Engineering	8	11,89	1	ELSEVIER SCI LTD
3	Algal Research Biomass Biofuels and Bioproducts	Biotechnology & Applied Microbiology	6	5,28	2	ELSEVIER
4	Foods Hydrocolloids	Chemistry, Applied	6	11,50	1	ELSEVIER SCI LTD
5	Aquaculture Research	Fisheries	5	2,18	3	WILEY

En la figura 23 se puede observar el índice  $h$  de las revistas con mayor cantidad de publicaciones con respecto a emulsiones con microalga, en el cual se puede destacar la revista *Aquaculture* con un índice  $h$  de 9, la cual también se encuentra en 1° lugar en el ranking de cantidad de publicaciones; posteriormente se encuentra *BIORESOURCE TECHNOLOGY* con un índice  $h$  de 6, el tercer lugar con un índice  $h$  de 5 lo comparten las revistas *FOODS HYDROCOLLOIDS* y *ALGAL RESEARCH BIOMASS BIOFUELS AND BIOPRODUCTS*. En cuanto a las editoriales, ELSEVIER y ELSEVIER SCI LTD, cada una tiene dentro del ranking a 2 de sus revistas.

Finalmente, en cuanto a la clasificación por cuartiles referidos a la categoría del JRC, un 60% corresponde al Q=1, categorizando a 3 de 5 revistas en este cuartil, un 20% corresponden a Q=2 y otro 20% corresponden a Q=4.



*Figura 23. Índice h de revistas en emulsiones con microalgas.*

### **6.1.3.3. Autores más productivos en emulsiones de emulsiones con microalgas**

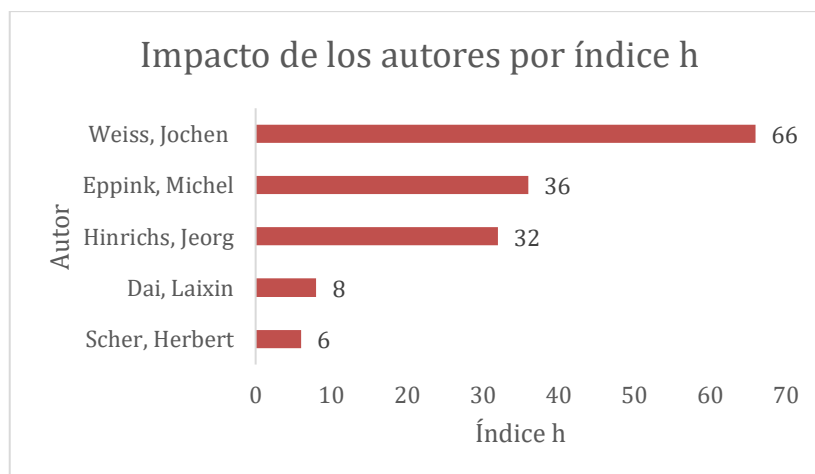
En la tabla 11 se encuentra un ranking de los 5 autores más productivos en emulsiones con microalga, en primer lugar, con respecto al total de publicaciones se encuentra Jochen Weiss con un total de 7 publicaciones y 79 citaciones, Weiss trabaja como profesor titular en la Universidad de Hohenheim en Stuttgart, Alemania, donde dirige el Departamento de Física de Alimentos y Ciencias de la Carne en el Instituto de Ciencia y Biotecnología de los Alimentos. Su trabajo de investigación se centra en fenómenos físicos fundamentales y aplicados y el comportamiento material de los alimentos con un énfasis en el uso de materias primas novedosas para diseñar la estructura de los alimentos (ISEKI, s.f.) ; en segundo lugar, se encuentra Jeorg Hinrichs con un total de 6 publicaciones y 63 citaciones, Hinrichs en 2001 fue nombrado Profesor del Departamento de Materia Blanda y Tecnología Láctea del Instituto de Ciencia y Biotecnología de los Alimentos de la Universidad de Hohenheim y Director de la planta piloto Lácteos para Investigación y Capacitación. Los principales temas de investigación son los procesos innovadores y las herramientas analíticas, la ciencia de la materia blanda de los alimentos, los procesos y la seguridad alimentaria (NIZO, s.f.). Por otro lado, en la relación de citas por publicaciones, Michel Eppink está en primer lugar con 13,2 a pesar de que en el total de publicaciones es el quinto, Eppink realizó un magister en biología

y química en 1993 en la Universidad de Utrecht y un doctorado en 1999 de la Universidad de Wageningen e Investigación en el Laboratorio de Bioquímica con experiencia en relaciones estructura/función de proteínas, tiene más de 30 años de experiencia en el procesado posterior de biomoléculas grandes (proteínas, lípidos, carbohidratos), le sigue Jochen Weiss con una relación de 11,29.

**Tabla 11.** Autores más productivos en emulsiones con microalga.

R	Autor	Organización	País	TP	TC	C/P
1	Jochen Weiss	University of Hohenheim	Alemania	7	79	11,29
2	Jeorg Hinrichs	University of Hohenheim	Alemania	6	63	10,5
3	Herbert Scher	UC Davis	USA	5	12	2,4
4	Laixin Dai	University of Hohenheim	Alemania	5	42	8,4
5	Michel Eppink	Wageningen University	Netherlands	5	55	13,2

En la figura 24 se puede observar el índice  $h$  de los autores con mayor número de publicaciones con respecto a emulsiones con proteínas de legumbres, en el cual se puede destacar a Jochen Weiss con un índice  $h$  de 66, quien también se encuentra en 1º lugar en el ranking de cantidad de publicaciones; posteriormente se encuentra Michel Eppink con un índice  $h$  de 36, importante destacar que Eppink se encuentra en 5º lugar en el ranking de cantidad de publicaciones y en tercer lugar se encuentra Jeorg Hinrichs con un índice  $h$  de 32.



**Figura 24.** Índice  $h$  de autores en emulsiones con microalgas.

#### 6.1.3.4. Documentos más citados en emulsiones con microalga.

Según el ranking de 5 documentos más citados en emulsiones con microalga presentados en la tabla 12, uno de ellos es considerado review y cuatro son considerados artículos; el documento más citado con un total de 257 citas se titula “Live feeds for early stages of fish rearing” de Conceicao et al., es un review publicado el año 2010 y cuenta con una relación citas/año de 18,36, en español se titula “Alimentos vivos para etapas tempranas de cría de peces” y trata sobre los principales tipos de alimentos vivos utilizados en la acuicultura, ventajas y desventajas con énfasis en su valor nutricional. En segundo lugar, con un total de 141 publicaciones se encuentra “Incorporation of Chlorella vulgaris and Spirulina maxima biomass in pasta products. Part 1: Preparation and evaluation” de Fradique et al., es un artículo publicado el año 2010 y cuenta con una relación citas/año de 10,07, en español se titula “Incorporación de biomasa de Chlorella vulgaris y Spirulina máxima en producto de pasta. Parte 1: Preparación y evaluación”. Es de importancia destacar el artículo “Dissolved oxygen from microalgae-gel patch promotes chronic wound healing in diabetes” el cual a pesar de encontrarse en el quinto puesto con respecto al total de publicaciones (119), se encuentra en primer lugar en relación de citas/año con 29,75, en español se titula “El oxígeno disolvente del parche de gel de microalgas promueve la cicatrización crónica de heridas en la diabetes”.

*Tabla 12. Documentos más citados en emulsiones con microalga.*

R	TC	Título	Autor	Tipo de documento	Año	C/A
1	257	Live feeds for early stages of fish rearing.	Conceicao et al.	R	2010	18,36
2	141	Incorporation of Chlorella vulgaris and Spirulina maxima biomass in pasta products. Part 1: Preparation and evaluation.	Fradique et al.	A	2010	10,07
3	129	Transesterification of canola, palm, peanut, soybean and sunflower oil with methanol, ethanol, isopropanol, butanol and tert-butanol to biodiesel: Modelling of chemical equilibrium, reaction kinetics and mass transfer based on fatty acid composition.	Likozar et al.	A	2014	12,9
4	128	Effect of process conditions on equilibrium, reaction kinetics and mass transfer for triglyceride transesterification to biodiesel: Experimental and modeling based on fatty acid composition.	Likozar et al.	A	2014	12,8
5	119	Dissolved oxygen from microalgae-gel patch promotes chronic wound healing in diabetes.	Chen et al.	A	2020	29,75

### 6.1.3.5. Análisis de citación en emulsiones con microalgas.

En la tabla 13 se puede observar el ranking de los países más productivos e influyentes en emulsiones con microalga, se puede apreciar que en primer lugar se encuentra República Popular China con un total de 24 publicaciones, siguiéndole Estados Unidos con un total de 23 publicaciones. Por otro lado, con respecto al total de citaciones y relación de citas por publicaciones, Estados Unidos toma el primer lugar con un total de citas de 466 y una relación de citas por publicaciones 20,26 y República Popular China el segundo con total de citas de 464 y una relación de citas por publicaciones de 19,33. A pesar de que la relación de citas por publicaciones es mayor en Estados Unidos, este presenta solo 2 documentos con un número de citaciones mayor o igual a 50, en cambio República Popular China presenta 3 documentos con un número de citaciones mayor o igual a 50, y ambos países (junto con Austria) presentan 11 publicaciones con un número de citaciones mayor o igual a 10.

Tabla 13. Países más productivos e influyentes en emulsiones con microalga.

R	País	TP	TC	C/P	≥50	≥25	≥10
1	República Popular China	24	464	19,33	3	4	11
2	USA	23	466	20,26	2	6	11
3	Australia	16	291	18,19	1	2	11
4	Brasil	11	71	6,45	0	0	3
5	Francia	11	150	13,64	0	3	7

### 6.1.3.6. Análisis de palabras claves en emulsiones con microalga

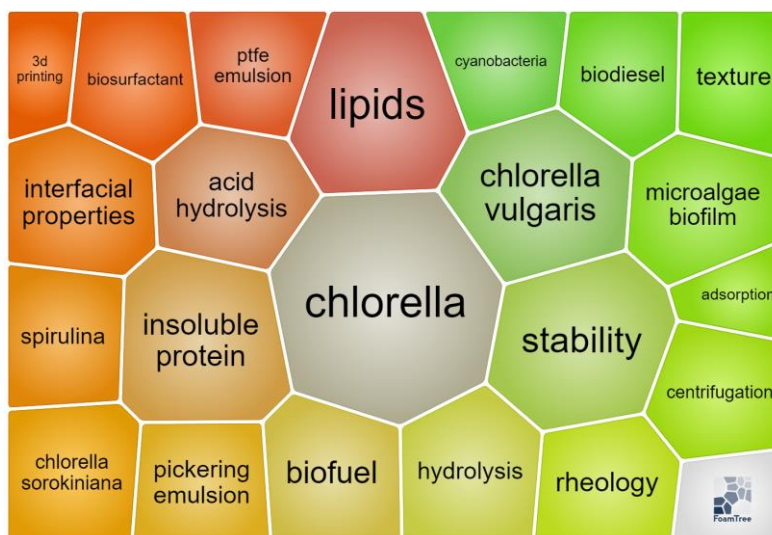
En la figura 25 podemos observar un Foamtrees de emulsiones con microalgas en el cual mientras más grandes se encuentre la palabra, fue más utilizada la palabra clave. Se utilizó un ranking de 25 palabras y se eliminaron las que eran idénticas a las utilizadas en la búsqueda de documentos, por lo que quedaron 22 palabras (anexo 4).

La palabra clave que presenta mayor frecuencia es *Chlorella* con una frecuencia de 5, siguiéndole la palabra clave *Chlorella vulgaris* con una frecuencia de 3, la cual representa una especie de la primera palabra clave, junto con las palabras *protaína insoluble* y *lipidos* con el mismo número de frecuencia. A diferencia de la *Chlorella*, la cual es mencionada en



tres palabras claves, también con la especie *Chlorella sorokiniana* con una frecuencia de 2, la microalga *spirulina* es utilizada 2 veces.

Este análisis tiene como objetivo encontrar la microalga más mencionada en documentos de emulsiones con microalga para utilizarla como materia prima en el desarrollo de una emulsión, por lo que se hará uso de *Chlorella*.



**Figura 25.** FoamTree de emulsiones con microalga.

La *Chlorella* es un tipo de microalga verde unicelular (eucariota), que ha despertado interés científico y comercial, volviéndose popular como suplemento dietético debido a sus posibles beneficios para la salud. Esta microalga es considerada una fuente de proteínas y se produce industrialmente para alimentación humana y animal. *Chlorella vulgaris* es la especie tipo de este género, que fue descrita por primera vez por MW Beijerinck en 1890 (Chen & Liu, 2014).

Esta alga se destaca por su alta concentración de clorofila, siendo la alga con mayor clorofila en todo el planeta. Ha sido considerada como “superalimento” o “nutriente maravilla” por sus beneficiosos atributos, ya que, es rica en nutrientes esenciales como proteínas, vitaminas, minerales y antioxidantes. Contiene una amplia gama de vitaminas del complejo B, vitamina A, C y E, y minerales como hierro, fósforo, magnesio y zinc (Becker, 2007).

#### **6.1.4. Relación entre fase acuosa, fase lipídica y métodos de emulsificación a través de bibliometría.**

La figura 26 muestra un diagrama aluvial en el cual se relaciona la fase acuosa/proteína y fase lipídica de cada artículo junto con sus métodos de emulsificación (*anexo 5*), pudiendo observar que la fase acuosa/proteína más utilizada es la proteína de arveja, coincidiendo con el análisis de emulsiones de proteína de legumbre, como la proteína más utilizada. Por otro lado, la fase lipídica más utilizada son los triglicéridos de cadena mediana, siguiéndole el aceite de canola.

El código hace referencia al número del artículo ordenado del artículo con más citaciones al artículo con menos citaciones, los números que no se encuentran son los artículos que no se utilizaron por falta de información (*anexo 6*). Es necesario mencionar que muchos artículos que realizan más de 1 experimento, con diferentes materias primas, por lo que el código se encuentra en medio del diagrama aluvial para distinguir los experimentos de cada artículo. De un total de 34 artículos, se utilizaron 31 para el diagrama aluvial, los 31 artículos tienen un total de 48 experimentos.

Con respecto a los métodos de emulsificación, hay artículos que utilizan solo 1 método, por lo que en el método 2 se utiliza *N/A* para referirse a que no cuenta con método de emulsificación 2.

El método de emulsificación 1 más utilizado es el mezclador de alto cizallamiento seguido del homogeneizador rotor-estator y el método de emulsificación 2 más utilizado es homogeneizador de alta presión.

Dentro de los documentos utilizados en el diagrama aluvial, para el caso de la proteína de arveja como fase acuosa, se utilizó en 6 experimentos, dentro de ellos se utilizó como fase lipídica diversos aceites, como lo son el aceite de alga en dos de los experimentos, de pescado, oliva, coco y estearina de karité.

Por otro lado, el aceite de canola como fase lipídica se utilizó en 6 experimentos, dentro de ellos se utilizó como fase acuosa, la aquafaba de garbanzo en de los experimentos, dMCC, Tween 20 y agua destilada en 2 de ellos.

Para el caso de los métodos de emulsificación, en el primer método, el Mezclador de alto cizallamiento es utilizado en 10 artículos, de los cuales 7 de ellos utilizan como segundo método de emulsificación el homogeneizados de alta presión, los otros 3 restantes, uno de

ellos utiliza homogeneizador rotor-estator, otro homogeneizador de ultrasonido y el último no utiliza segundo método de emulsificación. Finalmente, en el segundo método, el homogeneizador de alta presión es utilizado en 14 artículos, de los cuales 7 de ellos utilizan como primer método de emulsificación el Mezclador de alto cizallamiento, 4 utilizan Mezclador de alta velocidad, los otros 3 restantes, uno de ellos utiliza dispersor de alta velocidad, otro homogeneizador manual y el último homogeneizados rotor-estator.

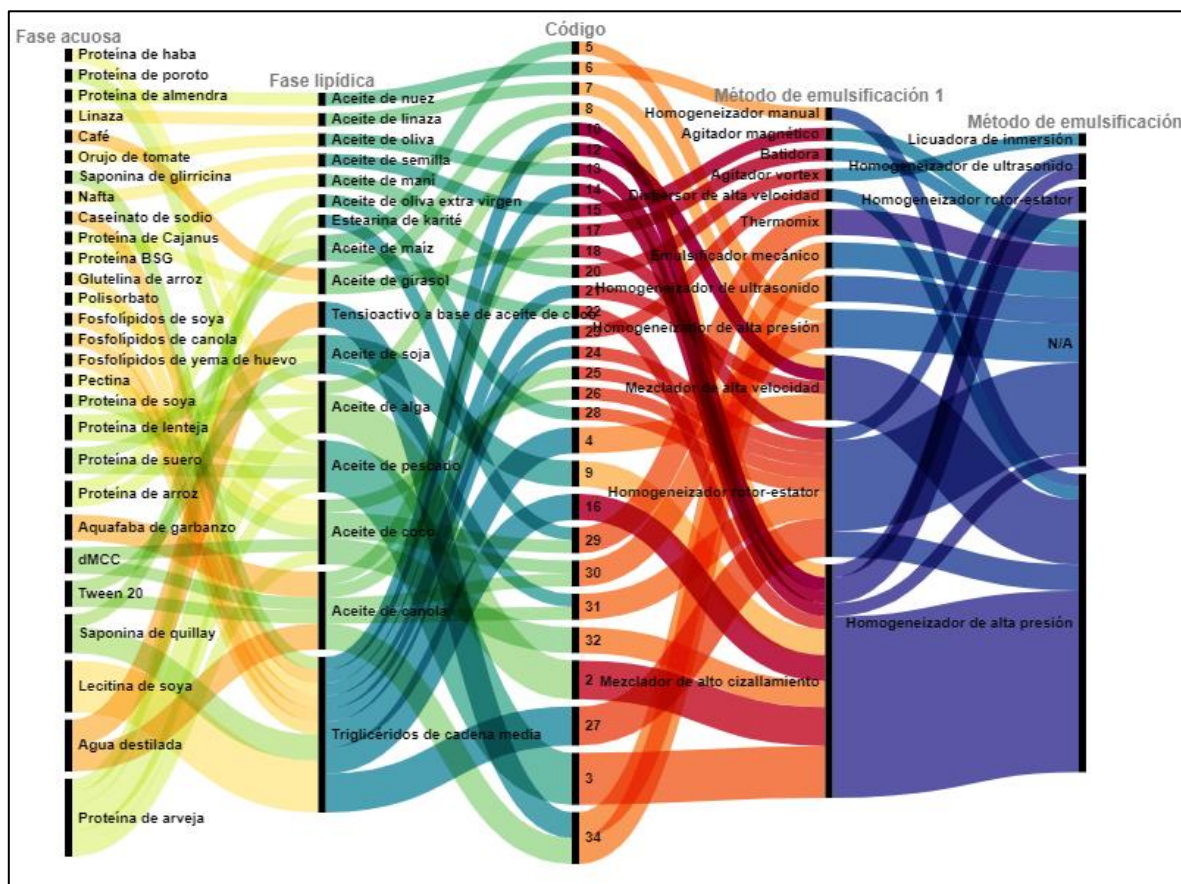


Figura 26. Diagrama aluvial de fase acuosa, fase lipídica, código y métodos de emulsión.

## 6.2. Desarrollo de las emulsiones

### 6.2.1. Caracterización de las emulsiones

#### 6.2.1.1. Tamaño de partícula

En la figura 27 se pueden observar los deciles 1, 5 y 10 de los tamaños de partícula de las 6 emulsiones. Los deciles son aquellos puntos que permiten distribuir a una población en 10 grupos con la misma cantidad, en este caso se ordenan las partículas de menor a mayor según el tamaño que presentan y se distribuyen en 10 grupos conteniendo cada uno a un 10% del total, por lo que  $D_1$  equivale al 10% de las partículas,  $D_5$  representa al 50% de las partículas, equivalente a la media o promedio de los datos, finalmente  $D_9$  equivale al 90% de las partículas.

En el gráfico de deciles se puede observar y destacar las emulsiones de fortificación 2:1 (proteína:aceite) y fortificación 1:1 (proteína:aceite) por sus tamaños de partículas pequeños y homogéneos, ya que, en el caso de la fortificación 1:1, el 90% de las partículas que se encuentran en ella es menor a  $5,81\mu\text{m}$  y en el caso de fortificación 2:1, el 90% de las partículas que se encuentran en ella es menor a  $4,34\mu\text{m}$ .

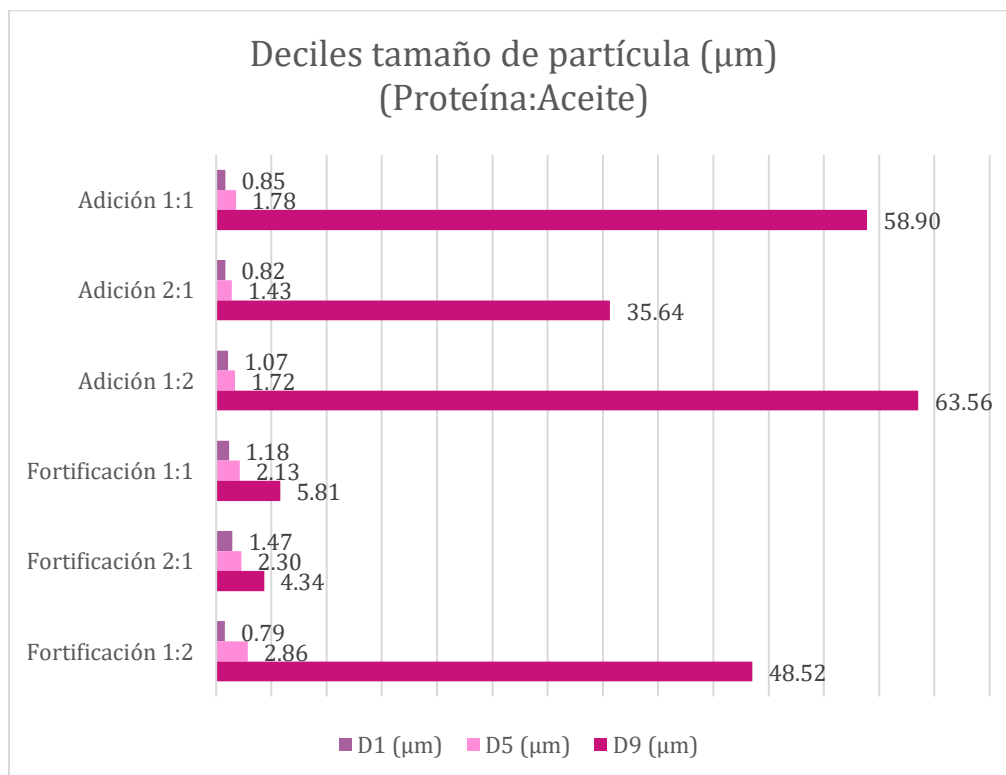


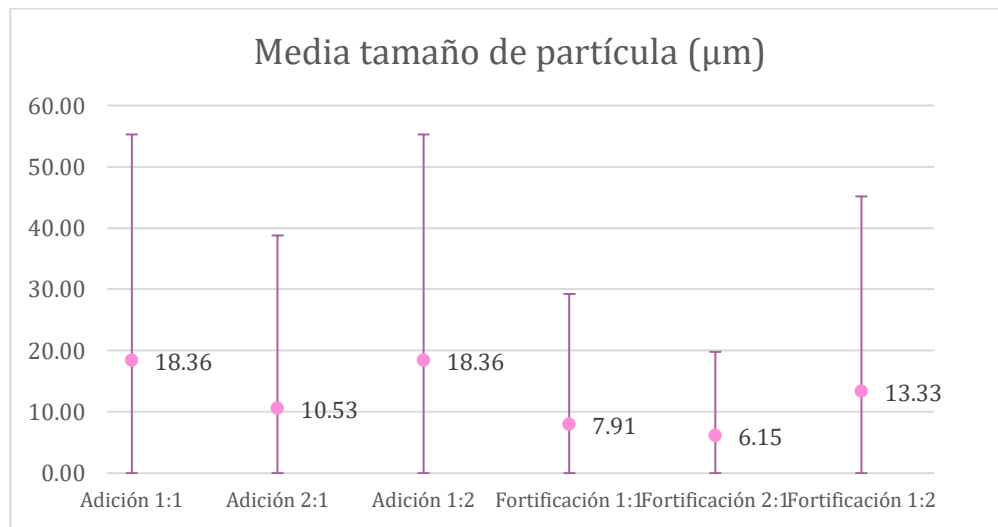
Figura 27. Deciles tamaño de partícula

**Tabla 14.** Mediana (D5) de las emulsiones para todas las condiciones experimentales.

Proporción proteína:aceite	Tamaño de partícula	
	Adición	Fortificación
1:1	1,78±0,01 <sup>aA</sup>	2,13±0,02 <sup>aB</sup>
2:1	1,43±0,01 <sup>bA</sup>	2,30±0,00 <sup>bB</sup>
1:2	1,72±0,01 <sup>cA</sup>	2,86±0,01 <sup>cB</sup>

Letras minúsculas (a-c) distintas indican diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) entre las distintas proporciones (proteína:aceite). Letra mayúscula (A-B) indican diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) entre adición y fortificación pero en la misma proporción.

Complementando con el gráfico anterior, podemos observar la media de cada una de las emulsiones, en la figura 28, encontrando que la fortificación 2:1 presenta el menor promedio de tamaño de partícula con 6,15  $\mu\text{m}$ , posteriormente se encuentra fortificación 1:1 con un promedio de tamaño de partícula de 7,91  $\mu\text{m}$ .



**Figura 28.** Media tamaño de partícula.

Bolaños en su proyecto de grado sobre estabilidad de emulsiones, indica que con mayores cantidades de proteína se incrementa la estabilidad, lo que indica que a mayor cantidad de proteína se generan menores diámetros de gota, como se puede observar, las 2 muestras que presentan un menor diámetro de gota son las fortificadas con proteína de microalga (Bolaños, 2016).

Por otro lado, con respecto al aceite, las emulsiones con menor contenido de fase oleosa, cómo lo son las emulsiones con proporción 2:1, siguiéndole las 1:1, presentan un menor tamaño de gota y por ende presentan una mayor estabilidad (Baena et al, 2019).

**Tabla 15.** Media de las emulsiones para todas las condiciones experimentales.

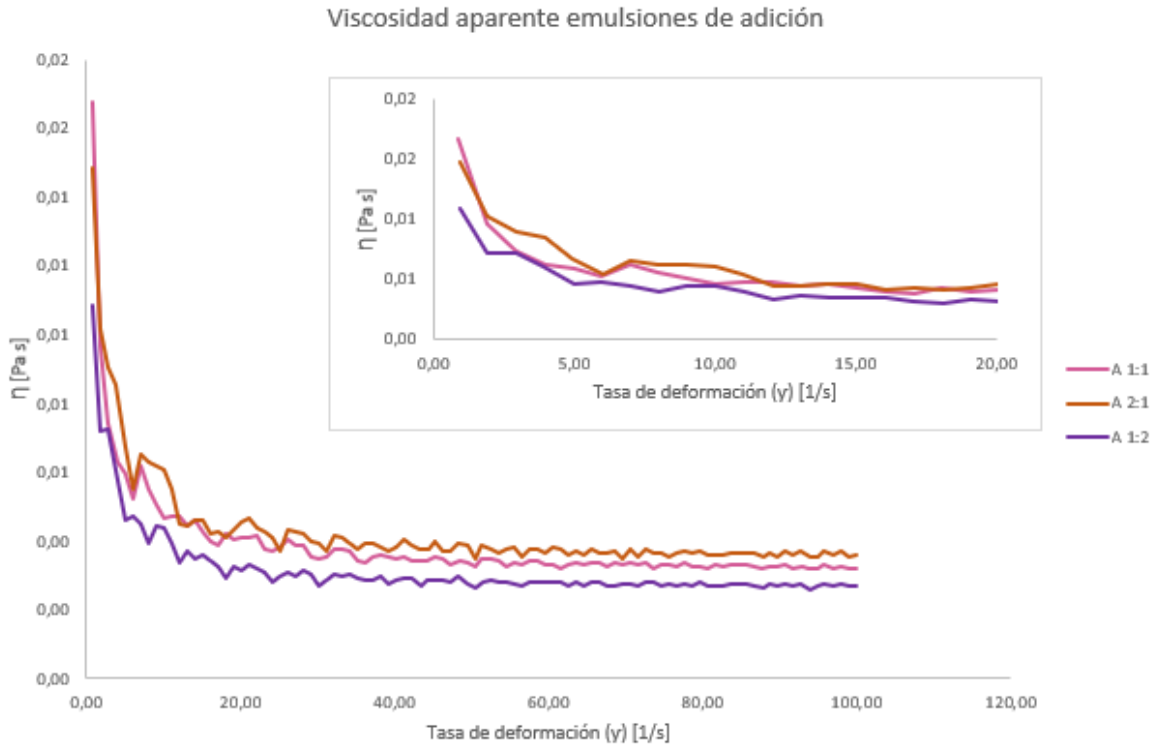
Proporción proteína: aceite	Tamaño de partícula	
	Adición	Fortificación
1:1	14,71±0,96 <sup>aA</sup>	7,91±2,19 <sup>aB</sup>
2:1	10,53±0,13 <sup>bA</sup>	6,15±0,17 <sup>aB</sup>
1:2	18,36±0,60 <sup>cA</sup>	13,33±0,01 <sup>bB</sup>

Letras minúsculas (a-c) distintas indican diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) entre las distintas proporciones (proteína:aceite). Letra mayúscula (A-B) indican diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) entre adición y fortificación pero en la misma proporción.

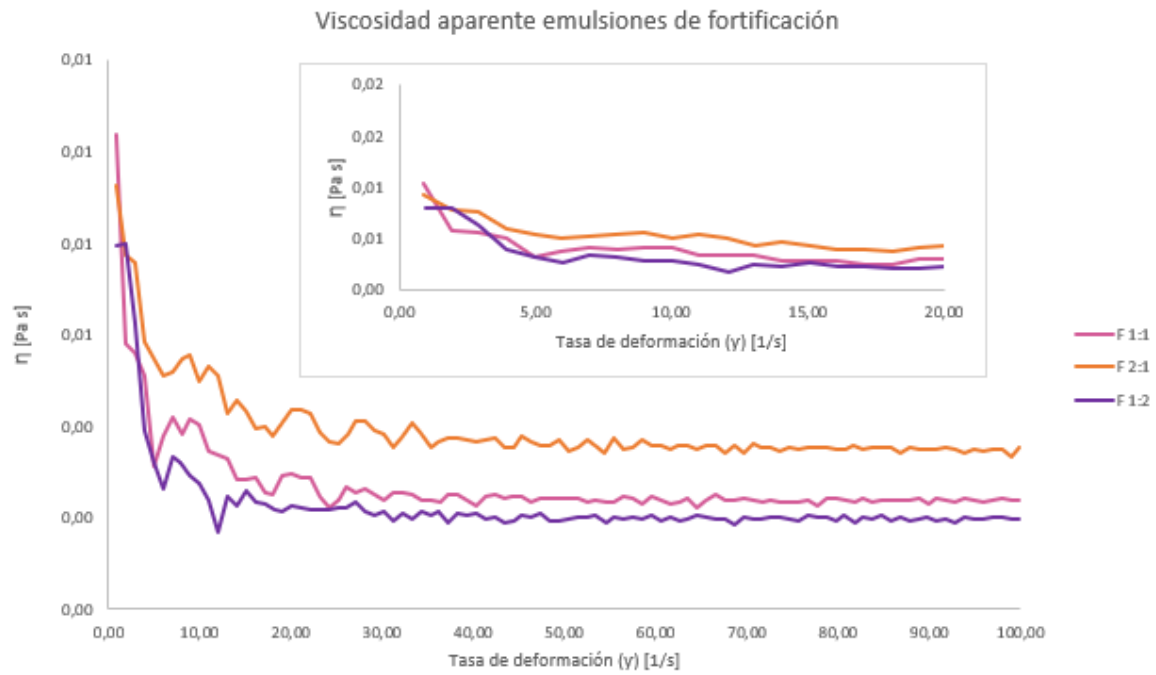
#### **6.2.1.2. Comportamiento reológico: Viscosidad aparente**

En la figura 29 y 30 se pueden observar las curvas de flujo obtenidas respecto a la viscosidad aparente de las emulsiones de adición y fortificación respectivamente, en todas las emulsiones se puede ver como al aumentar la tasa de deformación o velocidad de cizalla, la viscosidad aparente de las emulsiones disminuye, por lo cual tienen un comportamiento de adelgazamiento por cizalla (shear thinning), fenómeno que se puede observar en fluidos no newtonianos, comúnmente en emulsiones. En estos casos la estructura del fluido se ve afectada por la aplicación de fuerzas de cizallamiento, reduciendo así la viscosidad aparente (Chhabra, 2012; Magaña, 2019). A pesar de que se puede observar la disminución de la viscosidad aparente, en término de números, es bastante poca la disminución (milesimal), pudiendo tender a una viscosidad constante, tal como un fluido newtoniano.

Se puede observar tanto en la figura 29 como en la 30, que al volverse constante la viscosidad aparente, a una mayor cantidad de proteína, la viscosidad aparente igual es mayor, siendo las muestras de proporción proteína: aceite 2:1, la que presenta una mayor viscosidad al momento de volverse constante, siguiéndole las muestras de proporción 1:1 y por último las de proporción 1:2.



**Figura 29.** Viscosidad aparente emulsiones de adición.



**Figura 30.** Viscosidad aparente emulsiones de fortificación.

### 6.2.1.3. Comportamiento reológico: curvas de flujo

En la figura 31 y 32 se pueden observar las muestras de flujo que se realizaron para las muestras de emulsiones, de adición y fortificación respectivamente. Se eligió el modelo de acuerdo a la tabla 16, donde se puede observar los valores de  $R^2$ , se ajustaron las curvas obtenidas de esfuerzo de cizalla por velocidad de cizalla de las distintas muestras de emulsiones plant-based a distintos modelos de flujo no Newtonianos, como lo son Bingham, Casson, Power law y Hershel-Bulkley.

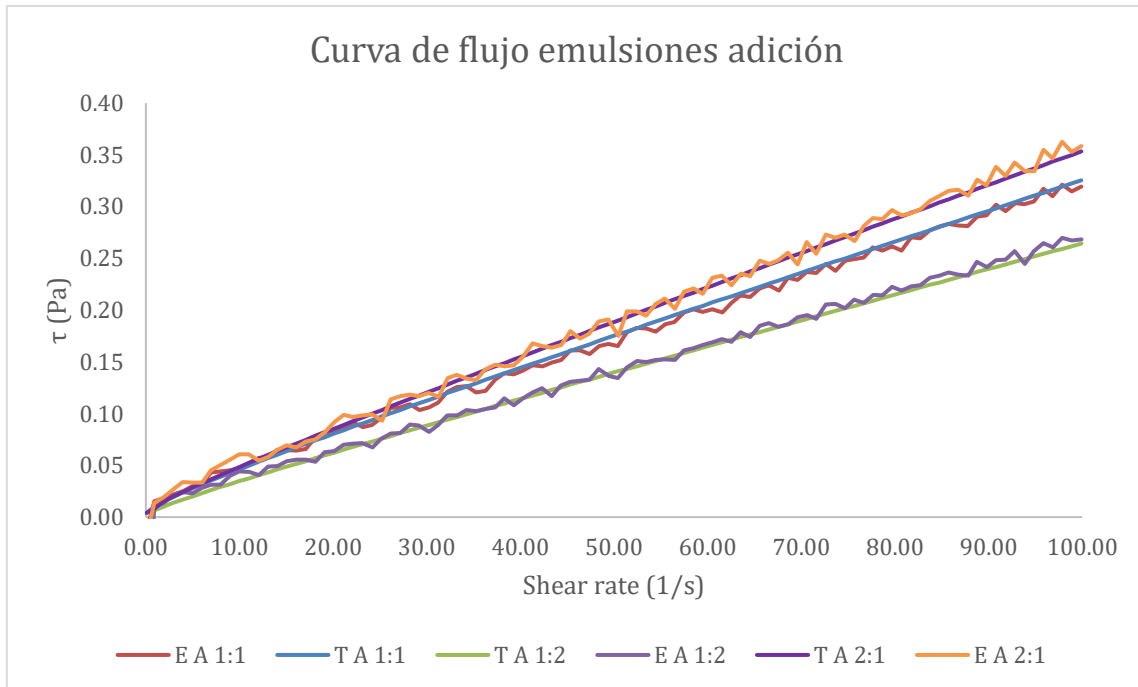
*Tabla 16. Valores de R de los distintos modelos reológicos comparados.*

	$R^2$				
	Bingham	Casson (lin)	Power law (lin)	Herschel-Bulkley	Casson
Adición 1:1	0,9931±0,0006	0,9929±0,0017	0,9762±0,0117	0,9935±0,0006	<b>0,9936±0,0007</b>
Adición 2:1	0,9945±0,0012	0,9937±0,0007	0,9798±0,0064	0,9947±0,0012	<b>0,9948±0,0009</b>
Adición 1:2	0,9845±0,0149	<b>0,9918±0,0012</b>	0,9744±0,0048	0,9857±0,0100	0,9851±0,0141
Fortificación 1:1	0,9892±0,0006	0,9862±0,0043	0,9644±0,0160	<b>0,9894±0,0005</b>	0,9889±0,0010
Fortificación 2:1	0,9940±0,0008	0,9933±0,0014	0,9792±0,0091	0,99435±0,0007	<b>0,9945±0,0006</b>
Fortificación 1:2	0,9908±0,0007	0,9855±0,0028	0,9460±0,0080	<b>0,9910±0,0006</b>	0,9905±0,0006

El modelo se eligió con respecto a las emulsiones de adición y a las de fortificación por separado, encontrando que para el caso de emulsiones de adición predominó el modelo Casson, ya que, tiene un mayor  $R^2$  en 2 de las 3 muestras de adición. Para el caso de emulsiones de fortificación predominó el modelo Hershel-Bulkley, ya que, tiene un mayor  $R^2$  en 2 de las 3 muestras.

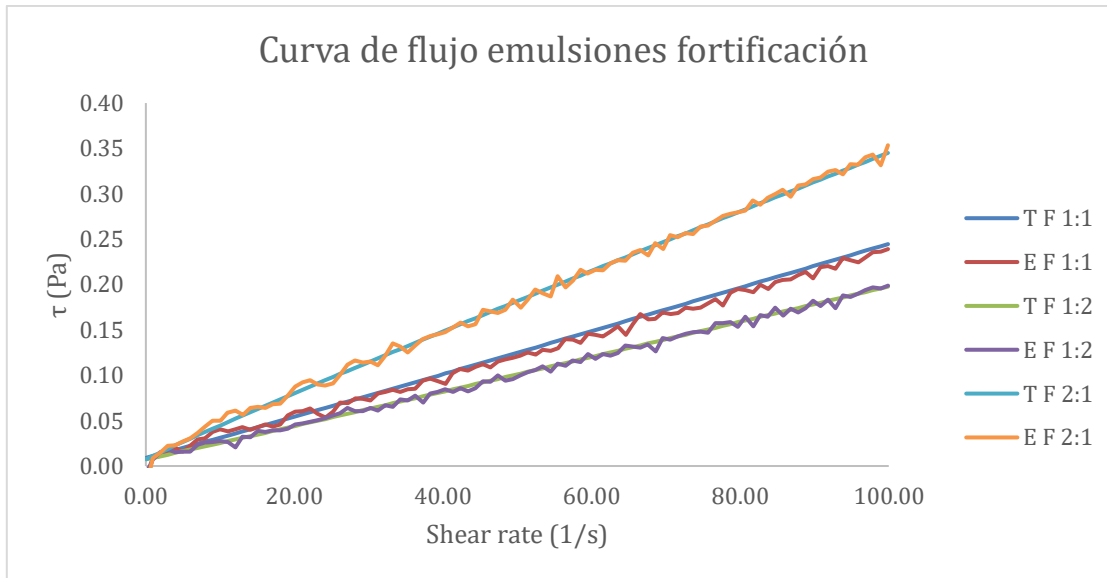
En la figura 31 se puede observar la curva de flujo de las emulsiones de adición ajustada al modelo Casson, tanto las experimentales (representadas por un E) como la teórica (Representada con una T). Se puede ver que las tres emulsiones presentan una curva muy similar y a medida que aumenta la cantidad de proteínas con respecto al aceite en las muestras, aumenta el esfuerzo de corte. La emulsión que presenta un mayor esfuerzo de corte es la de adición 2:1 (proteína: aceite), siguiéndole la de adición 1:1 y por último la de adición 1:2 (la cual presenta una menor cantidad de proteína).





**Figura 31.** Curva de flujo emulsiones adición modelo Casson

En el caso de la figura 32, se puede observar la curva de flujo de las emulsiones de fortificación ajustada al modelo Hershel-Bulkley, tanto las experimentales (representadas por un E) como la teórica (Representada con una T). Se puede ver que, al igual que las emulsiones de adición, las tres emulsiones presentan una curva muy similar y a medida que aumenta la cantidad de proteínas en las muestras, aumenta el esfuerzo de corte. La emulsión que presenta un mayor esfuerzo de corte es la de adición 2:1 (proteína: aceite), siguiéndole la de adición 1:1 y por último la de adición 1:2 (la cual presenta una menor cantidad de proteínas).



**Figura 32.** Curva de flujo emulsiones fortificación modelo Herschel-Bulkley.

El modelo Casson es un modelo reológico utilizado para describir el comportamiento de fluidos no newtonianos, como ciertos tipos de fluidos viscosos, tales como pintura, sangre, ketchup.

Este modelo describe la relación entre el esfuerzo de corte y la raíz cuadrada de la tasa de deformación mediante la siguiente ecuación:

$$\sqrt{\tau} = \sqrt{\tau_0} + \sqrt{\mu\dot{\gamma}}$$

Donde:

- $\tau$ : Esfuerzo de corte (en Pascal, Pa).
- $\tau_0$ : Esfuerzo de corte umbral, esfuerzo de corte requerido para que el fluido comience a fluir (en Pascal, Pa).
- $\mu$ : Viscosidad aparente del fluido (en  $Pa * s^{1/2}$ )
- $\dot{\gamma}$ : Tasa de deformación (en  $s^{-1}$ )

(Arraes et al, 2012).

El modelo reológico Herschel-Bulkley, desarrollado por Herschel y Bulckey en 1926, es utilizado para describir el comportamiento de fluidos no newtonianos, específicamente de fluidos que presentan un comportamiento pseudoplástico o dilatante, como suspensión de polímeros y pasta de dientes.

Este modelo se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$\tau = \tau_0 + K\dot{\gamma}^n$$

Donde:

- $\tau$ : Esfuerzo de corte (en Pascal, Pa).
- $\tau_0$ : Esfuerzo de corte umbral, esfuerzo de corte requerido para que el fluido comience a fluir (en Pascal, Pa).
- $K$ : Constante de flujo (en  $Pa s^n$ )
- $\dot{\gamma}$ : Tasa de deformación (en  $s^{-1}$ )
- $n$ : Índice de comportamiento, el cual determina si el fluido presenta comportamiento pseudoplástico ( $n > 1$ ), newtoniano ( $n=1$ ) o dilatante ( $n < 1$ ).  
(Arraes et al, 2012).

Con el software HAAKE RheoWin, se pudieron obtener las variables de las ecuaciones tanto para el modelo Casson como para Hershel-Bulkley, como  $\tau_0$ ,  $\mu$ ,  $n$ ,  $K$ , las cuales se pueden observar en las tablas 16 y 17 para adición (Casson) y fortificación (Hershel-Bulkley) respectivamente.

**Tabla 17.** Parámetros del modelo Casson para las curvas de flujo de las emulsiones de adición.

	A1:1	A2:1	A1:2
$\tau_0$	0,0026±0,0003 <sup>a</sup>	0,0022±0,0001 <sup>a</sup>	0,0012±0,0005 <sup>b</sup>
$\mu$	0,0027±0,00004 <sup>a</sup>	0,003±0,00002 <sup>b</sup>	0,0023±0,0001 <sup>c</sup>
$R^2$	0,994±0,0007	0,995±0,0009	0,985±0,0141

En la tabla 17 se puede observar cómo a medida que aumenta la cantidad de proteína en la emulsión con respecto al aceite, la viscosidad ( $\mu$ ) disminuye, tal como se puede observar en la figura 29. Para el caso de  $\tau_0$ , se puede observar que la emulsión 1:1 (proteína: aceite) presenta una mayor  $\tau_0$ , siguiéndolo la emulsión 2:1, por lo que no se observa una tendencia.

**Tabla 18.** Parámetros del modelo Hershel-Bulkley para las curvas de flujo de las emulsiones de fortificación.

	F1:1	F2:1	F1:2
$\tau_0$	0,009±0,0037 <sup>a</sup>	0,0071±0,0022 <sup>a</sup>	0,0074±0,0005 <sup>a</sup>
$K$	0,0021±0,0005 <sup>a</sup>	0,0042±0,0004 <sup>b</sup>	0,0017±0,0001 <sup>a</sup>
$n$	1,0251±0,0493 <sup>a</sup>	0,953±0,02 <sup>b</sup>	1,0247±0,011 <sup>a</sup>
$R^2$	0,989±0,0005	0,994±0,0007	0,991±0,0006

Para el caso de la tabla 18, se puede observar que al igual que en la figura 17, para el caso de  $\tau_0$ , la emulsión 1:1 (proteína: aceite) presenta una mayor  $\tau_0$ , en este caso le sigue la emulsión 1:2, por lo que no se observa una tendencia. Por otra parte,  $K$ , la cual refleja la viscosidad de la emulsión, aumentó a medida que aumentó la cantidad de proteína con respecto al aceite. Además se puede observar cómo los valores de  $n$  tienden a 1, teniendo un comportamiento muy similar a un fluido newtoniano, al igual como se puede observar en la viscosidad aparente de estas emulsiones. Así también se puede observar en la figura 31 y 32 un comportamiento más bien lineal corroborando esta tendencia.

En resumen, se logró caracterizar el comportamiento reológico que tienen las emulsiones de adición y fortificación, las cuales se pudieron modelar con Casson y Herschel-Buckley respectivamente. En el caso de la viscosidad aparente, a pesar de que la viscosidad disminuía a medida que aumentaba la velocidad de cizalla, lo hacía con una disminución milesimal, hasta quedar constante. Tanto para el caso de emulsiones de adición como las de fortificación, las de proporción 2:1 (proteína: aceite) presentaron una mayor viscosidad aparente al quedar constante, siguiéndole la emulsión 1:1. Por otro lado, en las curvas de flujo se observó la misma tendencia, medida que aumenta la cantidad de proteína en relación al aceite en las muestras, aumenta el esfuerzo de corte, obteniendo una curva casi lineal. La emulsión que presenta un mayor esfuerzo de corte dentro de cada modelo son las de proporción 2:1 (proteína: aceite), siguiéndole la de adición 1:1 y por último la de adición 1:2 (la cual presenta una menor cantidad de Chlorella).

## 7. CONCLUSIÓN

En conclusión, se pudieron encontrar tendencias a través del análisis bibliométrico para el desarrollo efectivo de emulsiones plant-based fortificadas y adicionadas con microalga por el método de emulsificación por ultrasonido, pudiendo comprobar que la microalga en emulsiones plant-based puede mejorar su estabilidad y comportamiento reológico, ya que, a mayor cantidad de microalgas añadidas a la emulsión, mayor será la cantidad de proteínas y con ello la emulsión será más estable. Siendo así la muestra más estable la emulsión fortificada 2:1 (proteína: aceite).

Al aumentar la cantidad de proteína dentro de una emulsión, la estabilidad se incrementa, lo que indica la formación de films de proteína densos alrededor de las gotas de aceite, concluyendo así que la microalga (*Chlorella*) en emulsiones plant-based puede mejorar la estabilidad mediante la fabricación por el método de emulsificación por ultrasonido.

Se espera que estos resultados ayuden a diseñar y seguir investigando sobre emulsiones plant-based complementadas con microalgas y poder así aumentar el consumo de microalgas en las personas con la intención de que puedan cumplir con la DDR de proteínas.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- ¿Qué es la reometría? 2021. Fundamentos de fenómenos de transporte. Instituto Politécnico Nacional. México.
- Acharya, D. y Hartley, P. 2012. Progress in microemulsion characterization. *Current Opinion in Colloid & Interface Science* 17(5): 274-280.
- Achouri, A., Irene, J. y Zamani Youness. 2012. Stability and Physical Properties of Emulsions Prepared with and without Soy Proteins. *Journal of Food Research* 1(1): 254-267.
- Aguilar, E., Fernandez, M., Herrada, H. 2023. Essential Guide to Hydrogel Rheology in Extrusion 3D Printing: How to Measure It and Why It Matters? *MDPI* 9(7).
- Aguilar, J., Díaz, E., Gonzalez, M. y Pérez, V. 2020. Emulsiones aceite-en-agua basadas en proteínas de garbanzo. La investigación de hoy. El futuro de mañana. Escuela politécnicasuperior (Univ. De Sevilla), Departamento de Ingeniería Química. 2p.
- Álvarez, H. y Bautista, M. 2019. Emulsiones en alimentos y sus aplicaciones. *Presencia Universitaria* 14(7).
- Aramendiz, H., Durango, L., Lafont, J. 2014. Estudio químico del aceite obtenido a partir de siete variedades de soya (*Glycinemax L.*). *SciELO. Información tecnológica* 25(2).
- Araújo, N., Barbosa, C. y Costa, I. 2022. Productos plant-based: potencial, tecnologia de produção e desafios. *The Journal of Engineering and Exact Sciences* 8(7).
- Arias, R., Campos, M., Falcón, J., López, O., y Silveira, J. 2018. Efecto del tratamiento magnético en el comportamiento reológico del diésel. *SciELO. RTQ* 38(2).
- Armando, J., Ramirez, J., Rosas, P. y Ulloa, B. 2013. Ultrasonido: aplicaciones en el campo de los alimentos. *Revista Fuente Nueva Época* 4(14).
- Armerding, G. 2022. F4U. Maestría en Administración de Negocios. Universidad de San Andrés, Escuela de Negocios. 12p.
- Arora, R., Rana, R. y Sudhakar, K. 2017. Spirulina-From growth to nutritional product. A review.

- Arraes, G., Menezes, N., Mota, A., Ribeiro, L., Rodríguez, D., Wilane, R. 2012. Ajuste dos parâmetros reológicos de polpas de acerola, caju e manga em função da temperatura: modelos de Ostwald-de-waelle, Herschel-Bulkley e Casson.
- Asraful, M., Feng, P., Qin, L., Wang, Z. y Zhu, S. 2022. Advancements in the application of surfactants in microalgal production, harvesting and processing: A review. *Journal of Environmental Chemical Engineering* 10(3).
- Aukema, H., Mudryj, A. y Yu, N. 2014. Nutritional and health benefits of pulses. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism* 39(11).
- Avendaño, J., Briceño, M., Rojas., O. 2012. Fundamentos de reología. Laboratorio de formulación, interfaces, reología y procesos. Facultad de Ingeniería. Universidad de los Andes. Mérida, Venezuela.
- Baena, Y., Osorio, C., Ramírez, N. 2019. Caracterización fisicoquímica de emulsiones aceite/agua a partir de Uchuva (*Physalis peruviana*) como ingrediente para la industria alimenticia. *Scielo. Información tecnológica* 30(3).
- Bates, D., Mawson, R., Somins, L. y Vilku, K. 2008. Applications and opportunities for ultrasound assisted extraction in the food industry-A review. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 9(2): 161-169.
- Becker, E. W. (2007). Micro-algae as a source of protein. *Biotechnology advances*, 25(2), 207-210.
- Beiraghdar, F., Darvichi, B., Jowzi, N., Panahi, Y. y Sahebkar, A. 2016. *Chlorella vulgaris*: A Multifunctional Dietary Supplement with Diverse Medicinal Properties. *Current Pharmaceutical Design* 22(2): 164-173.
- Bengoechea, C. 2006. Estudio reológico de emulsiones alimentarias estabilizadas con proteínas vegetales. Memoria para aspirar al grado de Doctor en Ciencias Químicas. Universidad de Sevilla, Facultad de Química, Departamento de Ingeniería Química. 6-24p.
- Bernardes, M. 2022. Oferta de productos plant-based em Uberlândia - MG, e comparação com productos de origem animal. Universidade Federal de Uberlândia, Facultad de Medicina Veterinaria. 7p.

- Bertsch, P., Böcker, L., Fischer, P. y Mathys, A. 2021. Proteins from microalgae for the stabilization of fluid interfaces, emulsions, and foams. *Trends in Food Science & Technology* 108: 326-342.
- Bes, M., Celedón, N., Morales, G., Muñoz, A. y Ruíz, F. 2021. Dietas basadas en plantas y factores de riesgo cardio-metabólicos. ¿Qué dice la evidencia? *Revista Chilena de Nutrición* 48(3).
- Bhargavaa, N., Kumarb, K., Mora, S. y Singh, V. 2021. Advances in application of ultrasound in food processing: a review. *Ultrasonic Sonochemistry* 70.
- Bhat, Z. y Kumar, S. 2018. Ultrasonic processing of foods: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 58(1): 1-12.
- Binks, B. y Lumsdon, S. 2000. Influence of particle wettability on the type and stability of surfactant-free emulsions. *Langmuir* 16(23): 8622-8631.
- Blanco, M., Lopez, M. y Rivas, J. 1997. Preparación de nanomateriales mediante microemulsiones. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio* 36(2-3).
- Bolaños, L. 2016. Evaluación de la estabilidad de las emulsiones generadas a partir de la proteína OmpN de *Escherichia coli* con diferentes concentraciones de aceite de la palma “mil pesos”. Proyecto de grado para optar por el título de Ingeniero Químico. Departamento de ingeniería química. Facultad de ingeniería. Universidad de los Andes. Bogotá, Colombia.
- Cabezas, D., 2023. Emulsiones alimentarias. En: Webinar emulsiones alimentarias: 9 de marzo de 2023. Quito, Ecuador, Universidad San Francisco de Quito, Colegio de Ciencias e Ingenierías, Departamento de Ingeniería en alimentos.
- Campos. 2023. Análisis bibliométrico y revisión sistemática. *Bibliotafe*.
- Centeno, A., Lütkemeyer, K., Maio, A. y Vieira, J. 2019. The antioxidant activity of nanoemulsions based on lipids and peptides from *Spirulina* sp. *LEB18. LWT* 99: 173-178.
- Chhabra R.P, 2012. *Bubbles, Drops, and Particles in Non-Newtonian Fluids*, CRC Press, Second Edition.
- Chen, C., Fan, J., Shi, Q., Tang, T. y Zhou, Z. 2022. The potential and challenge of microalgae as promising future food sources. *Trends in Food Science & Technology*.



- Chen, F., Liu, J. 2014. Biology and Industrial Applications of Chlorella: Advances and Prospects. *Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology*. Vol. 153.
- Chibane, M., Ladjal, Y. Y Romero, A. 2016. Emulsifying properties of legume proteins at acidic conditions: Effect of protein concentration and ionic strength 66: 260-266.
- Chirinos, M., Gutiérrez, X., Rivas, H. y Silva, F. 2003. Sobre emulsiones de bitumen en agua. *Acta Científica Venezolana* 54(3): 216-234.
- Clark, M. y Tilmman, D. 2014. Global diets link environmental sustainability and human health. *Nature* 515: 518-522.
- Decher, E., McClements, D. y Weiss, J. 2007. Emulsion-based delivery systems for lipophilic bioactive components. *Journal of Food Science* 72(8).
- Delgado, Y., Laurencio 2007. Propiedades reológicas de emulsiones de petróleo pesado en agua. *Revista chilena de ingeniería* 16(1): 244-249.
- Deog, J., Hyuk, J. y Imran, M. 2018. The promising future of microalgae: current status, challenges, and optimization of a sustainable and renewable industry for biofuels, feed, and other products. *Microbial Cell Factories* 17(1).
- Dickinson, E. 2003. Hydrocolloids at interfaces and the influence on the properties of dispersed systems. *Food Hydrocolloids* 17(1): 25-39.
- Dickinson, E. y Leser, M. 2007. *Food Colloids: Self-assembly and Material Science*. Royal Society of Chemistry. 247-274p.
- Durán, S. y Guerrero, L. 2020. Consumo de legumbres y su relación con enfermedades crónicas no transmisibles. *Revista Chilena de Nutrición* 47(5).
- Fan, J., Fraser, G., Jaceldo, K. y Tantamango, Y. 2013. Vegetarian Diets and the Incidence of Cancer in a Low-risk Population. *Cancer Epidemiology, Biomarkers & Prevention* 22(2): 286-294.
- Franco, D. 2001. *Aceite de Soja*. Dirección de Industria Alimentaria, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos.
- Garba, U. y Kaur, S. 2014. Protein Isolates: Production, Functional Properties and Application. *IJCRR* 6(3): 35-45.

- Gelvez, V., Romero, P. y Torres, R. 2019. Calidad de emulsiones de carne de búfalo (*bubalus bubalis*) tratadas con ultrasonido de alta intensidad. *Información tecnológica* 30(3).
- Goldstein, N. y Reifen, R. 2022. The potential of legume-derived proteins in the food industry. *Grain & Oil Science and Technology* 5(4):167-178.
- Gómez, K. 2020. Aplicación de Spirulina en el desarrollo de alimentación humana y animal. Trabajo fin de Máster Universitario en Gestión de la Seguridad y Calidad Alimentaria. Universidad Politécnica de Valencia.
- Gómez, N. 2022. Nuevos ingredientes alimentarios para el desarrollo e innovación de alimentos dentro de una producción sostenible. Máster Universitario en Tecnología y Calidad Agroalimentaria. Universidad Miguel Hernández de Elche. 6p.
- Gonzalez, N. 2016. La ONU lanza el año internacional de las legumbres: protagonismo para frijoles, lentejas y garbanzos. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Hernández, C. 2004. Formación de nanoemulsiones o/w mediante el cambio en la composición. Formulación por dilución con agua de sistemas próximos a la formulación óptima. Proyecto de Grado para Ingeniero Químico. Universidad de los Andes, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Química.
- Hu, F. y Satija, A. 2018. Plant-based diets and cardiovascular health. *Trends in Cardiovascular Medicine* 28(7): 437-441.
- Lantern. 2019. The Green Revolution, Entendiendo la expansión de la ola veggie. Depósito de Investigación, Universidad de Sevilla. 25p.
- Lorenzo, J. y Nieto, G. 2022. Plant source: Vegetable oils. *Biomedical Sciences*.
- Magaña, F. 2019. Propiedades de flujo de las algas chilenas *Durvillaea antártica*, *Gigartina skottsbergii* y *Gracilaria chilensis*. Memoria para optar al título de Ingeniero en Alimentos. FaCiQyF. Universidad de Chile.
- Martín, M. 2022. Interés nutricional y uso como ingredientes alimentarios de las algas y microalgas. Trabajo Final de Grado en Farmacia. Universidad de Sevilla. Facultad de Farmacia.

- Martínez, L. 2018. Valoración nutricional de legumbres procedentes de cultivo ecológico para utilización en la industria de alimentos. Universidad Politécnica de Valencia.
- McClements, D. 2015. Food Emulsions: Principles, Practices, and Techniques. 3° ed. CRC Press. 298-432p.
- McKellar, R., Mohared, E. y Piyasena, P. 2003. Inactivation of microbes using ultrasound: a review. *International Journal of Food Microbiology* 87(3).
- Missouri University of Science and Technology. s.f. Stig Erik Friberg. Chemistry.
- Moreno, M. 2013. Desarrollo de nanoemulsiones de aceites esenciales cítricos estabilizadas con gomas de origen natural. Tesis para obtener el Grado de Maestría en Ciencia de Materiales. Apocada, Nueva León, México. Centro de Investigación en materiales Avanzados.
- Moreno, R., Nieto, M., Santacruz, I. 2014. Consolidación de materiales cerámicos por gelificación de polisacáridos. *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*. 34(1).
- NIZO Daily Conference. s.f. Jörg Hinrichs. Keynote Speaker.
- Olmedo, V. 2019. Carbohidratos y proteínas en microalgas: potenciales alimentos funcionales. *Brazilian Journal of Food Technology* 22.
- Rayner, M. y Smith, J. 2018. Emulsifiers in Food Technology: A Review. *International Journal of Food Science & Technology* 53(6): 1389-1399.
- Reglamento Sanitario de los Alimentos. 2023. Chile. Ministerio de salud. Última modificación: enero, 2023.
- Sabaté, J. y Soret, S. 2014. *The American Journal of Clinical Nutrition* 100(1): 476-482.
- Singh, N. 2017. Pulses: An overview. *Journal of Food Science and Technology* 54: 853-857.
- University of Saskatchewan. s.f. Michael Nickerson. College of Agriculture and Bioresources.
- University of Saskatchewan. s.f. Nicholas Low. College of Agriculture and Bioresources

- Urbina, F. 2021. Efecto protector de principios bioactivos presentes en legumbres sobre la disfunción endotelial. Memoria para optar al grado de Licenciado en Tecnología Médica. Talca, Chile. Universidad de Talca, Facultad de Ciencias de la Salud, Escuela de Tecnología Médica.
- Vásquez, A. 2023. Efecto de harina de alga cochayuyo (*Durvillaea antártica*) sobre la capacidad de impresión y propiedades termofísicas de un alimento impreso 3D a base de harina de arroz. Memoria para optar al título de Ingeniero en Alimentos y Tesis para optar al grado de Magíster en Ciencia de los Alimentos. FaCiQyF, Universidad de Chile.
- Veganuary. 2021. Nuevo estudio: el auge de los productos en base a plantas en Latinoamérica.
- Viosin, L. 2011. Viscosidad y ley de Newton. Departamento de Ingeniería de Minas. FaCiFyM. Universidad de Chile.

## 9. ANEXOS

### 9.1. Anexo 1: Tutorial de análisis bibliográfico

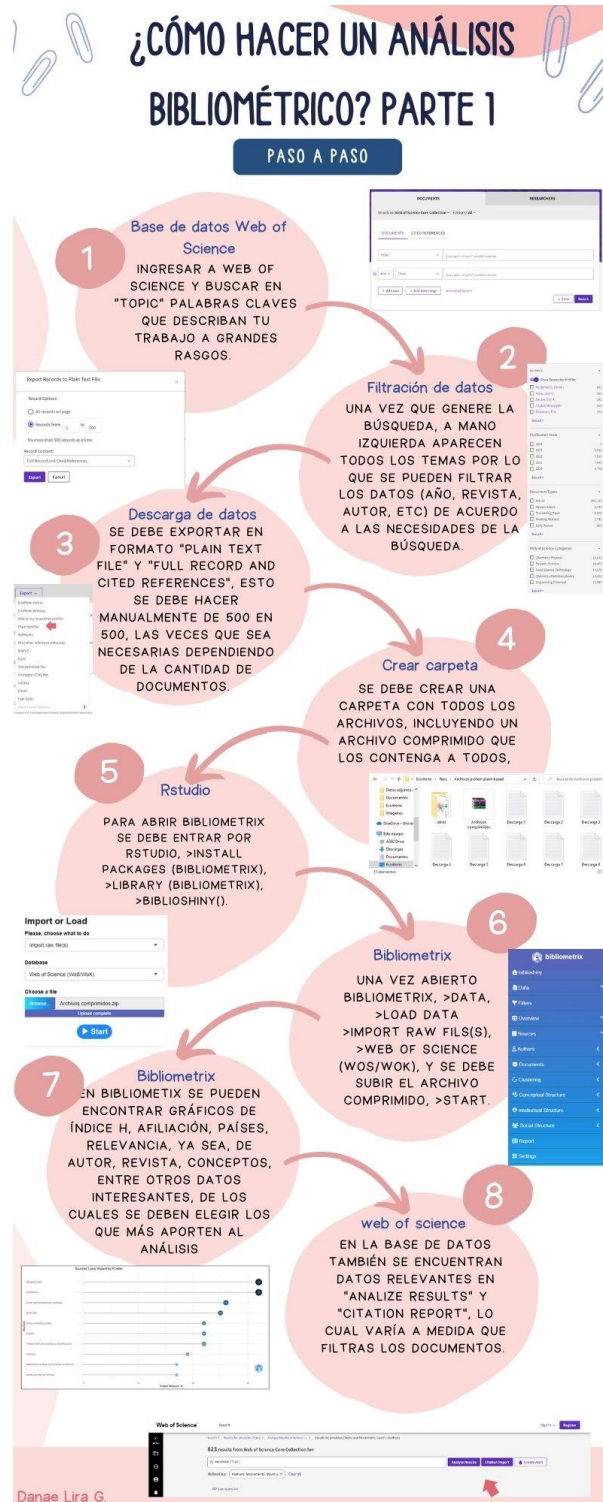
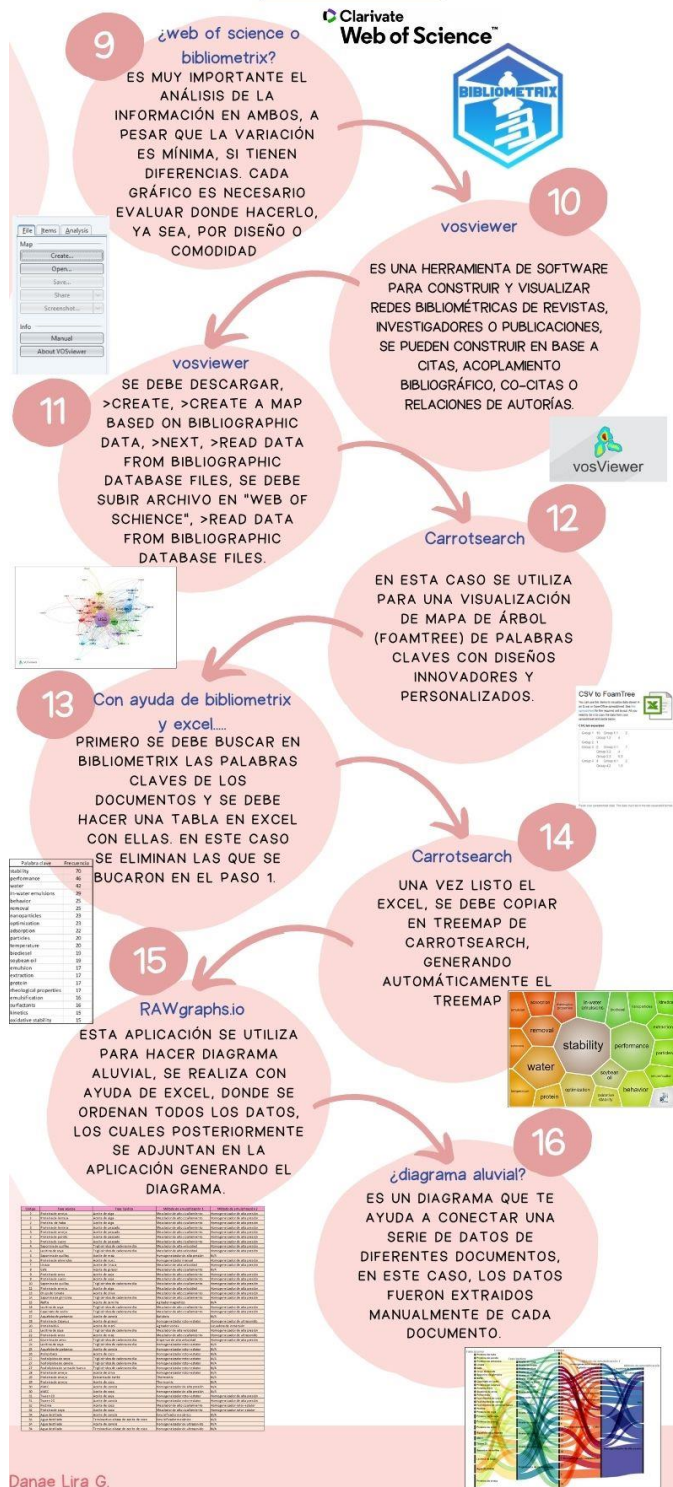


Figura 33. Tutorial análisis bibliométrico parte 1.

# ¿CÓMO HACER UN ANÁLISIS BIBLIOMÉTRICO? PARTE 2

## PASO A PASO



Danae Lira G.

Figura 34. Tutorial análisis bibliométrico parte 2.

## 9.2. Anexo 2: Tabla de frecuencia de palabras claves de emulsiones con aceite vegetal

Palabra clave	Frecuencia
stability	70
performance	46
water	42
in-water emulsions	29
behavior	25
removal	25
nanoparticles	23
optimization	23
adsorption	22
particles	20
temperature	20
biodiesel	19
soybean oil	19
emulsion	17
extraction	17
protein	17
rheological properties	17
emulsification	16
surfactants	16
kinetics	15
oxidative stability	15

*Figura 35. Tabla de frecuencia de palabras claves de emulsiones con aceite vegetal.*

**9.3. Anexo 3: Tabla de frecuencia de palabras claves de emulsiones con proteínas de legumbres.**

Palabra clave	Frecuencia
functional-properties	25
emulsifying properties	20
pea	11
chickpea	9
in-water emulsions	9
food	8
isoelectric precipitation	8
isolate	8
pea protein	8
stability	8
adsorption	7
lentil	7
extraction	5
fractions	5
ph	5
soy protein	5
flocculation	4
food proteins	4
microstructure	4
antioxidant activity	3
beta-lactoglobulin	3
emulsification properties	3
layers	3

*Figura 36. Tabla de frecuencia de palabras claves de emulsiones con proteína de legumbres.*



#### 9.4. Anexo 4: Tabla de frecuencia de palabras claves de emulsiones con microalgas

Palabra clave	Frecuencia
chlorella	5
chlorella vulgaris	3
insoluble protein	3
lipids	3
stability	3
acid hydrolysis	2
biodiesel	2
biofuel	2
biosurfactant	2
centrifugation	2
chlorella sorokiniana	2
cyanobacteria	2
hydrolysis	2
interfacial properties	2
microalgae biofilm	2
pickering emulsion	2
ptfe emulsion	2
rheology	2
spirulina	2
texture	2
3d printing	1
adsorption	1

*Figura 37. Tabla de frecuencia de palabras claves de emulsiones con microalgas.*

## 9.5. Anexo 5: Tabla de relación entre código, fase acuosa, fase lipídica y métodos de emulsificación para diagrama aluvial.

Código	Fase acuosa	Fase lipídica	Método de emulsificación 1	Método de emulsificación 2
2	Proteína de arveja	Aceite de alga	Mezclador de alto cizallamiento	Homogeneizador de alta presión
2	Proteína de lenteja	Aceite de alga	Mezclador de alto cizallamiento	Homogeneizador de alta presión
2	Proteína de haba	Aceite de alga	Mezclador de alto cizallamiento	Homogeneizador de alta presión
3	Proteína de lenteja	Aceite de pescado	Mezclador de alto cizallamiento	Homogeneizador de alta presión
3	Proteína de arveja	Aceite de pescado	Mezclador de alto cizallamiento	Homogeneizador de alta presión
3	Proteína de poroto	Aceite de pescado	Mezclador de alto cizallamiento	Homogeneizador de alta presión
3	Proteína de suero	Aceite de pescado	Mezclador de alto cizallamiento	Homogeneizador de alta presión
4	Saponina de quillay	Triglicéridos de cadena media	Mezclador de alta velocidad	Homogeneizador de alta presión
4	Lecitina de soya	Triglicéridos de cadena media	Mezclador de alta velocidad	Homogeneizador de alta presión
5	Saponina de quillay	Aceite de maíz	Homogeneizador de alta presión	N/A
6	Proteína de almendra	Aceite de nuez	Homogeneizador manual	Homogeneizador de alta presión
7	Linaza	Aceite de linaza	Mezclador de alta velocidad	Homogeneizador de alta presión
8	Café	Aceite de girasol	Mezclador de alto cizallamiento	N/A
9	Proteína de arroz	Aceite de soja	Mezclador de alto cizallamiento	Homogeneizador de alta presión
9	Proteína de suero	Aceite de soja	Mezclador de alto cizallamiento	Homogeneizador de alta presión
10	Saponina de quillay	Triglicéridos de cadena media	Mezclador de alto cizallamiento	Homogeneizador de alta presión
12	Proteína de arveja	Aceite de alga	Mezclador de alta velocidad	Homogeneizador de alta presión
13	Orojo de tomate	Aceite de oliva	Mezclador de alto cizallamiento	Homogeneizador de alta presión
14	Saponina de glirricina	Triglicéridos de cadena media	Mezclador de alto cizallamiento	Homogeneizador de alta presión
15	Nafta	Aceite de semilla	Agitador magnético	N/A
16	Lecitina de soya	Triglicéridos de cadena media	Mezclador de alto cizallamiento	Homogeneizador de alta presión
16	Caseinato de sodio	Triglicéridos de cadena media	Mezclador de alto cizallamiento	Homogeneizador de alta presión
17	Aquafaba de garbanzo	Aceite de canola	Batidora	N/A
18	Proteína de Cajanus	Aceite de girasol	Homogeneizador rotor-estator	Homogeneizador de ultrasonido
20	Proteína BSG	Aceite de maní	Agitador vortex	Licuada de inmersión
21	Lecitina de soya	Triglicéridos de cadena media	Mezclador de alta velocidad	Homogeneizador de alta presión
22	Proteína de arroz	Aceite de maíz	Mezclador de alto cizallamiento	Homogeneizador de ultrasonido
23	Glutelina de arroz	Triglicéridos de cadena media	Dispensor de alta velocidad	Homogeneizador de alta presión
24	Lecitina de soya	Triglicéridos de cadena media	Homogeneizador rotor-estator	N/A
25	Aquafaba de garbanzo	Aceite de canola	Homogeneizador rotor-estator	N/A
26	Polisorbato	Aceite de coco	Homogeneizador rotor-estator	N/A
27	Fosfolípidos de soya	Triglicéridos de cadena media	Homogeneizador rotor-estator	N/A
27	Fosfolípidos de canola	Triglicéridos de cadena media	Homogeneizador rotor-estator	N/A
27	Fosfolípidos de yema de huevo	Triglicéridos de cadena media	Homogeneizador rotor-estator	N/A
28	Proteína de arveja	Aceite de oliva	Homogeneizador rotor-estator	N/A
29	Proteína de arveja	Estearina de karité	Thermomix	N/A
29	Proteína de arveja	Aceite de coco	Thermomix	N/A
30	dMCC	Aceite de canola	Homogeneizador de alta presión	N/A
30	dMCC	Aceite de coco	Homogeneizador de alta presión	N/A
31	Tween 20	Aceite de soja	Homogeneizador rotor-estator	Homogeneizador de alta presión
31	Tween 20	Aceite de canola	Homogeneizador rotor-estator	Homogeneizador de alta presión
32	Pectina	Aceite de coco	Mezclador de alto cizallamiento	Homogeneizador rotor-estator
32	Proteína de soya	Aceite de coco	Mezclador de alto cizallamiento	Homogeneizador rotor-estator
34	Agua destilada	Aceite de canola	Emulsificador mecánico	N/A
34	Agua destilada	Tensioactivo a base de aceite de coco	Emulsificador mecánico	N/A
34	Agua destilada	Aceite de canola	Homogeneizador de ultrasonido	N/A
34	Agua destilada	Tensioactivo a base de aceite de coco	Homogeneizador de ultrasonido	N/A

Figura 38. Tabla de relación entre código, fase acuosa, fase lipídica y métodos de emulsificación para diagrama aluvial.

## 9.6. Anexo 6: Tabla de códigos utilizados en diagrama aluvial.

Código	Título documento
1	Advances in the Design and Production of Reduced-Fat and Reduced-Cholesterol Salad Dressing and Mayonnaise: A Review
2	Formation and Stability of omega-3 Oil Emulsion-Based Delivery Systems Using Plant Proteins as Emulsifiers: Lentil, Pea, and Faba Bean Proteins
3	Impact of legume protein type and location on lipid oxidation in fish oil-in-water emulsions: Lentil, pea, and faba bean proteins
4	Formulation of food emulsions using natural emulsifiers: Utilization of quillaja saponin and soy lecithin to fabricate liquid coffee whiteners
5	Vitamin E Encapsulation in Plant-Based Nanoemulsions Fabricated Using Dual-Channel Microfluidization: Formation, Stability, and Bioaccessibility
6	Mixed plant-based emulsifiers inhibit the oxidation of proteins and lipids in walnut oil-in-water emulsions: Almond protein isolate-camellia saponin
7	Physical and Oxidative Stability of Flaxseed Oil-in-Water Emulsions Fabricated from Sunflower Lecithins: Impact of Blending Lecithins with Different Phospholipid
8	Pickering Particles Prepared from Food Waste
9	Effect of enzyme types on the stability of oil-in-water emulsions formed with rice protein hydrolysates
10	Influence of homogenization on physical properties of model coffee creamers stabilized by quillaja saponin
11	Faba bean protein: A promising plant-based emulsifier for improving physical and oxidative stabilities of oil-in-water emulsions
12	Reducing off-flavors in plant-based omega-3 oil emulsions using interfacial engineering: Coating algae oil droplets with pea protein/flaxseed gum
13	Increasing the Bioaccessibility of Antioxidants in Tomato Pomace Using Excipient Emulsions
14	Investigations into the structure-function relationship of plant-based surfactant glycyrrhizin: Interfacial behavior & emulsion formation
15	Formulation of plant based insecticides, their bio-efficacy evaluation and chemical characterization
16	Modulation of caseinate-stabilized model oil-in-water emulsions with soy lecithin
17	Standardization of Aquafaba Production and Application in Vegan Mayonnaise Analogs
18	Protein isolates from Cajanus cajan L. as surfactant for o:w emulsions: pH and ionic strength influence on protein structure and emulsion stability
19	Studying the lubricity of new eco-friendly cutting oil formulation in metal working fluid
20	Upcycling of brewers' spent grains via solid-state fermentation for the production of protein hydrolysates with antioxidant and techno-functional properties
21	Impact of Electrostatic Interactions on Lecithin-Stabilized Model O/W Emulsions
22	Effect of molecular weight on the interfacial and emulsifying characteristics of rice glutelin hydrolysates
23	Interfacial characteristics and in vitro digestion of emulsion coated by single or mixed natural emulsifiers: lecithin and/or rice glutelin hydrolysates
24	Non-prolamin fraction from brewer's spent grain: a novel plant-based emulsifier
25	Storage Stability of Conventional and High Internal Phase Emulsions Stabilized Solely by Chickpea Aquafaba
26	High pressure impregnation of oil in water emulsions into selected fruits: A novel approach to fortify plant-based biomaterials by lipophilic compounds
27	Assessment of the applicability of HLB values for natural phospholipid emulsifiers for preparation of stable emulsions
28	Optimization of formulation and physicochemical, nutritional and sensory evaluation of vegan chickpea-based salad dressings
29	Novel plant-based cream cheese: A tribology perspective
30	Defibrillated microcrystalline cellulose as an efficient emulsion stabilizer-Study of food-grade Pickering emulsions resistant to extreme conditions
31	Emulsion-based extraction of beta-sitosterol and carotenoids from sea buckthorn (Hippophae rhamnoides) pomace
32	Texturing Fermented Emulsion Gels from Soy Protein: Influence of the Emulsifying Agent-Soy Protein vs. Pectin Microgels-On Gel Microstructure, Rheology and Tribology
33	Plant-based mayonnaise: Trending ingredients for innovative products
34	Compact Energy-Saving Emulsifier for on Edible Oil-Based Control Agents

Figura 39. Tabla de códigos utilizados en diagrama aluvial.

## 9.7. Anexo 7: Análisis estadístico resultados media de tamaño de partícula.

**Tabla 19.** ANOVA media de emulsiones de adición.

**ANOVA Table for Media by ADICION**

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	92,0238	2	46,0119	106,90	0,0000
Within groups	2,58253	6	0,430422		
Total (Corr.)	94,6063	8			

**The StatAdvisor**

The ANOVA table decomposes the variance of Media into two components: a between-group component and a within-group component. The F-ratio, which in this case equals 106,899, is a ratio of the between-group estimate to the within-group estimate. Since the P-value of the F-test is less than 0,05, there is a statistically significant difference between the mean Media from one level of ADICION to another at the 95,0% confidence level. To determine which means are significantly different from which others, select Multiple Range Tests from the list of Tabular Options.

**Tabla 20.** ANOVA media de emulsiones de fortificación.

**ANOVA Table for B.Media by FORTIFICACIÓN**

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	64,2029	2	32,1014	16,62	0,0062
Within groups	9,65753	5	1,93151		
Total (Corr.)	73,8604	7			

**The StatAdvisor**

The ANOVA table decomposes the variance of B.Media into two components: a between-group component and a within-group component. The F-ratio, which in this case equals 16,6199, is a ratio of the between-group estimate to the within-group estimate. Since the P-value of the F-test is less than 0,05, there is a statistically significant difference between the mean B.Media from one level of FORTIFICACIÓN to another at the 95,0% confidence level. To determine which means are significantly different from which others, select Multiple Range Tests from the list of Tabular Options.

**Tabla 21.** ANOVA media emulsiones 1:1 (proteína: aceite).

**ANOVA Table for C.Media by Uno:Uno**

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	69,1561	1	69,1561	24,19	0,0079
Within groups	11,4347	4	2,85868		
Total (Corr.)	80,5909	5			

**The StatAdvisor**

The ANOVA table decomposes the variance of C.Media into two components: a between-group component and a within-group component. The F-ratio, which in this case equals 24,1916, is a ratio of the between-group estimate to the within-group estimate. Since the P-value of the F-test is less than 0,05, there is a statistically significant difference between the mean C.Media from one level of Uno:Uno to another at the 95,0% confidence level. To determine which means are significantly different from which others, select Multiple Range Tests from the list of Tabular Options.

**Tabla 22.** ANOVA media emulsiones 2:1 (proteína: aceite).

**ANOVA Table for D.Media by Dos:Uno**

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	28,8204	1	28,8204	1271,49	0,0000
Within groups	0,0906667	4	0,0226667		
Total (Corr.)	28,9111	5			

**The StatAdvisor**

The ANOVA table decomposes the variance of D.Media into two components: a between-group component and a within-group component. The F-ratio, which in this case equals 1271,49, is a ratio of the between-group estimate to the within-group estimate. Since the P-value of the F-test is less than 0,05, there is a statistically significant difference between the mean D.Media from one level of Dos:Uno to another at the 95,0% confidence level. To determine which means are significantly different from which others, select Multiple Range Tests from the list of Tabular Options.

**Tabla 23.** ANOVA media emulsiones 1:2 (proteína: aceite).

**ANOVA Table for E.Media by Uno:Dos**

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	30,3209	1	30,3209	127,28	0,0015
Within groups	0,714667	3	0,238222		
Total (Corr.)	31,0355	4			

**The StatAdvisor**

The ANOVA table decomposes the variance of E.Media into two components: a between-group component and a within-group component. The F-ratio, which in this case equals 127,28, is a ratio of the between-group estimate to the within-group estimate. Since the P-value of the F-test is less than 0,05, there is a statistically significant difference between the mean E.Media from one level of Uno:Dos to another at the 95,0% confidence level. To determine which means are significantly different from which others, select Multiple Range Tests from the list of Tabular Options.

## 9.8. Anexo 8: Análisis estadístico resultados mediana de tamaño de partícula.

**Tabla 24.** ANOVA mediana de emulsiones de adición.

**ANOVA Table for Mediana by ADICIÓN**

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	0,218822	2	0,109411	1406,71	0,0000
Within groups	0,000466667	6	0,0000777778		
Total (Corr.)	0,219289	8			

**The StatAdvisor**

The ANOVA table decomposes the variance of Mediana into two components: a between-group component and a within-group component. The F-ratio, which in this case equals 1406,71, is a ratio of the between-group estimate to the within-group estimate. Since the P-value of the F-test is less than 0,05, there is a statistically significant difference between the mean Mediana from one level of ADICIÓN to another at the 95,0% confidence level. To determine which means are significantly different from which others, select Multiple Range Tests from the list of Tabular Options.

**Tabla 25.** ANOVA mediana de emulsiones de fortificación.

**ANOVA Table for G.Mediana by G.FORTIFICACIÓN**

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	0,668933	2	0,334467	1567,81	0,0000
Within groups	0,00106667	5	0,000213333		
Total (Corr.)	0,67	7			

**The StatAdvisor**

The ANOVA table decomposes the variance of G.Mediana into two components: a between-group component and a within-group component. The F-ratio, which in this case equals 1567,81, is a ratio of the between-group estimate to the within-group estimate. Since the P-value of the F-test is less than 0,05, there is a statistically significant difference between the mean G.Mediana from one level of G.FORTIFICACION to another at the 95,0% confidence level. To determine which means are significantly different from which others, select Multiple Range Tests from the list of Tabular Options.

**Tabla 26.** ANOVA mediana de emulsiones 1:1 (proteína: aceite).

**ANOVA Table for H.Mediana by H.Uno:Uno**

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	0,18375	1	0,18375	735,00	0,0000
Within groups	0,001	4	0,00025		
Total (Corr.)	0,18475	5			

**The StatAdvisor**

The ANOVA table decomposes the variance of H.Mediana into two components: a between-group component and a within-group component. The F-ratio, which in this case equals 735,0, is a ratio of the between-group estimate to the within-group estimate. Since the P-value of the F-test is less than 0,05, there is a statistically significant difference between the mean H.Mediana from one level of H.Uno:Uno to another at the 95,0% confidence level. To determine which means are significantly different from which others, select Multiple Range Tests from the list of Tabular Options.

**Tabla 27.** ANOVA mediana de emulsiones 2:1 (proteína: aceite).

**ANOVA Table for I.Mediana by I.Dos:Uno**

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	1,14407	1	1,14407	34322,00	0,0000
Within groups	0,000133333	4	0,0000333333		
Total (Corr.)	1,1442	5			

**The StatAdvisor**

The ANOVA table decomposes the variance of I.Mediana into two components: a between-group component and a within-group component. The F-ratio, which in this case equals 34322,0, is a ratio of the between-group estimate to the within-group estimate. Since the P-value of the F-test is less than 0,05, there is a statistically significant difference between the mean I.Mediana from one level of I.Dos:Uno to another at the 95,0% confidence level. To determine which means are significantly different from which others, select Multiple Range Tests from the list of Tabular Options.

**Tabla 28.** ANOVA mediana emulsiones1:2 (proteína: aceite).

---

ANOVA Table for J.Mediana by J.Uno:Dos					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	1,55952	1	1,55952	11696,40	0,0000
Within groups	0,0004	3	0,000133333		
Total (Corr.)	1,55992	4			

**The StatAdvisor**

The ANOVA table decomposes the variance of J.Mediana into two components: a between-group component and a within-group component. The F-ratio, which in this case equals 11696,4, is a ratio of the between-group estimate to the within-group estimate. Since the P-value of the F-test is less than 0,05, there is a statistically significant difference between the mean J.Mediana from one level of J.Uno:Dos to another at the 95,0% confidence level. To determine which means are significantly different from which others, select Multiple Range Tests from the list of Tabular Options.

## 9.9. Anexo 9: Análisis estadístico de resultados de reómetro.

**Tabla 29.** Esfuerzo de corte inicial emulsión adición.

ANOVA Table for Esfuerzo de corte inicial by Adición					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	0,00000305256	2	0,00000152628	10,97	0,0099
Within groups	8,34685E-7	6	1,39114E-7		
Total (Corr.)	0,00000388725	8			

### The StatAdvisor

The ANOVA table decomposes the variance of Esfuerzo de corte inicial into two components: a between-group component and a within-group component. The F-ratio, which in this case equals 10,9714, is a ratio of the between-group estimate to the within-group estimate. Since the P-value of the F-test is less than 0,05, there is a statistically significant difference between the mean Esfuerzo de corte inicial from one level of Adición to another at the 95,0% confidence level. To determine which means are significantly different from which others, select Multiple Range Tests from the list of Tabular Options.

**Tabla 30.** Viscosidad emulsión adición.

ANOVA Table for Viscosidad by B.Adición					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	7,01099E-7	2	3,50549E-7	117,42	0,0000
Within groups	1,79133E-8	6	2,98556E-9		
Total (Corr.)	7,19012E-7	8			

### The StatAdvisor

The ANOVA table decomposes the variance of Viscosidad into two components: a between-group component and a within-group component. The F-ratio, which in this case equals 117,415, is a ratio of the between-group estimate to the within-group estimate. Since the P-value of the F-test is less than 0,05, there is a statistically significant difference between the mean Viscosidad from one level of B.Adición to another at the 95,0% confidence level. To determine which means are significantly different from which others, select Multiple Range Tests from the list of Tabular Options.

**Tabla 31.** Esfuerzo de corte inicial emulsión fortificación.

ANOVA Table for C.Esfuerzo de corte inicial by Fortificación					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	0,00000624812	2	0,00000312406	0,50	0,6286
Within groups	0,0000373272	6	0,00000622121		
Total (Corr.)	0,0000435754	8			

### The StatAdvisor

The ANOVA table decomposes the variance of C.Esfuerzo de corte inicial into two components: a between-group component and a within-group component. The F-ratio, which in this case equals 0,502163, is a ratio of the between-group estimate to the within-group estimate. Since the P-value of the F-test is greater than or equal to 0,05, there is not a statistically significant difference between the mean C.Esfuerzo de corte inicial from one level of Fortificación to another at the 95,0% confidence level.

**Tabla 32.** Constante de flujo emulsión fortificación.

ANOVA Table for Constante de flujo by D.Fortificación					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	0,0000111453	2	0,00000557265	42,28	0,0003
Within groups	7,90807E-7	6	1,31801E-7		
Total (Corr.)	0,0000119361	8			

### The StatAdvisor

The ANOVA table decomposes the variance of Constante de flujo into two components: a between-group component and a within-group component. The F-ratio, which in this case equals 42,2807, is a ratio of the between-group estimate to the within-group estimate. Since the P-value of the F-test is less than 0,05, there is a statistically significant difference between the mean Constante de flujo from one level of D.Fortificación to another at the 95,0% confidence level. To determine which means are significantly different from which others, select Multiple Range Tests from the list of Tabular Options.



**Tabla 33.** Índice de comportamiento emulsión fortificación

ANOVA Table for Índice de comportamiento by E.Fortificación					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	0,0103203	2	0,00516015	5,24	0,0483
Within groups	0,00591258	6	0,00098543		
Total (Corr.)	0,0162329	8			

**The StatAdvisor**

The ANOVA table decomposes the variance of Índice de comportamiento into two components: a between-group component and a within-group component. The F-ratio, which in this case equals 5,23644, is a ratio of the between-group estimate to the within-group estimate. Since the P-value of the F-test is less than 0,05, there is a statistically significant difference between the mean Índice de comportamiento from one level of E.Fortificación to another at the 95,0% confidence level. To determine which means are significantly different from which others, select Multiple Range Tests from the list of Tabular Options.