

**EMULSIONES ALIMENTARIAS TIPO ACEITE EN AGUA ESTABILIZADAS CON
PROTEÍNA DE ARENCA (*Triportheus magdalенаe*)**

**FREIRY BARRIOS BELLO
SOMARIS QUINTANA MARTINEZ**

**UNIVERSIDAD DE CARTAGENA
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA DE ALIMENTOS
CARTAGENA
2012**

**EMULSIONES ALIMENTARIAS TIPO ACEITE EN AGUA ESTABILIZADAS CON
PROTEÍNA DE ARENCA (*Triportheus magdalenae*)**

**FREIRY BARRIOS BELLO
SOMARIS QUINTANA MARTINEZ**

**INGENIERIA DE FLUIDOS COMPLEJOS Y REOLOGIA ALIMENTARIA (IFCRA)
GRUPO DE INVESTIGACION**



**LUIS ALBERTO GARCIA ZAPATEIRO
DIRECTOR DEL TRABAJO**

**UNIVERSIDAD DE CARTAGENA
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA DE ALIMENTOS
CARTAGENA
2012**

Huelva (España), 28 de marzo de 2012

Señores

COMITÉ DE INVESTIGACIÓN Y TRABAJOS DE GRADO

Programa de Ingeniería de Alimentos

Facultad de Ingeniería

UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

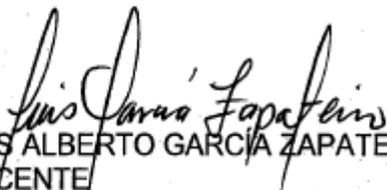
Ciudad.

Estimados Señores:

La presente tiene como objeto, comunicarles que las estudiantes **FREIRY DEL CARMEN BARRIOS BELLO** y **SOMARIS ELENA QUINTANA MARTINEZ**, han desarrollando el informe final del trabajo de Investigación titulado "**EMULSIONES ALIMENTARIAS TIPO ACEITE EN AGUA ESTABILIZADAS CON PROTEÍNA DE ARENCA (*Tripurtheus magdalenae*)**" desde el grupo de investigación INGENIERÍA DE FLUIDOS COMPLEJOS Y REOLOGÍA ALIMENTARIA (IFCRA) teniéndome como directo de la misma. Lo anterior muy respetuosamente se manifiesta para la realización del proceso de evaluación y sustentación del informe final como requisito parcial para optar el título de Ingeniero de Alimentos.

Agradecimiento de antemano la atención a la presente,

Atentamente,


LUIS ALBERTO GARCÍA ZAPATEIRO
DOCENTE
MSc en Ingeniería Química

Cartagena de indias D. T Y C marzo 28 de 2012

Señores

COMITÉ DE INVESTIGACIÓN Y TRABAJOS DE GRADO

Programa de Ingeniería de Alimentos

Facultad de Ingeniería

Universidad de Cartagena

Ciudad

Estimados Señores:

Por medio de la presente hacemos entrega formal del informe final de Investigación titulado "**EMULSIONES ALIMENTARIAS TIPO ACEITE EN AGUA ESTABILIZADAS CON PROTEINA DE ARENCA (*Tripurtheus magdalenae*)**". La cual tiene como director al Ingeniero **LUIS ALBERTO GARCÍA ZAPATEIRO** MSc, docente investigador de nuestra facultad.

Agradecimiento de antemano la atención que brinden a nuestra propuesta.

Atentamente,

FREIRY BARRIOS BELLO
COD. 0110620043

SOMARIS QUINTANA MARTINEZ
COD. 0110620008

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Cartagena, 30 marzo de 2012

DEDICATORIA

La presentación de este trabajo de investigación es el símbolo de cierre de una etapa y la apertura de otra, por eso le doy las gracias a Dios por haber permitido que tuviera esta experiencia y además darme la sabiduría necesaria para poder aprovecharla de la mejor manera posible.

A mi familia que me ha apoyado en todo momento, por aguantar todas mis pretensiones e intensidades con tal de conseguir lo propuesto.

A mi amiga y compañera de trabajo de investigación quien me acompañó en esta trayectoria.

A los profesores del programa quienes aportaron su granito de arena para contribuir en el proceso de aprendizaje, en especial al Ing. Luis García Zapateiro quien dirigió desde el principio hasta la última etapa, brindándonos la asesoría necesaria para el desarrollo y presentación de este trabajo.

Somaris Quintana Martínez

DEDICATORIA

A **Dios** por brindarme la sabiduría y fortaleza que requirieron estos seis años de mi carrera para que fuera posible alcanzar este triunfo.

A mis padres Freddy e Irina, porque además de la vida me han brindado su apoyo incondicional, sacrífico y ejemplo de vida; sus esperanzas y orgullo puesto en mí es lo que me ha impulsado a salir adelante.

A mis piojas Leiry y Danna, por la satisfacción de verlas crecer y ser ejemplo para ellas.

A mi hermana Jaili y mi prima Arelinda, por su buen humor en mis momentos de tristeza y desesperación.

A mi tía Petra e hijas, por su completo apoyo, demostraron que la distancia no es sinónimo de olvido.

A Yenis y Elena, por ser personas importante en mi formación.

A mi familia quienes su constante esfuerzo, paciencia y apoyo moral, me estimularon siempre a salir a delante.

A mi amiga y hermana Somaris, por brindarme su amistad, compañía y comprensión en los momentos de mayor oscuridad; le doy gracias a Dios por permitir culminar esta etapa contigo.

A mis amigas Gina, Zornellys, Evelin, Adis, Joice, Karen y Nacira, por hacer divertido e inolvidables mis pasos por la universidad.

A mis amigos Verónica, Cindy, Celia, Jorge Eliecer, José, Yesid, Jhon, Robert, Gustavo, German, Chito y Kike, por compartir conmigo tantas cosas, es para mí un orgullo tenerlos a mi lado y contar con ustedes.

A mis súper profesores Luis Alberto García Zapateiro y Edilbert Torregroza Fuentes, por aportarnos sus conocimientos y apoyo incondicional.

A Santiago, quien a pesar de muy poco conocernos nos brindó su colaboración y paciencia en los laboratorios.

Gracias Señor, por poner en mi camino a todas las personas que de una u otra forma me han apoyado, aportando sus conocimientos, amor y fe, a alcanzar este sueño!

Freiry Barrios Bello

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
1. RESUMEN	
2. INTRODUCCION	3
3. MARCO TEORICO	5
3.1 CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA Y CARACTERÍSTICAS DE ARENCA (<i>Triportheus magdalenae</i>).	5
3.2 COMPOSICIÓN DEL PESCADO	6
3.3 PROTEINAS ALIMENTARIAS	7
3.3.1 Papel de las proteínas en sistemas alimenticios.	7
3.3.2 Proteína de pescado	10
3.4 EMULSIONES	11
3.4.1 Estabilidad de emulsiones	11
3.4.1.1 Distribución de tamaños de gotas	11
3.4.1.2 Mecanismos de desestabilización	11
3.4.2 Emulsificantes	13
3.4.2.1 Proteínas como emulsificantes	13
3.4.3 Principios de la emulsificación	13
3.5 REOLOGIA	14
3.5.1 Propiedades reológicas de los materiales	14

	Pág.
3.5.1.1 Fluidos newtonianos	15
3.5.1.2 Fluidos No Newtonianos	15
3.5.2 Modelos reológicas para modelos no newtoniano	16
3.5.2.1 Modelo de Ostwald-de Waele o ley potencia	17
3.5.2.2 Modelos para fluidos estructurados	17
3.5.2.3 Modelos que predicen una viscosidad límite	18
3.5.3 Reología de las emulsiones	18
4. JUSTIFICACION	21
5. OBJETIVOS	23
6. METODOLOGIA	24
6.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN	24
6.2 MATERIALES	24
6.2.1 Arenca (<i>Triportheus magdalenae</i>)	24
6.2.2 Aceite de palma	24
6.2.3 Agua des-ionizada	25
6.2.4 Reactivos	26
6.3 EQUIPOS	26
6.3.1 Equipo soxhlet	26
6.3.2 Equipo Kjeldahl	27

	Pág.
6.3.3 pH-meter	28
6.3.4 Centrifuga	28
6.3.5 Homogeneizador	29
6.3.6 Viscosímetro	30
6.3.7 Microscopio	31
6.4 MÉTODOS	31
6.4.1 Análisis fisicoquímicos y bromatológico de la arenca (<i>Triportheus magdalenae</i>)	31
6.4.2 Obtención del aislado proteico	32
6.4.3 Caracterización bromatológica del aislado proteico de arenca (<i>Triportheus magdalenae</i>)	33
6.4.4 Formulación y estandarización de emulsiones	34
6.4.5 Ensayo reológico	35
6.4.6 Ensayo microscópico	35
7. RESULTADOS	36
7.1 CARACTERIZACIÓN FISICOQUIMICA Y BROMATOLÓGICA DE LA ARENCA (<i>Triportheus magdalenae</i>)	36
7.1.1 Caracterización fisicoquímica	36
7.1.2 Caracterización Bromatológico	37
7.2 OBTENCIÓN Y CARACTERIZACION DEL AISLADO PROTEICO	38
7.3 ESTANDARIZACION DE LA EMULSION ALIMENTARIA	39

	Pág.
7.4 CARACTERIZACION REOLOGICA	42
7.5 ANALISIS MICROESTRUCTURA	46
8. CONCLUSIONES	48
9. RECOMENDACIONES	49
10. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	50
11. ANEXOS	55

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA 1. Mapa el centro y norte de América del sur	5
FIGURA 2. Arenca (<i>Triportheus magdalenae</i>)	6
FIGURA 3. Mecanismos de desestabilización	12
FIGURA 4. Grafica de comportamiento de fluido	14
FIGURA 5. Modelos reológicos	17
FIGURA 6 Aceite comercial de comercial	25
FIGURA 7 Agua des-ionizada	25
FIGURA 8 Equipo soxhlet	26
FIGURA 9 Montaje Kjeldahl	27
FIGURA 10 pH-meter HANNA HI 9216	28
FIGURA 11 Centrifuga JOVAN B3ay11	28
FIGURA 12 Homogeneizador Ultra Turrax T10	29
FIGURA 13 Viscosímetro Brookfield DV-E.	30
FIGURA 14 Microscopio Leica DM500	31
FIGURA 15. Obtención del aislado	33
FIGURA 16. Emulsiones elaboradas con un diseño factorial 2^3 optimizado	40
FIGURA 17. Emulsiones desestabilizadas	41
FIGURA 18. Emulsiones estabilizadas	41
FIGURA 19. Grafica de viscosidad vs velocidad de deformación	42

	Pág.
FIGURA 20. Comparación de viscosidad a concentración constante	43
FIGURA 21. Ajuste al modelo Sisko Ecuacion (1)	44
FIGURA 22. Modelo de fluidos No Newtonianos	45
FIGURA 23. Análisis microscópico de la emulsión	47

TABLAS

	Pág.
TABLA 1. Clasificación taxonómica de Arenca (<i>Triportheus magdalenae</i>)	5
TABLA 2. Propiedades funcionales de las proteínas	7
TABLA 3. Parámetros de frescura de pescado	32
TABLA 4. Niveles de los factores	34
TABLA 5. Diseño de experimento	34
TABLA 6. Composición química porcentual de la Arenca (<i>Triportheus magdalenae</i>)	37
TABLA 7. Composición proximal del aislado proteico de Arenca (<i>Triportheus magdalenae</i>)	38
TABLA 8. Diseño factorial 2 ³ optimizado	39
TABLA 9. Análisis de ajuste	46

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO 1. Caracterización fisicoquímica y bromatológica de la Arenca (<i>Triportheus magdalenae</i>)	55
ANEXO 2. Obtención del aislado proteico	56
ANEXO 3. Formulación de la emulsión	57
ANEXO 4. Caracterización reológica	58
ANEXO 5. Participación en eventos académicos	59

1. RESUMEN

En el diseño, formulación y desarrollo de nuevos productos alimenticios o el mejoramiento de los productos tradicionales, están condicionados al conocimiento de las características fisicoquímicas, bromatológicas y reológicas de sus componentes.

Un eje de valiosa importancia en el área de los alimentos son las dispersiones complejas tales como las emulsiones. Ahora bien, en la formulación y elaboración de las emulsiones se utilizan agentes surfactantes como las proteínas, que se constituyen en barreras moleculares que estabilizan las dispersiones y favorecen su formación.

De acuerdo a lo anterior se estandarizara una emulsión alimentaria tipo aceite en agua (O/W) con proteína de Arenca (*Triportheus magdalenae*), para esto se ha realizado la caracterización fisicoquímica y bromatológica del musculo del pescado, obteniendo un porcentaje de proteína, de $17,85 \pm 0,12$ permitiendo la recuperación de 72 a 90% en el aislado proteico, para su aplicación en productos alimenticios como pueden ser salsa para ensaladas, mayonesas, pastas para untar, aderezos entre otros productos.

Por lo anterior se ha obtenido una emulsión alimentaria tipo aceite en agua (O/W) estabilizada con proteínas aisladas de la Arenca (*Triportheus magdalenae*), con un comportamiento de fluido No Newtoniano tipo pseudoplástico, el cual presenta una distribución de pequeñas gotas de forma homogénea. Los análisis para evaluar la estabilización se realizaron después de 24 horas de elaborada la emulsión mostrando estabilidad en el producto.

ABSTRACT

The design, formulation and development of the new products or the improvement of traditional's product, are conditioned by the knowledge of the physicochemical, bromatological and rheological characteristics and their components.

An important aspect of the food investigation is the complex dispersion such as emulsion. However for preparation and formulation of emulsions surfactants like protein are used to constitute a molecular barrier that stabilize dispersions and helps its formation.

Taking into account what has been said above, it will be standardized a food emulsion type oil in water (O/W) with Arenca's (*Triportheus magdalenae*) protein, for this procedure a physicochemical and bromatological characterization of fish's muscle has been done, in which a percentage of protein, $17,85 \pm 0.12$, has been gotten, this has allowed a recovery from 72 – 90% of isolated protein, to be used in food products such a salad dressing, mayonnaise, spreads, dressings and other products.

Therefore we have obtained a food emulsion type oil in water (O/W) settled with isolated proteins from Arenca (*Triportheus magdalenae*) with a non-Newtonian fluid type pseudoplastic behavior, wich present a homogeneous distribution of droplets. The analyze to evaluate the stabilization was performed 24 hours after the emulsion was prepared showing a stability in the product.

2. INTRODUCCION

La línea de investigación del grupo Ingeniería de Fluidos Complejos y Reología Alimentaria "IFCRA", ha proyectado la posibilidad de estudiar productos micro estructurados como emulsiones tipo aceite en agua (O/W) estabilizadas con proteína animal como la que se puede obtener de la Arenca (*Triportheus magdalenae*).

La formulación de nuevos productos alimentarios o la optimización de los productos tradicionales están condicionadas al conocimiento de las características fisicoquímicas de sus componentes.

Un núcleo importante de los productos alimentarios son dispersiones complejas tales como las emulsiones.

Las emulsiones son dispersiones coloidales de gotas de un líquido en otra fase líquida [1]. Dependiendo de la naturaleza de las fases dispersa y continua, las emulsiones pueden ser llamadas aceite en agua (O/W) (*Oil in water*) cuando se trata de gotas de aceites dispersadas en agua, y agua en aceite (W/O) (*Water in Oil*) cuando se trata de gotas de agua dispersas en aceite [2]. Estas dispersiones coloidales son termodinámicamente inestables e inmediatamente se separan en dos fases a menos que esté presente en la interfase un agente emulsificante, el cual puede ser proteínas ya que producen interacciones de repulsión o atracción en la interfase aceite-agua. [1].

Para su elaboración se procedió a la obtención de la proteína a partir de la Arenca (*Triportheus magdalenae*), analizando la influencia a diferentes concentraciones en emulsiones preparadas a iguales concentraciones de aceite y expuestas a diferentes velocidades de homogenización.

El estudio de las emulsiones formuladas se llevo a cabo a nivel reológico y microestructural ya que este nos proporciona información sensible sobre la naturaleza de las interacciones que ocurren entre las moléculas absorbidas en la interfase de las emulsiones aceite en agua O/W.

Esta investigación produjo un aporte de carácter científico dirigido a la comunidad nacional e internacional de investigadores en el área de la ingeniería de alimentos o afines. Así mismo, se fortalece la línea de investigación del grupo.

Por otra parte, el desarrollo de esta investigación será una alternativa a nivel industrial con el diseño de nuevos productos y el mejoramiento de los ya existentes incorporando un alto valor añadido, tales productos pueden ser mayonesas, aderezos y salsa para ensaladas, que necesitan de emulsificantes o surfactantes en su formulación para su estabilidad y vida útil.

3. MARCO TEORICO

3.1 CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA Y CARACTERÍSTICAS DE ARENCA (*Triportheus magdalenae*)

En la Tabla 1 se presenta la clasificación taxonómica y características de la Arenca (*Triportheus magdalenae*).

Tabla 1. Clasificación Taxonómica de la Arenca (*Triportheus magdalenae*)

Arenca (<i>Triportheus magdalenae</i>)	
Orden	Characiformes
Familia	Characidae
Genero	Triportheus
Especie	Triportheus magdalenae
Sinonimias	Chalcinus magdalenae
Nombres comunes	Arenca, arenca, tolomba, sardina, sardinata, arenque
Distribución	Se encuentra en las cuencas del Río Magdalena, la distribución se puede apreciar en el mapa de Suramérica (figura 1).

Fuente [3]

Figura 1. Mapa del centro y norte de América del Sur.



Distribución geográfica de la Arenca (*Triportheus magdalenae*), (círculos; asterisco = localidad tipo).

Fuente: [4]

Se distingue de todos los demás peces del río por la forma del pecho que es aquillado [5], línea lateral fuertemente curvada hacia abajo, más cercana a la aleta anal que al eje del cuerpo; dientes en la parte anterior de la mandíbula triangulares, multicúspides, detrás de la hilera completa hay dos dientes cónicos junto a la sínfisis [6] esta especie es de color blanco brillante plateado; presenta una banda ancha negra sobre la línea lateral; la aleta caudal es anaranjada. [7] como se puede apreciar en la figura 2.

Figura 2. Arenca (*Triportheus magdalenae*)



Fuente: Autores.

No crece a tamaños muy grandes; es muy abundante, especialmente en ciertas épocas del año y por lo regular es una de las primeras especies en aparecer en las subidas. [5] y su talla máxima 25 cm [6, 8].

3.2 COMPOSICIÓN DEL PESCADO

Los pescados y sus productos derivados se incluyen entre los alimentos más importantes desde el punto de vista nutricional, (pobre en grasa/rico en proteína):

Proteínas: La proteína del pescado es de alto valor biológico, su contenido en aminoácidos es similar a la de la proteína de los mamíferos; su contenido en aminoácidos esenciales es elevado [9].

Grasa: Muchos peces apenas contienen grasas, otros en cambio son ricos en ellos. Hay que destacar especialmente a elevada proporción de ácidos grasos de cadena larga (C18 – C22), y de ácidos grasos poliinsaturados (4,5 o 6 dobles enlaces) que contienen los aceites de pescado, lo cual supone una ventaja nutricional, pero a su vez contribuye al rápido enranciamiento y al sabor aceitoso del pescado [9].

Hidratos de carbono: Los pescados prácticamente no contienen hidratos de carbono [9].

Minerales: La carne del pescado aporta selenio, flúor potasio e iodo en cantidades considerables [9].

Vitaminas: El hígado de los peces es especialmente rico en vitaminas A y D [9].

3.3 PROTEÍNAS ALIMENTARIAS

Las proteínas son macromoléculas que contienen carbono, nitrógeno, oxígeno y, casi todas, azufre. En algunas se ha encontrado fósforo, hierro, zinc y cobre [10].

Además de su valor nutricional, las proteínas presentan una amplia gama de propiedades funcionales como se muestra en la tabla 2 y juegan un rol importante en la expresión de los atributos sensoriales de los alimentos [11].

3.3.1 Papel de las proteínas en sistemas alimenticios

Las funcionalidades de las proteínas se señalan en la Tabla 2 indicando los mecanismos, el alimento en que se utilizan y el tipo de proteína.

Tabla 2. Propiedades funcionales de las proteínas

Función	Mecanismo	Alimento	Tipo de proteína
Solubilidad	Hidrofilicidad, carga neta	Bebidas	Proteínas del suero, proteínas aisladas de ajonjolí
Viscosidad	Hidrofilicidad, hidrodinámica del tamaño y forma	Sopas, salsas, postres y aderezos	Gelatina, soya

Tabla 2. (Continuación)

Función	Mecanismo	Alimento	Tipo de proteína
Absorción de agua	Hidrofilicidad	Salchicha, pasteles y panes	Proteínas musculares y huevo
Gelificación	Atrapamiento de agua, formación de redes	Cárnicos, geles, pasteles, panadería, quesos	Proteínas musculares, proteínas del huevo, proteínas del suero
Elasticidad	Interacciones hidrofóbicas, puentes disulfuro.	Panadería y cárnicos	Proteínas musculares, gluten y proteínas de cereales
Emulsificación y espumado	Hidrofobicidad, Hidrofilicidad, flexibilidad y rigidez, tamaño, estructura.	Mayonesas, aderezos	Proteínas musculares, huevo, leche y soya.
	Absorción interfacial y formación de películas.	Merengues, helados y productos batidos	Aislados proteicos de soya y ajonjolí, leche y huevo.
Capacidad de ligar grasa y sabores	Interacciones hidrofóbicas, atrapamiento	Productos de panadería bajo en grasa, donas	Proteínas lácteas, proteínas de huevo, gluten y proteínas de cereales

Fuente [11].

Estas propiedades funcionales pueden definirse como aquellas propiedades físicas y químicas que afectan el comportamiento de las proteínas en los alimentos durante su procesamiento, almacenamiento, preparación y consumo [12].

En particular, las propiedades funcionales de las proteínas pueden clasificarse en tres grupos:

- Propiedades dependientes de la interacción proteína-agua (propiedades de hidratación)
- Propiedades dependientes de las interacciones proteína-proteína.

- Propiedades de superficie.

El primer grupo incluye propiedades tales como la absorción y la retención de agua, succulencia, hinchado, adhesión, dispersibilidad, solubilidad y viscosidad, el segundo grupo de propiedades intervienen en fenómenos tales como la precipitación, gelificación y formación de otras estructuras diferentes y el tercer grupo de propiedades se refiere a la tensión superficial de emulsificación y características espumantes de las proteínas; cabe aclarar que esta clasificación, basada en el tipo de interacción molecular, no implica que se establezca un único tipo de interacción, sino que la misma es predominante para ese grupo de propiedades funcionales. [13]

Sin embargo las proteínas pueden sufrir modificación en su conformación (a nivel de estructura secundaria, terciaria y cuaternaria) fenómeno conocido como desnaturalización, esta produce la pérdida de la actividad en las enzimas y, normalmente, la insolubilización y pérdida de algunas propiedades funcionales en las proteínas alimentarias. En ocasiones, es deseable la desnaturalización parcial de las proteínas alimentarias, puesto que aumenta su digestibilidad y mejoran algunas propiedades funcionales, como la capacidad espumante o emulsionante.

La desnaturalización de la proteína puede ser causada por diferentes agentes, como el calor, la presión, fuerzas interfaciales, cizalla mecánica, valores de pH extremos, presencia de sales, tensoactivos y disolventes orgánicos. El calor y la presión son los agentes desnaturalizantes más comunes en el procesado alimentario.

La estabilidad estructural de las proteínas se mantiene principalmente por interacciones no covalentes, como puentes de hidrógeno, interacciones electrostáticas, hidrofóbicas y de van der Waals. Además, las proteínas que tienen una alta estabilidad estructural en sistemas biológicos contienen normalmente puentes de azufre, puesto que éstos reducen la tendencia a desdoblarse de la cadena polipeptídica. La presencia de puentes de azufre intermoleculares en la estructura de una proteína contribuye a su resistencia a la desnaturalización térmica y a su desdoblamiento bajo condiciones de cizalla, como las utilizadas en la emulsificación [14].

Los puentes de hidrógeno aparecen predominantemente en las estructuras secundarias de la cadena polipeptídica. Los puentes de hidrógeno entre segmentos ocurren predominantemente entre los residuos glutamina y asparragina; Las interacciones electrostáticas entre grupos cargados de signo

opuesto son de gran importancia en la termo-estabilidad de las proteínas, y dependen en gran medida del pH y la fuerza iónica.

Entre las interacciones no covalentes, las hidrofóbicas son las que mayor contribución suponen a la estabilidad conformacional de las proteínas. Al contrario que los puentes de hidrógeno y las interacciones electrostáticas, las interacciones hidrofóbicas son favorecidas por el aumento de la temperatura y por la entropía; la fuerza de este tipo de interacciones aumenta con la temperatura hasta los 100°C [15].

3.3.2 Proteína de pescado

El contenido de proteínas de los peces es muy variable; va de 12 a 23% (base humedad) y están distribuidas como consiguientes: de 70 a 80% son globulinas, de 10 a 20 % son albuminas y de 2 a 4% son queratinas y colágeno [16].

Existen numerosas analogías entre el musculo del pescado y el de los animales de sangre caliente. No obstante, las principales diferencias son:

- El contenido del tejido conjuntivo, es menor en el musculo del pescado; las proteínas del estroma representan del 3 al 10% de las proteínas totales.
- La temperatura de gelatinización del colágeno del pescado es una decena de grados inferiores al de la carne.
- Las fibras musculares del pescado son cortas y organizadas en laminillas.
- La miosina, que representa un 40% de las proteínas totales, es difícil de separar de la actina (20%). Esta proteína es más sensible a la desnaturalización (calor – secado) y a la proteólisis que la miosina de los animales de sangre caliente
- La rigidez cadavérica y la maduración son fenómenos relativamente rápidos en el pescado (a 0°C 5 y 30 horas, respectivamente). El descenso post mortem del pH es menor, de 7 a 6,5 – 6,2 o que confiere al pescado una estabilidad microbiológica mayor [13].

3.4 EMULSIONES

Una emulsión consiste en gotas de un líquido disperso en otro líquido inmiscible [17]. En la práctica debe contener un tercer componente, un emulsionante, sustancia anfílica que facilita la formación de la emulsión disminuyendo la tensión interfacial entre la fase apolar (oleosa) y la polar (acuosa) y además aporta al menos una cierta estabilidad física durante un tiempo, que puede ser más o menos largo, dependiendo de la composición, características de procesado y condiciones externas durante el envejecimiento [18].

Dependiendo de la naturaleza de las fases dispersa y continua, las emulsiones se clasifican como:

Emulsiones simples. Que pueden ser llamadas aceite en agua (O/W) (*Oil in water*) cuando se trata de gotas de aceites dispersadas en agua, y agua en aceite (W/O) (*Water in Oil*) cuando es lo contrario.

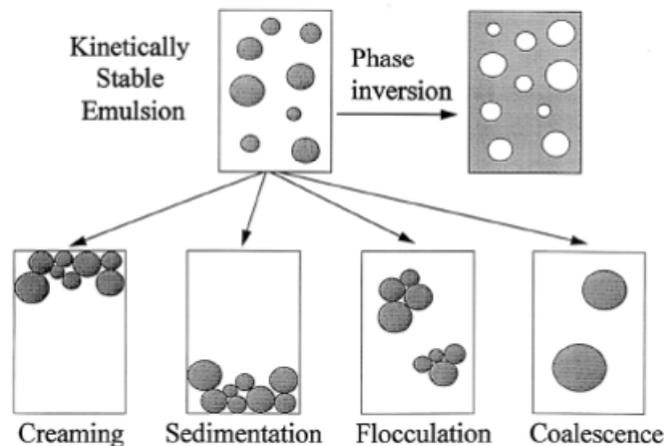
Emulsiones múltiples. Son sistemas líquido-líquido dispersados en los cuales la fase interna es una emulsión. Se usa el símbolo W/O/W para una emulsión múltiple del tipo agua en aceite en agua, y O/W/O para la emulsión de aceite en agua en aceite [2].

3.4.1 Estabilidad de emulsiones

3.4.1.1 Distribución de tamaños de gotas. Las interacciones entre las fases deformables de las gotas juegan un rol importante en la reología de la emulsión. Para las fases dispersas incompresible, las más básicas interacciones es el de volumen excluido. La segunda interacción básica repulsiva resulta del trabajo realizado para crear un área de superficie de gota adicional cuando dos gotas se deforman por la fuerza que las une. Por último, el surfactante proporciona típicamente un corto rango de repulsión lo que previene la coalescencia de las gotas. [17].

3.4.1.2 Mecanismos de desestabilización. El término estabilidad de la emulsión es usado para describir la habilidad de una emulsión a resistir cambios en sus propiedades en el tiempo. Existen una variedad de mecanismos físico-químicos los cuales son responsables de las alteraciones en las propiedades de una emulsión, alguno de los más importantes se muestran en la figura 3

Figura 3. Mecanismos de desestabilización



Fuente[19]

a) Separación gravitacional. Las gotas de una emulsión tienen diferentes densidades a la del líquido que rodea en una emulsión, debido y a una fuerza gravitacional que actúa sobre ellos [19]. Si las gotas son de menor densidad que el líquido que las rodea tienden moverse hacia arriba lo cual se denomina cremado, de modo contrario si las gotas son de mayor densidad que el líquido que las rodea, tienden a moverse hacia abajo, fenómeno que se conoce como sedimentación. Las densidades de la mayoría de los aceites tienden a ser menor que la densidad del agua, entonces esto hace que el aceite tienda a acumularse en la parte superior en emulsiones y el agua en la parte inferior. Luego las gotas de una emulsión aceite en agua (o/w) tienden a cremado y las emulsiones agua en aceite (w/o) tienden a sedimentar [19].

b) Floculación y coalescencia. La floculación y coalescencia son dos tipos de agregación de las gotas. La inestabilidad por floculación ocurre cuando dos o más gotas se agregan, debido a las colisiones provocadas por el movimiento Browniano, conservando su individualidad. Mientras que en la coalescencia, la colisión de dos o más gotas forma una sola [20].

c) Maduración de Ostwald. En las emulsiones aceite en agua (o/w) es el crecimiento de una gota en el potencial químico de la fase de aceite entre diferentes gotas derivados de diferentes radios de curvatura [21, 22]. Este potencial químico incrementa con el decrecimiento del cado consecuentemente la solubilidad del material que comprende la fase de las gotas incrementa similarmente [23].

d) Inversión de fases. Es el proceso por el cual los sistemas cambian de emulsiones aceite en agua a agua en aceite o viceversa [19].

3.4.2 Emulsificantes

Los emulsificantes o Surfactantes con componentes orgánicos, tienen por lo menos un lado lipofílico y otro hidrofílico en la molécula. Si el solvente en el cual el emulsificante es usado es agua o una solución acuosa luego el término usado es hidrofílico y hidrofóbico. En términos sencillos un emulsificante contiene por lo menos un grupo polar o iónico y uno no polar [24].

3.4.2.1 Proteínas como emulsificantes. Algunas proteínas son moléculas surface-active que pueden ser usadas como emulsificante por la habilidad de facilitar la formación, proveer la estabilidad y producir propiedades fisicoquímicas deseables en emulsiones aceite en agua (O/W) [25].

Las proteínas adsorbidas en la interface recién formada por las gotas de aceite por la homogenización de mezclas de aceite-agua-proteína, donde esto facilita la distribución de las gotas por la disminución de la tensión interfacial y retarda la coalescencia de gotas por la formación de membranas protectoras alrededor de las gotas [26].

La habilidad de las proteínas para generar interacciones repulsivas entre las gotas de aceite y forman membranas interfaciales que son resistentes a la ruptura y juegan un papel muy importante en la estabilización de gotas, floculación y coalescencia durante largos tiempos de almacenamiento

3.4.3 Principios de la emulsificación

La emulsificación se define como aquella operación en la que dos líquidos normalmente inmiscibles se mezclan íntimamente; uno de los líquidos (la fase discontinua o dispersa) se dispersa en forma de pequeñas gotas o glóbulos en el otro (fase continua o dispersante). Para formar una emulsión hay que hacer trabajo sobre el sistema a fin de superar la resistencia a la creación de una nueva superficie; por lo general este trabajo sobre el líquido se hace sometiéndolo a agitación violenta, por esta acción las gotas se deforman y rompen en otras más pequeñas y más finamente dispersas. Si las condiciones son adecuadas la película protectora del agente emulsionante se absorbe a la interfase y se forma

una emulsión estable. El tiempo necesario para que se forme la emulsión varia con la formulación de la emulsión y la técnica empleada se ha de determinar experimentalmente [27].

3.5 REOLOGIA

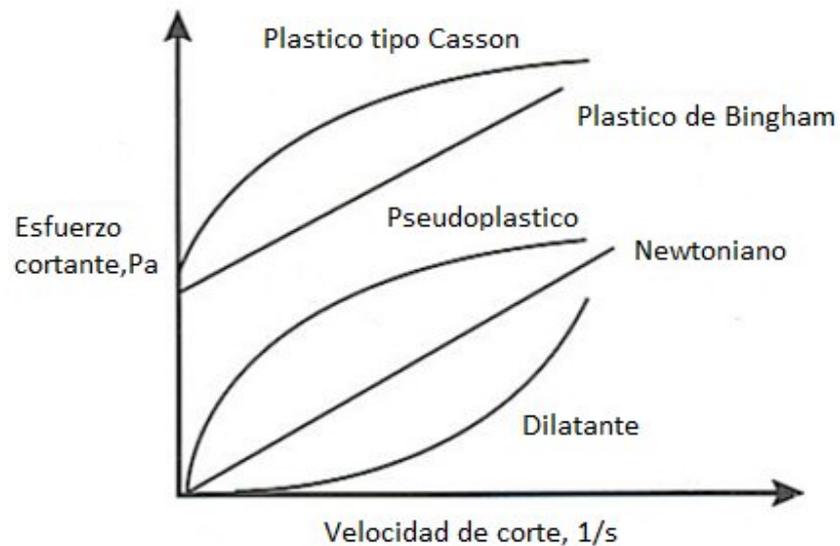
La reología se define como la ciencia que estudia la deformación y flujo de la materia: es el estudio de la manera en la cual los materiales responden al estrés y la tensión [28].

3.5.1 Propiedades reológicas de los materiales

Tradicionalmente, los materiales en unas determinadas condiciones de temperatura y presión, se clasifican como sólidos o fluidos.

Se dan diferentes tipos de comportamiento [29] los cuales se muestran en la figura 4:

Figura 4. Grafica de comportamiento de fluidos



Fuente: [29]

Los sólidos elásticos ideales también son llamados sólidos *Hookean*, *Hooke* observó experimentalmente que hay una relación entre la deformación de un material sólido y la magnitud de la fuerza aplicada, produciendo una deformación no muy larga; Además que cuando una fuerza es removida de un material, este regresa a su forma habitual [19].

Los fluidos ideales como los líquidos y los gases se deforman irreversiblemente. La energía requerida para la deformación se disipa dentro del fluido en forma de calor y no puede recuperarse simplemente eliminando los esfuerzos [30].

3.5.1.1 Fluidos Newtonianos. Los líquidos ideales son también llamados líquidos Newtonianos, gracias a Isaac Newton el científico quien describió por primera vez su comportamiento, y se define como aquel para el que la representación de la tensión de cizalladura en función de la velocidad de deformación (o intensidad de cortadura) es una línea recta. A la constante de proporcionalidad se le denomina coeficiente de viscosidad [29]. La viscosidad de un líquido es una medida de su resistencia al flujo: cuanto mayor es la viscosidad, mayor será la resistencia [19,28].

El coeficiente de viscosidad η , es un término cuantitativo; se define como el cociente tensión tangencial (o tensión de cizalladura) τ , dividida por la velocidad de deformación (intensidad cortadura o cizalladura, o gradiente de velocidad), D ; es decir:

$$\eta = \tau / D$$

El líquido-newtoniano carece de propiedades elásticas; es incompresible, isótropo y, como el sólido de Hooke, irreal [29].

3.5.1.2 Fluidos no newtonianos. Un líquido no Newtoniano se define como aquel que exhibe un flujo uniforme, pero para el que no es constante la relación entre tensión tangencial y velocidad de deformación, es decir la viscosidad no es constante; en lugar de coeficiente de viscosidad, η , se usa “ coeficiente de viscosidad aparente”, η_{app} , que se define como el primero:

$$\eta_{app} = \tau / D$$

- **Pseudoplasticidad:** son menos espesos cuando se someten a altas velocidades de deformación que cuando se cizallan lentamente. La viscosidad aparente depende de la velocidad de deformación por cizalladura, pero no del tiempo durante el que están sometidos a la tensión cizallante. La gráfica de τ en función de D no es una línea recta [29].

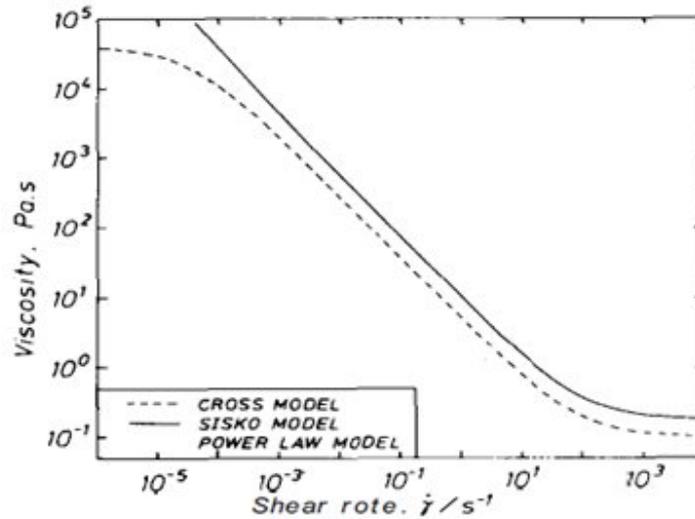
Una generalización de este comportamiento corresponde a los denominados fluidos estructurales. Estos materiales presentan una región de viscosidad constante, η_0 , a bajas velocidades de cizalla, seguida de una región no lineal a velocidades intermedias. A altas velocidades de cizalla tienden nuevamente hacia una viscosidad constante, η_∞ .

- **Dilatante:** Es un fenómeno de espesamiento independientemente del tiempo, que se da a altas velocidades de deformación; la gráfica no es lineal pero los valores de τ y D están relacionados (espesamiento de estado estacionario). η_{app} aumenta al aumentar D [29].
- **Tixotropía:** Es un ablandamiento dependiente del tiempo.
- **Reopexia:** Es un espesamiento dependiente del tiempo [31].
- **Fluidos Plásticos:** Son productos que mantienen su forma bajo la acción de la gravedad. Cuando actúan sobre ellos fuerzas suficientemente más grandes fluyen, casi como si fueran líquidos. Cuando la acción de la fuerza cesa, mantienen su forma y dejan de fluir. Es decir un producto plástico fluye cuando la tensión excede de un valor límite [29].

3.5.2 Modelos reológicos para fluidos no newtonianos

Los intentos de descripción con más éxito de la variación entre esfuerzo y velocidad de cizalla en estado estacionario de fluidos no newtonianos han sido fundamentalmente empíricos. Aunque existen teorías que intentan explicar el comportamiento observado experimentalmente, rara vez se dispone de un número suficiente de parámetros experimentales, y de relaciones entre ellos, que permita el desarrollo completo de la explicación del comportamiento reológico, basado en parámetros moleculares [28]. Los modelos se detallan en la figura 5.

Figura 5. Modelos reológicos



Fuente [29]

3.5.2.1 Modelo de Ostwald-de Waele o Ley Potencial [28]. Es un modelo de dos parámetros en el que k' y m son los índices de consistencia y flujo, respectivamente

$$\tau = k' \cdot \dot{\gamma}^m$$

- Si $m=1$, comportamiento newtoniano, donde $k'=\eta$.
- Si $m>1$, comportamiento dilatante.
- Si $m<1$, comportamiento pseudoplástico.

3.5.2.2 Modelos para fluidos estructurados.

- **Modelo de Carreau [28]**

$$\frac{\eta - \eta_\infty}{\eta_0 - \eta_\infty} = \frac{1}{\left[1 + (\dot{\gamma}/\dot{\gamma}_c)^2\right]^s}$$

Si $\eta_{\infty}=0$, se tiene una expresión útil para una sola zona de viscosidad newtoniana a baja $\dot{\gamma}$, quedando la expresión como sigue:

$$\frac{\eta}{\eta_0} = \frac{1}{\left[1 + (\dot{\gamma}/\dot{\gamma}_c)^2\right]^s}$$

Cuando $\dot{\gamma}$ tiende a 0, η lo hace a un valor límite η_0 , es decir, prevé un comportamiento newtoniano hasta una $\dot{\gamma}$ crítica ($\dot{\gamma}_c$). El parámetro s está relacionado con la pendiente de la región pseudoplástica.

- **Modelo de Cross** [28]. Este modelo tiene cuatro parámetros: η_0 y η_{∞} son las viscosidades en las zonas de baja y alta velocidad de cizalla, λ es una constante de tiempo característico igual al recíproco del valor de $\dot{\gamma}$ para el que $\eta=\eta_0+\eta_{\infty}/2$, y p es un parámetro de ajuste a dimensional.

$$\eta = \eta_{\infty} + \frac{\eta_0 - \eta_{\infty}}{1 + (\lambda\dot{\gamma})^p}$$

3.5.2.3. Modelos que predicen una viscosidad límite.

- **Modelo de Sisko** [28]. Este modelo tiene también tres parámetros ajustables: η_{∞} , k_s y n . Originalmente fue propuesto para describir el comportamiento de grasas a altas velocidades de cizalla. Ver figura 5.

$$\eta = \eta_{\infty} + k_s \cdot \dot{\gamma}^{n-1}$$

3.5.3 Reología de las emulsiones

La reología resulta una herramienta imprescindible a la hora de caracterizar las emulsiones alimenticias, que permite la vinculación de atributos de calidad con el comportamiento del sistema a nivel micro estructural [31,32, 33].

Debido a que la reología es la ciencia que estudia la relación entre las fuerzas aplicadas y el flujo de deformación de la materia [28]. La mayoría de los test reológicos envuelven la aplicación de una fuerza al material y medidas del flujo o cambios en la forma [34].

Un conocimiento de las propiedades reológicas de las emulsiones son importante por un número de razones; algunos de los atributos sensoriales de las emulsiones alimentarias están directamente relacionadas con estas (cremosidad, espesor, suavidad, untuosidad, fluidez, fragilidad extensibilidad y dureza). La vida útil de algunas emulsiones alimentarias depende de las características reológicas de las fases componentes.

Las emulsiones alimentarias pueden exhibir diferentes tipos de comportamiento reológicos incluyendo líquido, sólidos, plásticos y viscoelásticos [35]. Consecuentemente una variedad de métodos instrumentales se han desarrollado para caracterizar sus propiedades reológicas, los cuales varían acorde al tipo de deformación que se aplicara a la muestra (cizalla, compresión, elongación o alguna combinación).

Existen parámetros estructurales que ejercen una mayor influencia en la reología de las emulsiones [19] como son:

- **Concentración de fase dispersa:** En general, la viscosidad de una emulsión aumenta con la concentración de fase dispersa. La mayoría de las emulsiones diluidas presentan un comportamiento newtoniano. Sin embargo, a partir de una concentración crítica de fase dispersa, las gotas están altamente empaquetadas, de manera que debido a la proximidad entre las gotas entran en juego una serie de interacciones interparticulares, que determinan la dependencia de la viscosidad con la concentración de fase dispersa. Consecuentemente, emulsiones concentradas manifiestan un comportamiento no newtoniano y viscoelástico.
- **Tamaño y distribución de tamaños de gota:** El tamaño de gota afecta a la reología de la emulsión de diferentes formas. La viscosidad de emulsiones diluidas es independiente del tamaño de gota cuando no existen interacciones atractivas o repulsivas entre éstas. En cambio, en el caso de emulsiones concentradas, la naturaleza y la intensidad de las interacciones interparticulares dependen de éste [19].

- **Interacciones interparticulares:** La naturaleza y la magnitud relativa de las interacciones entre las gotas de una emulsión, tanto atractivas (van der Waals, hidrofóbicas, etc.), como repulsivas (principalmente, estéricas y electrostáticas), determinan, además de su estabilidad, su comportamiento reológico.

De esta forma, un pequeño incremento en las fuerzas de van der Waals que implique una atracción débil entre las gotas es deseable si conduce a la formación de un entramado estructural que estabiliza la emulsión y aumenta su viscosidad y su viscoelasticidad. Sin embargo, fuerzas de van der Waals más intensas conducen a la formación de agregados individuales, lo que es indeseable. En el límite (con fuerzas de van der Waals causando floculación extrema) el sistema puede desestabilizarse en dos fases, teniendo lugar la separación entre agregados y el líquido circundante, lo que conduce a una menor viscosidad y a veces a un comportamiento newtoniano.

- **Viscosidad de ambas fases:** Los efectos que producen las viscosidades de las fases continua y dispersa en la viscosidad global de la emulsión no son totalmente independientes. En algunos casos la capa superficial que rodea a las gotas hace que éstas se comporten como esferas rígidas, en cuyo caso, la reología de la fase dispersa ejerce una influencia insignificante en la reología de la emulsión [19]. En otros casos, la contribución de la película interfacial en el comportamiento reológico global puede llegar a ser predominante [19].

Pero, en general, las propiedades reológicas que influyen de mayor forma en las propiedades de las emulsiones son las relativas a la fase continua. De hecho, en muchos casos, la viscosidad de la emulsión es directamente proporcional a la viscosidad de la fase continua. Sin embargo, la inmovilización de flóculos de la fase dispersa o la adsorción de una cantidad significativa de emulsionante en la interfase es suficiente para alterar la viscosidad efectiva de la fase continua.

De esta forma, cualquier factor que influya en el comportamiento reológico de las fases y, más específicamente, sobre el grado de interacción entre ellas, ejerce una influencia significativa sobre las propiedades reológicas de la emulsión [19].

4 JUSTIFICACION

En los últimos años se ha visto un creciente interés por el desarrollo de emulsiones con pequeños diámetros de gotas [36, 37], estas han sido el objetivo de muchos estudios de investigación debido a que las propiedades que las caracterizan les proporcionan ventajas de las cuales carecen las emulsiones convencionales.

Los emulsionantes mas comunes usado en la industria de alimentos son las proteínas, tensoactivos de moléculas pequeñas y los fosfolípidos[19]; el desarrollo de emulsiones estabilizadas con proteínas que mejoran o confieren propiedades fisicoquímicas, ayudan a entender el comportamiento interfacial de absorción de proteínas, aclarando la relación entre las características interfaciales y las propiedades fisicoquímicas de la emulsión [25].

El hecho de que muchas proteínas puedan funcionar como agentes emulsionantes se debe a que son moléculas superficialmente activas, lo que le confiere habilidad para facilitar la formación de emulsiones aceite en agua (O/W), mejorando además su estabilidad y proporcionando propiedades fisicoquímicas deseables [25].

La capacidad de las proteínas para generar interacciones repulsivas (estéricas y electrostáticas) entre las gotas de aceite y forman una membrana interfacial que sea resistente a la ruptura juega también un papel importante en la estabilización de las gotas frente al a floculación y la coalescencia durante un almacenamiento prolongado [22, 27].

Las emulsiones alimentarias han sido tradicionalmente estabilizadas con proteínas de la yema de huevo (mayonesas, salsas para ensalada) [38, 39], sin embargo, algunos autores han investigado la capacidad emulsionante de ciertas proteínas, como posibles sustitutos de la yema de huevo con el fin de abolir la presencia de colesterol o el desarrollo de salmonella en los alimentos preparados en base a estos. [40, 41].

También es posible extraer fracciones específicas de proteínas que pueden ser utilizadas como ingredientes funcionales en alimentos [42, 43]. Entre este tipo de proteínas se pueden considerar tanto proteínas de origen animal como vegetal.

La estandarización garantiza la calidad, función y estabilidad de la emulsión, para esto se debe conocer cada uno de los componentes y las proporciones adecuadas de emulsificante que se deben utilizar para estabilizar una emulsión tipo aceite en agua ya que de estos factores dependerán las propiedades fisicoquímicas y reológicas del sistema emulsionado.

Muchos de los atributos sensoriales de las emulsiones alimentarias están directamente relacionados con sus propiedades reológicas, como la cremosidad o la fluidez, proporciona información acerca del producto las cuales se deben tener en cuenta al momento de diseñar las operaciones del proceso que dependen del modo en el que el alimento fluye a lo largo de un tubo o de la manera como se comporta cuando se agita [14].

5 OBJETIVOS

General

Estandarizar la emulsión alimentaria tipo aceite en agua (O/W) con proteína de Arenca (*Triportheus magdalenae*).

Objetivos Específicos

- Caracterizar fisicoquímica y bromatológicamente la Arenca (*Triportheus magdalenae*).
- Obtener el aislado proteico a partir de Arenca (*Triportheus magdalenae*).
- Caracterizar bromatológicamente el aislado proteico de Arenca (*Triportheus magdalenae*).
- Establecer la formulación de emulsión tipo aceite en agua (O/W) a partir de la proteína de Arenca (*Triportheus magdalenae*).
- Evaluar reológica y microscópicamente la emulsiones tipo aceite en agua (O/W) a partir de la proteína de Arenca (*Triportheus magdalenae*).

1. METODOLOGIA

6.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

El proyecto se llevo a cabo a través de una investigación científica de tipo experimental, ya que los resultados se obtuvieron de manera directa mediante ensayos (análisis y caracterización fisicoquímica, bromatológica y reológica), cuantitativa y cualitativa, aplicada a la elaboración de una emulsión alimentaria tipo aceite en agua (OW) estabilizada con proteína de arenca (*Triportheus magdalenae*).

6.2 MATERIALES

6.2.1 Arenca (*Triportheus magdalenae*)

Figura 2. Arenca (*Triportheus magdalenae*)



Fuente: Autores.

Como materia prima se ha utilizado la Arenca (*Triportheus magdalenae*), como se aprecia en la figura 2, adquirida en la ciénaga de Marialabaja en el departamento de Bolívar, empacada y transportada en cavas con hielo.

6.2.2 Aceite de palma

La fase oleosa utilizada en la emulsión fue Aceite de Palma comercial marca RICA PALMA, adquirido en un supermercado de la localidad; con el fin de procesar y caracterizar fluidos complejos alimentarios elaborados a partir de materia prima de la región Caribe, ya que el Aceite de Palma es ampliamente producido en

Latinoamérica, siendo el departamento de Bolívar el que ocupa el sexto lugar en áreas sembradas en Colombia [44].

Figura 6. Aceite comercial de palma



Fuente: Autores

6.2.3 Agua des-ionizada

El agua des-ionizada fue utilizada para la dilución de los reactivos, obtención de proteína y como fase continua de la emulsión; Esta fue adquirida en una farmacia química de la localidad.

Figura 7. Agua des-ionizada



Fuente: Autores

6.2.4 Reactivos

Se utilizaron diferentes tipos de reactivos químicos comerciales:

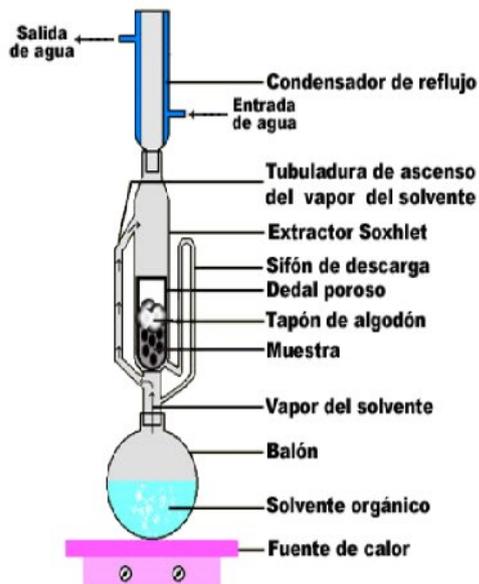
- Diferentes reactivos para la extracción de extracto etéreo como el éter de petróleo ($(\text{CH}_3)_3\text{COCH}_3$) por el método de Soxhlet, sulfato de sodio (Na_2SO_4) y de cobre (Cu_2SO_4) para método Kjeldhal.
- Reactivos para la modificación y ajuste de pH como el ácido acético natural ($\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$) y el hidróxido de sodio (NaOH) en disoluciones a diferentes concentraciones

6.3 EQUIPOS

6.3.1 Equipo Soxhlet

El equipo Soxhlet consta de un tubo extractor provisto de un sifón y una tubuladura lateral como se muestra en la figura 8.

Figura 8 .Equipo Soxhlet



Fuente: [45]

Dicho extractor está conectado por su extremo inferior, a través de uniones esmeriladas a un balón en el cual se coloca el solvente (generalmente éter de petróleo o éter etílico); mientras que en el extremo superior se ajusta un condensador vertical que actúa como refrigerante. En el tubo extractor se coloca un dedal poroso que contiene la muestra y permite la entrada del éter al tiempo que un tapón de algodón impide la salida del sólido.

El equipo se coloca en una fuente de calor a la temperatura de ebullición del solvente, el cual se evapora, asciende por la tubuladura lateral del extractor, se condensa en el refrigerante y cae sobre la muestra acumulándose en el tubo extractor y atravesando las paredes porosas del dedal para hacer contacto con la muestra y solubilizar las grasas presentes. [45]

6.3.2 Equipo Kjeldahl

Figura 9 .Montaje Kjeldahl



Fuente: Autores

El método Kjeldahl se basa en la destrucción de la materia orgánica con ácido sulfúrico concentrado, formándose sulfato de amonio que en exceso de hidróxido de sodio libera amoníaco, el que se destila recibiendo en [45]:

- Acido sulfúrico donde se forma sulfato de amonio y el exceso de ácido es valorado con hidróxido de sodio en presencia de rojo de metilo, o
- Acido bórico formándose borato de amonio el que se valora con ácido clorhídrico.

6.3.3 ph meter

Figura 10 pH-meter HANNA HI 9216



Fuente: Autores.

El pH-meter HANNA HI 9216 fue utilizado para la medición de pH al momento de la extracción de proteína.

6.3.4 Centrifuga

Figura 11 Centrifuga JOVAN B3ay11



Fuente: Autores

La centrifuga utilizada tiene 4 puestos y maneja una velocidad máxima de 4000rpm,

6.3.5 Homogeneizador

Los homogeneizadores permiten la reducción deseada del tamaño de gotas de la fase interna, haciendo pasar la emulsión bruta a gran velocidad a través de una abertura estrecha [27].

El Ultra Turrax IKA T10 es un homogeneizador tipo rotor- estator, las partes del equipo se muestran en la figura 12.

Figura 12 Homogenizador Ultra Turrax T10



Fuente: Autores

Debido a la alta velocidad de rotación del rotor, el medio para ser procesado se introduce axialmente en el cabezal de dispersión y luego forzado radialmente a través de las ranuras del dispositivo de rotor/estator.

Las elevadas aceleraciones actúan sobre el material produciendo extremadas fuerzas de cizalladura y de empuje. Además la alta turbulencia produce cizallamiento entre el rotor y el estator, lo cual provee un mezclado óptimo de la emulsión.

La eficacia de la dispersión depende en gran medida el producto del gradiente de cizallamiento y el tiempo en que las partículas pasan por la zona de cizallamiento.

El intervalo óptimo para la velocidad circunferencial del rotor/estator es 6 – 20 m/s; un tiempo de procesamiento de unos pocos minutos suele ser suficiente para

producir la finura deseada. Los largos tiempos de procesamiento trae solo insignificantes mejoras en la finura de obtener energías gastadas, sirve simplemente para aumentar la temperatura del medio.

Es un dispensador manual para volúmenes mínimos a partir de 0,5 - 100 ml con velocidades de 8000 – 30000 s⁻¹.

6.3.6 Viscosímetro

El viscosímetro Brookfield DV-E de la facultad de química de la Universidad de Cartagena mide el flujo de viscosidad con respecto a las velocidades de deformación aplicadas.

Figura 13 .Viscosímetro Brookfield DV-E.



Fuente: Autores

El principio de operación del viscosímetro DV-E es la rotación del eje el cual es inmerso en el fluido a medir, junto con el resorte de calibración. La resistencia viscosa del fluido en contra del eje es medido por el resorte de deflexión. El resorte de deflexión es medido con un transductor rotativo que proporciona una señal al par.

El rango de medida es en centipoises (cP) o mili Pascal (mPa.s), y es determinado por la velocidad rotacional del eje, el tamaño y la forma del eje en el cual se encuentra el eje rotativo, manejando una velocidad de 0,3 – 100 s⁻¹

6.3.7 Microscopio

Figura 14 Microscopio Leica DM 500



Fuente: manual

Los microscopios Leica DM500 y DM500 B son instrumentos ópticos que utilizan el aumento y la iluminación para mejorar la visibilidad de los objetos. Se lo emplea para observar y documentar pueden utilizarse únicamente en estancias cerradas y colocado sobre un suelo sólido y en salas blancas sin ningún inconveniente.

6.4 MÉTODOS

6.4.1 Análisis fisicoquímicos y bromatológico de la Arenca (*Triportheus magdalenae*)

El análisis físico de la Arenca (*Triportheus magdalenae*) se aplicara sobre los ejemplares por triplicado. Este análisis constara de:

- **Análisis de frescura:** Siguiendo los parámetros establecidos en la Tabla 3 se pueden identificar las características organolépticas que denotan el estado del pescado.

Tabla 3. Parámetros de Frescura de Pescado.

	Fresco	No fresco
Ojos	Llenos, saltones(convexos)	Semi-hundidos
	Cornea transparente	Cornea lechosa
	Pupilas negro brillante	Pupilas grises
Piel	Color fuerte, brillante	Color mate
	Moco transparente	Moco lechoso
Agallas	Rojo brillante	Amarillentos, grises
	Se ven las laminillas	Laminillas pegadas
	Sin moco	Moco lechoso
Carne	Azul luminoso	No transparente
	Firme y elástica	Blanda, fofa
	Corte liso	Corte áspero, granuloso
Olor	No molesto, a mar	Penetrante, a amoniac, amargo

Fuente:[45].

- **Medición de longitud** y determinación del peso unitario, porcentaje de musculo y visera, utilizando un calibrador y una balanza electrónica.

Se determinó el pH, la humedad, cenizas, extracto etéreo y proteínas de la Arenca (*Triportheus magdalenae*) mediante procedimientos descritos por la Association of Official Analytical Chemist. (AOAC, 1996) [46].

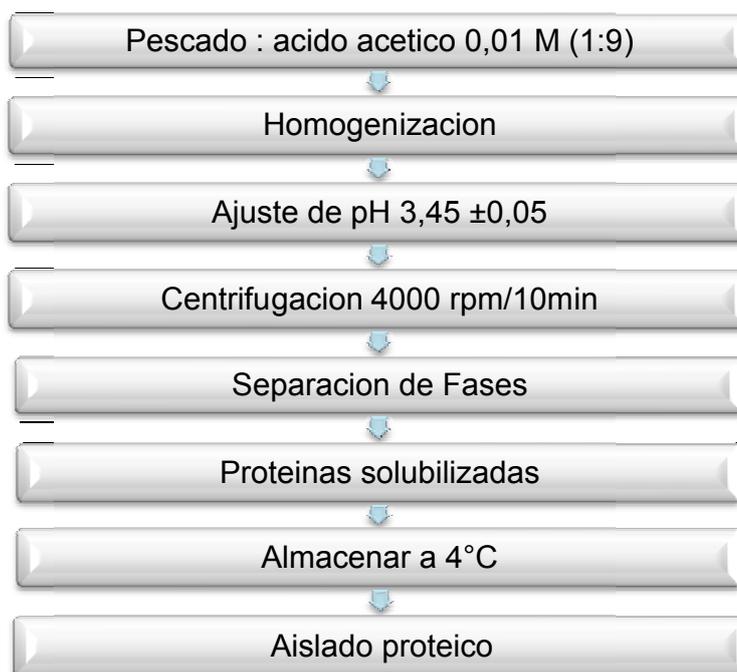
6.4.2 Obtención del aislado proteico.

Los concentrados proteicos pueden ser producidos por extracción de las muestras con agua acidificada (pH ajustado al punto isoeléctrico de la proteína), el cual remueve materiales como azúcares, algunas proteínas menores, sustancias de olor y sabor [47].

La extracción acuosa es seguida por centrifugación para separar las proteínas solubilizadas (sobrenadante) de la materia insoluble (precipitado). Una vez extraídas las soluciones proteicas deben mantenerse en frío para prevenir la desnaturalización, si la estructura nativa es requerida para la funcionalidad de la proteína. [47].

Las proteínas de pescado se obtendrán a partir de músculos de sardina de la variedad Arenca (*Triportheus magdalenae*), obtenidos en las cuencas del río Magdalena. El procedimiento de extracción y disolución de las proteínas se llevó a cabo siguiendo el procedimiento propuesto por [48] tal como se representa en la Figura 15, con algunas modificaciones:

Figura 15. Obtención del aislado.



Fuente: Autores

6.4.3 Caracterización bromatológica del aislado proteico de Arenca (*Triportheus magdalenae*)

Se determinó la humedad, extracto etéreo, cenizas y proteínas del aislado proteico obtenido de la Arenca (*Triportheus magdalenae*), utilizando técnicas descritas por Association of Official Analytical Chemist (AOAC, 1996) [46].

6.4.4 Formulación y estandarización de emulsiones

Se estandarizo la formulación de emulsión tipo aceite en agua (O/W) a partir de la proteína de Arenca (*Triportheus magdalenae*) previamente extraídas, aceite de palma comercial y agua destilada.

Se observó la influencia de dos factores:

- Concentración de aislado proteico
- Velocidad de emulsificación

Se realizo un diseño factorial $2^{3 \times 2}$ completo, los ensayos fueron realizados con una réplica para investigar las relaciones entre los diferentes tratamientos aplicados ya que este tiene como objetivo es determinar una comparación de niveles de los factores en la que el desempeño del proceso sea mejor [49, 50]

Usando una concentración de aceite constante de 40%, con respecto a los parámetros de visco-elasticidad; para los cuales se realizaron ensayos de viscosidad a 25°C.

Los niveles de los factores se muestran en la tabla 4.

Tabla 4. Niveles de los factores

Factores	Niveles	
	-1	+1
Concentración de aislado	2,5%	3,5%
Velocidad de emulsificación	12400	16800

Fuente: Autores

La cantidad de cada componente en cada muestra, y el orden de elaboración fueron analizados en el software estadístico Statgraphic Centurion [50]. Lo cual se ilustra en la tabla 5.

Tabla 5. Diseño de experimento

N° de experimento	Concentración de proteína	Velocidad
1	2.5%	16800rpm

Tabla 5. (Continuación)

2	3.5%	12400rpm
3	2.5%	12400rpm
4	3.5%	16800rpm
5	3%	12400rpm
6	3%	16800rpm

Fuente: Autores

La metodología a seguir para el proceso de emulsificación consistió en la adición lenta, durante aproximadamente 10 minutos, de la fase oleosa a una disolución acuosa de proteína a pH $4 \pm 0,02$, utilizando un emulsificador tipo rotor estator Ultra Turrax IKA T10 con un elemento dispersante S10N-10G. Las emulsiones obtenidas se conservaron en cámara de refrigeración a una temperatura de 4°C.

6.4.5 Ensayo reológico

Se realizaron ensayos viscosos a las emulsiones formuladas con el viscosímetro Brookfield DV-E con velocidades de deformación desde 5 a 100 rpm a temperatura de 25°C, con spindle N° 3 en 50 ml de la muestra.

6.3.6 Ensayo microscópico

Se observó la microestructura de las emulsiones en un microscopio Leica D500 con un objetivo de 10x acoplado con una cámara Casio EX-Z35.

7. RESULTADOS

7.1 CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y BROMATOLÓGICA DE LA ARENCA (*Triportheus magdalenae*)

7.1.1 Caracterización físicoquímica

La Arenca (*Triportheus magdalenae*) se adquirió en la ciénaga de Marialabaja en el departamento de Bolívar, fue empacada y transportada en cavas con hielo, los cuales presentaron las siguientes características:

- OJOS : ✓ Llenos saltones (convexos)
 ✓ Cornea transparente
 ✓ Pupilas negro brillante
- PIEL : ✓ Color fuerte, brillante
 ✓ Moco transparente
- AGALLAS: ✓ Rojo brillante
 ✓ Se ven las laminillas
 ✓ Sin moco
- CARNE : ✓ Firme y elástica
 ✓ Corte liso
 ✓ Gris luminoso
- OLOR : ✓ No molesto

Asegurando que la materia prima se encontrara en óptimas condiciones para su utilización.

En recepción cada Arenca (*Triportheus magdalenae*) pesó 106.47 ± 10.54 g, dando un rendimiento de $72,76\% \pm 1,53$ en músculos, $26,02 \pm 1,68$, y una longitud de $24,46 \text{ cm} \pm 3.7$, en comparación con la *Sardinella audita*, el cual es un pez pelágico, que mide entre $18,85 \text{ cm} \pm 0,51$ de longitud, tiene un peso promedio de $74,79 \pm 6,75$, y presenta un rendimiento de $58,33\%$ de músculos y $41,36\%$ en desperdicios [51, 52], además se determinó el pH $6,53 \pm 0,13$, evidenciando que los pescados se encontraban en recomendables condiciones para realizar los análisis; posteriormente se almacenó a -18 °C.

7.1.2 Caracterización Bromatológica

Con el objetivo de caracterizar bromatológicamente la materia prima, la Arenca (*Triportheus magdalenae*), se procedió a establecer su composición química (% base húmeda), los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 6; y se comparan con otras especies.

Tabla 6. Composición química porcentual de la Arenca (*Triportheus magdalenae*)

	Humedad	Proteína (Nx6,25)	Extracto etéreo	Cenizas
Arenca¹ (<i>Triportheus magdalenae</i>)	68,74 ±2,70	17,85±0,12	12,46±3,2	1,20±0,10
Sardina^[53] (<i>Sardinops melanosticta</i>)	70,0	15,9	12,8	--
Sardina^[51] (<i>Sardinella aurita</i>)	71,1	20,6	7	1,3
Tecnología de las proteínas del pescado^[53]	66-84	14-24	0,1-22	0,8-2

Fuente: autores

Se puede observar que el contenido de grasa se relacionó inversamente con la humedad; es decir, que cuando se tienen sardinas con porcentajes altos de grasa, presentará menor contenido de humedad. El porcentaje de extracto etéreo de la mayoría de los peces es bajo, esta varía en relación a la especie, edad, zona del cuerpo, ciclo sexual y alimentación [53]. Los pescados pelágicos como los arenques y las sardinas son muy grasos cuando están en condiciones óptimas [54].

El contenido de proteína tiende a ser del 18 por ciento en muchas especies (N x 6,25), por lo tanto se puede observar que obtenido en la Arenca (*Triportheus magdalenae*), está dentro del rango establecido con un valor de 17,85±0,12.

7.2 OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL AISLADO PROTEICO

A partir de la Arenca (*Triportheus magdalenae*), con un porcentaje de proteína de $17,85 \pm 0,12$ en base húmeda, se obtuvo un aislado con un contenido proteico en peso medio del $2,15\% \pm 0,16$, recuperando entre 72 - 90% de proteínas contenidas. En la tabla 7 se presenta los valores promedios de humedad, proteína, extracto etéreo y ceniza del aislado, presentando una mínima cantidad de grasa y ceniza.

Tabla 7: Composición proximal del aislado proteico de Arenca (*Triportheus magdalenae*)

	Humedad	Proteína (Nx6,25)	Extracto etéreo	Cenizas
Aislado proteico de Arenca¹ (<i>Triportheus magdalenae</i>)	92,36 ± 2,58	76,74 ^a ±5,86	0.053±3,37	0,16±1,15
Aislado de pescado ^[55]	77,2	16,7	1,3	4,8
^a porcentaje de recuperación				

Fuente: Autores

Para la extracción se solubilizaron las proteínas a un pH de $3,45 \pm 0,05$ caracterizándose por un aumento de la viscosidad de la mezcla de pescado y ácido acético hasta cuando se llegó al pH determinado.

Tras la centrifugación se observaron cuatro fases diferenciadas, la primera contenía lípidos, la segunda mayor contenido de proteína y las dos inferiores una masa blanda que contenía restos de piel espina y músculos; Utilizando la segunda fase para la elaboración e emulsiones.

Con esto corroboramos que los aislados de pescado pueden definirse como un producto semilíquido obtenido a partir de la totalidad del pescado entero o partes del mismo. Este estado se alcanza por efecto de las enzimas proteolíticas contenidas en el mismo pescado; Estas enzimas presentan su mayor actividad cuando el pH se reduce a valores cercanos a 4, por efecto de la producción o la adición de ácidos. A este pH se impide la descomposición del producto [55].

7.3 ESTANDARIZACION DE LA EMULSION ALIMENTARIA

Inicialmente se realizaron las formulaciones de las emulsiones basada en un diseño factorial 2^3 optimizado con el diseño Box-Behnken ya que son métodos de superficie de respuesta de un dominio esférico cuya propiedad más interesante es que cada factor solo tiene 3 niveles, son útiles para reducir la varianza del error experimental cuando el número de tratamientos es grande o cuando las condiciones experimentales impiden la ejecución de réplicas completas bajo circunstancias constantes. De manera que los efectos de los bloques no afectan las estimaciones de los parámetros para la ecuación de la superficie de respuesta, como se muestra en la tabla 8 los ensayos fueron realizados con una réplica y tres puntos centrales para estimar el error [50] usando el mismo protocolo de emulsificación descrito en la metodología para todos los experimentos.

Tabla 8. Diseño factorial 2^3 optimizado.

N° de experimento	Concentración de aislado proteína*	Concentración de Aceite	Velocidad de emulsificación
1	1.5%	40%	12400 rpm
2	2.0%	30%	12400 rpm
3	2.0%	40%	10200 rpm
4	1.5%	20%	12400 rpm
5	2.0%	30%	12400 rpm
6	2.5%	30%	10200 rpm
7	2.5%	40%	12400 rpm
8	1.5%	30%	10200 rpm
9	2.0%	30%	14600 rpm
10	2.0%	30%	12400 rpm
11	1.5%	30%	14600 rpm
12	2.0%	40%	14600 rpm
13	2.5%	20%	12400 rpm
14	2.0%	20%	10200 rpm
15	1.5%	30%	14600 rpm

*Referido al peso total de la emulsión.

Fuente: autores

Los resultados obtenidos durante la emulsión fue la mezcla de las dos fases inmiscibles dispersas en forma de pequeñas gotas, como se puede apreciar en la figura 16.

Figura 16. Emulsiones elaboradas con un Diseño factorial 2^3 optimizado

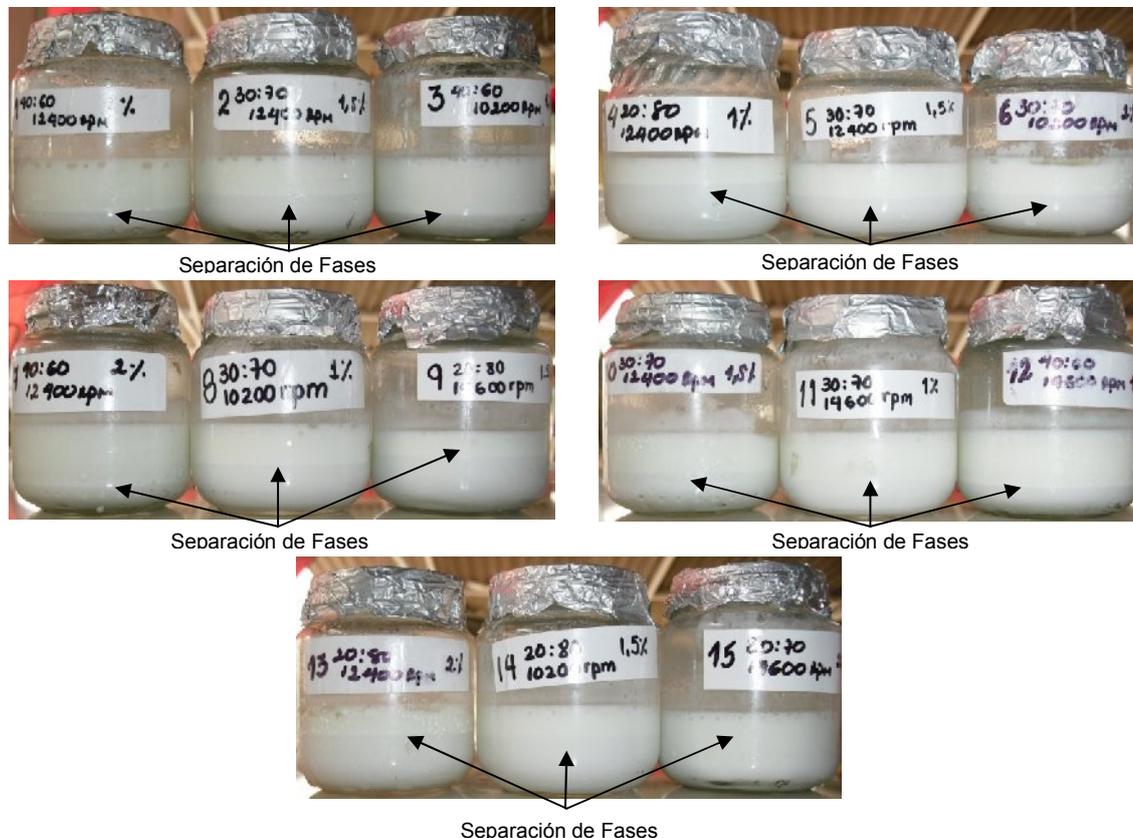


Fuente: Autores

Las emulsiones fueron guardadas en refrigeración a 4°C para su posterior análisis reológico, determinar el comportamiento del fluido y su caracterización micro estructural, los cuales no se llevaron a cabo debido a que se observó la separación de las fases denotando inestabilidad en el producto como se puede observar en la Figura 16

Con base a lo anterior se pudo concluir que las emulsiones con menor cantidad de aceite tendían a tener una mayor separación de las fases durante un periodo corto de tiempo en comparación con aquellos donde el contenido de la fase oleosa fue mayor, independientemente de la cantidad de proteína añadido, considerando que no se tenían antecedentes del comportamiento de la fase oleosa usada ya que en investigaciones anteriores utilizan es aceite de girasol debido a sus propiedades funcionales. Teniendo en cuenta que el carácter apolar influye en las propiedades interfaciales de los emulsionantes [18] por lo expuesto se procedió a formular y elaborar el diseño experimental con porcentajes de proteína superior a los anteriores (2,5 – 3,5%), con una concentración de aceite de 40% y diferentes velocidades de emulsificación, usando el mismo protocolo.

Figura 17. Emulsiones desestabilizadas.



Fuente: Autores

Al momento de estandarizar las emulsiones, el proceso de homogenización fue más efectivo con las nuevas formulaciones y se obtuvieron emulsiones estables, se procedió a almacenarlas en refrigeración, durante 24 horas para su posterior caracterización reológica y microscópica; como se puede observar en la figura 18.

Figura 18. Emulsiones estabilizadas.

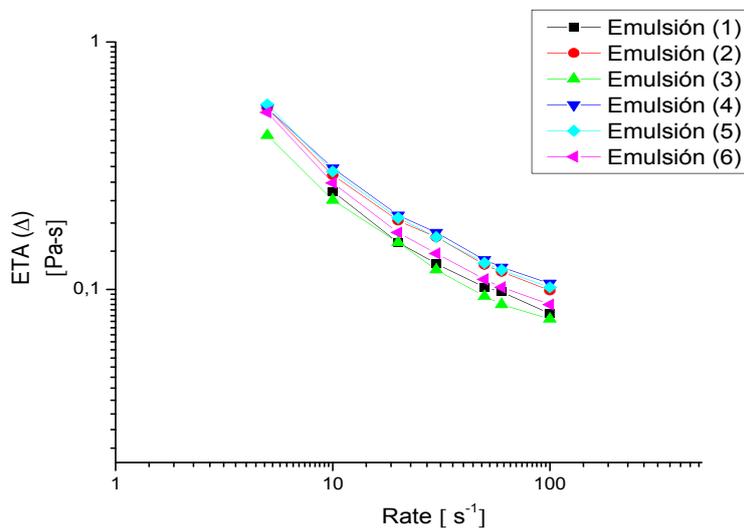


Fuente: Autores

7.4 CARACTERIZACION REOLOGICA

Se ha estudiado la variación de la viscosidad de la emulsión en función de la concentración de proteína y de la velocidad de emulsificación, a una temperatura de 25°C, después de haber transcurrido 24 horas de su elaboración, los resultados se muestran en la figura 19, mostrando claramente una disminución de la viscosidad a medida que aumenta la velocidad de deformación o cizalla en todas las emulsiones, donde se pudo definir este comportamiento característico de los fluidos No Newtoniano tipo pseudoplástico [28].

Figura 19. Grafica Viscosidad vs velocidad de deformación



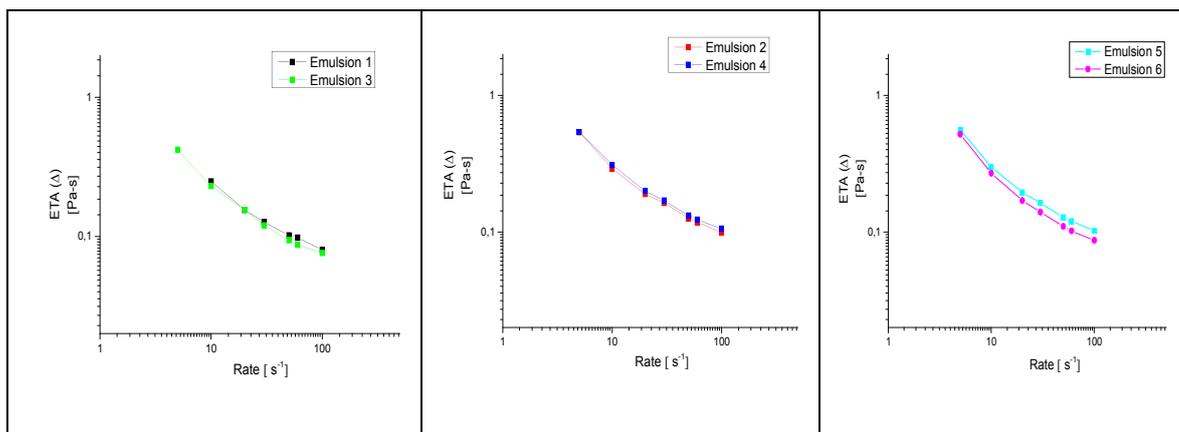
Fuente: Autores

Por otro lado, al ser las emulsiones estudiadas fluidos no Newtoniano la viscosidad no es constante, sino que es una viscosidad aparente, que depende de la velocidad de cizalla en cada momento. En todos los casos estudiados, la viscosidad disminuye al aumentar la velocidad de cizalla aplicada sobre cada una de las emulsiones.

Se realiza la comparación de los valores de viscosidad presentes en la figura 20, donde podemos apreciar que el comportamiento de las emulsiones 1 y 3 son similares debido a que se presenta una superposición en el comportamiento del

flujo que denota la misma variación de viscosidad aparente cuando se le efectúan iguales velocidades de deformación, igual es el caso para las emulsiones 2 y 4 mostrando que no existe influencia de la velocidad de emulsificación. Las emulsiones con concentraciones iguales de proteína; no presentaron el mismo comportamiento.

Figura 20. Comparación de viscosidad a concentración constante

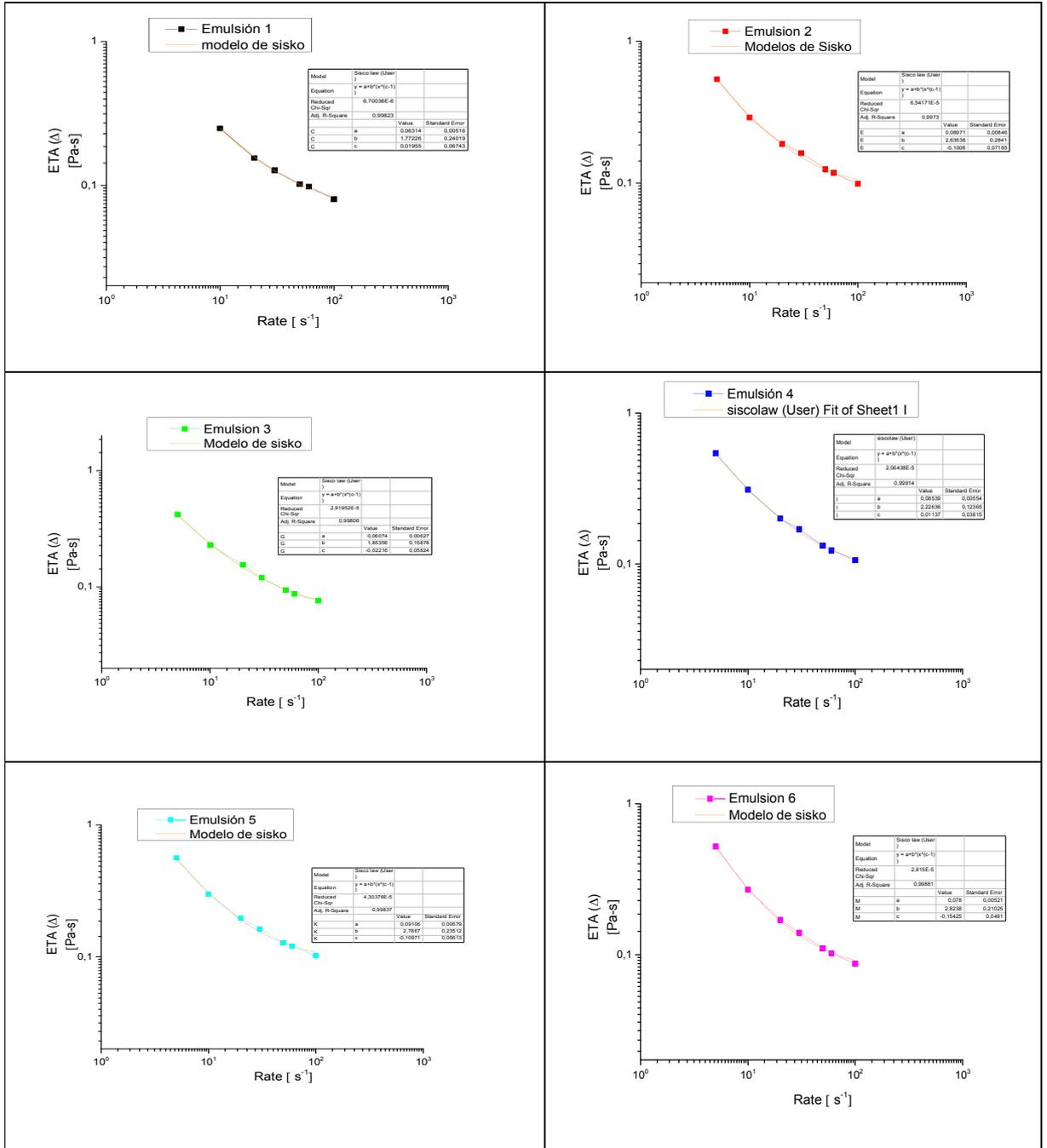


Fuentes: Autores

El comportamiento pseudoplástico en dispersiones proteicas se puede explicar a través de los siguientes fenómenos: la progresiva orientación de las moléculas en la dirección del flujo, de modo que se reduzca la resistencia por fricción; la deformación de la esfera de hidratación de la proteína en la dirección del flujo, si la proteína está altamente hidratada y dispersa; y la ruptura de los puentes de hidrógeno y otros enlaces débiles, lo que conduce a la disociación de los agregados o de las redes proteicas. El coeficiente de viscosidad de la mayor parte de los fluidos proteicos aumenta exponencialmente con la concentración proteica, debido a las interacciones proteína-proteína [56].

Debido a que las emulsiones presentaron comportamiento de fluidos pseudoplástico, se pueden emplear distintos modelos que permiten ajustar los datos experimentales de viscosidad frente a la velocidad de deformación, como se muestra en la figura 21, donde se puede observar el ajuste a los datos experimentales empleando el modelo de Sisko [57], usando el software OriginLab8,6.

Figura 21. Ajuste al modelo de Sisko Ecuación (1)



Fuente: Autores

La relación entre la variación de la viscosidad de las emulsiones en función de la velocidad de emulsificación presenta un incremento de la viscosidad aparente a medida que aumenta a velocidad de emulsificación, como se muestra en la figura 21 dicho modelo responde a una expresión como la que se muestra en la siguiente ecuación (1):

$$\eta = \eta_0 + \dots \quad (1)$$

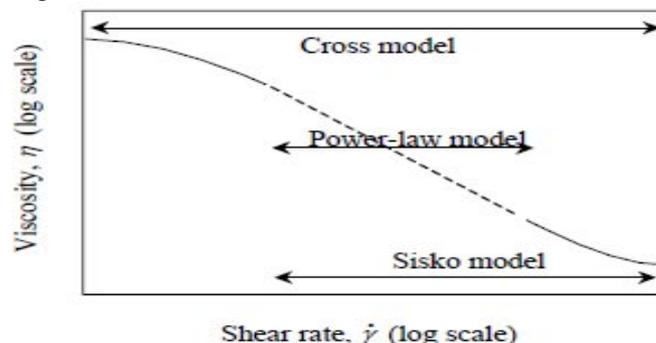
Donde η es la viscosidad, η_0 es el índice de consistencia, n es el índice de comportamiento y $\dot{\gamma}$ es la velocidad de deformación.

A muy bajos flujos de deformación, la viscosidad es constante, pero en algunos puntos comienza a decrecer, y por lo general entra a una región lineal en una grafica logarítmica, lo que indica el comportamiento de ley de potencia.

Esta disminución de la viscosidad con la velocidad de cizallamiento se llama adelgazamiento cortante, luego se puede observar los comienzos de un aplanamiento “*flattening out*”, y si se somete a una velocidad de corte alta entonces se verá una segunda región de viscosidad constante [59]

Se observó este comportamiento debido a el manejo de bajas velocidades de deformación ya que a veces la posición típica del comportamiento a lo largo del eje de la velocidad de deformación es demasiado bajo para recolectar los datos. Esta situación a veces surge cuando tanto el comportamiento en velocidades tanto alta como bajas son difíciles de ver y solo entonces se ve una parte del comportamiento del fluido [59], ver Figura 22

Figura 22. Modelo de fluidos No Newtoniano



Fuentes [59]

La ecuación (1) de Sisko describe el comportamiento del flujo de la mayoría de emulsiones y suspensiones en la práctica usando la velocidad de deformación de 0,1 a 1000 s⁻¹

Se llega a la conclusión que todas los resultados de los reogramas de flujos viscosos se ajustan al modelo de Sisko Ec.(1), los datos de ajuste se presenta en la tabla 9 con un margen de error de 0,1 y un ajuste aproximado a 0,997 de 1.

Tabla 9. Análisis de ajuste

Muestras	Ajuste R²
Emulsión 1	0,99823
Emulsión 2	0,9973
Emulsión 3	0,99806
Emulsión 4	0,99914
Emulsión 5	0,99837
Emulsión 6	0,99881

Fuente: Autores

7.5 ANALISIS MICROESTRUCTURAL

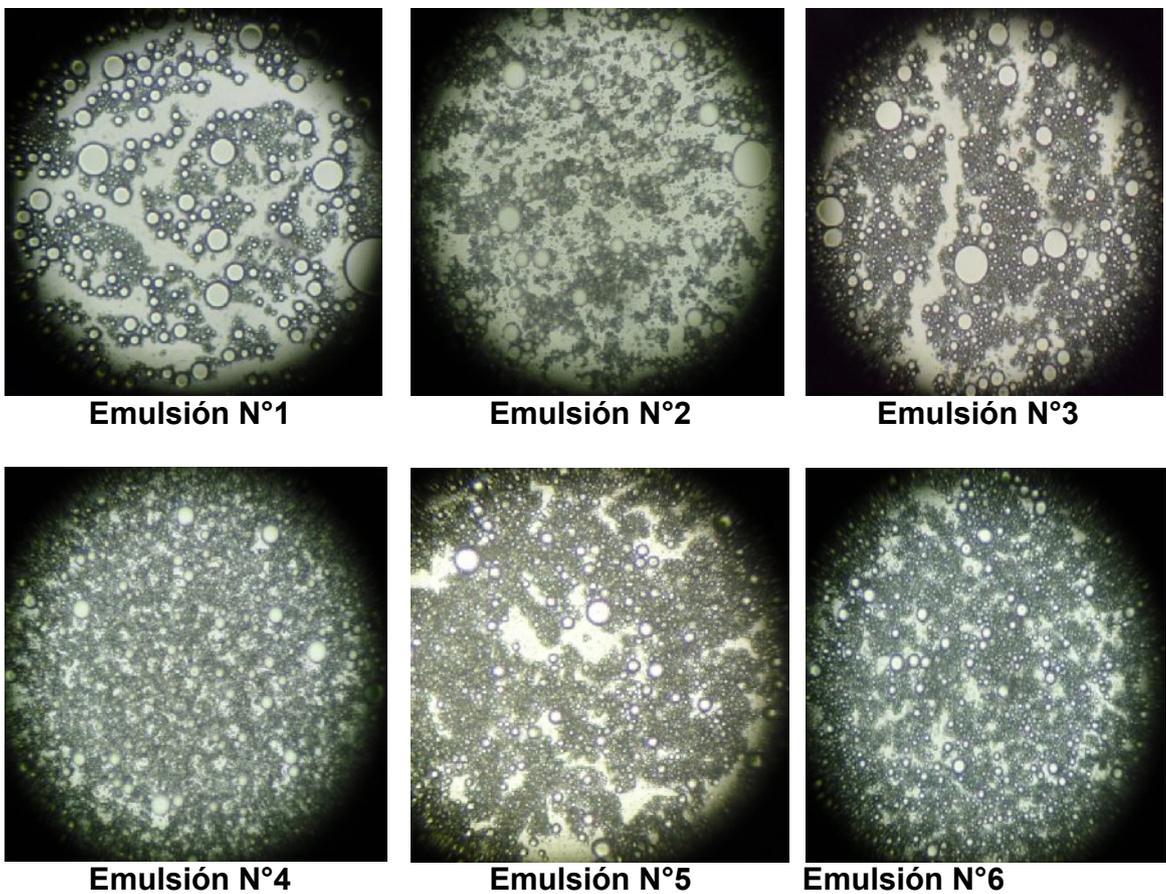
Los resultados de la caracterización microscópica de las emulsiones estabilizadas (figura 18) se observó la microestructura que presentaron las diferentes emulsiones, detallando principalmente la distribución y el tamaño de las gotas.

Realizando un análisis cualitativo como se observa en la figuras 22, se muestra que las emulsión N° 1 y N° 3 presentan la misma cantidad de proteína adicionada pero diferentes velocidades en el proceso de homogenización, por lo tanto se pudo concluir que la emulsión N° 3 presentó una mejor distribución de tamaño de gota, es decir, que a menor velocidad de homogenización la emulsión presentó mejor distribución de gotas,

En cambio, para las emulsiones N°2 y N4 que tenían porcentajes iguales de proteína adicionada y diferentes velocidades de homogenización, presentó que a mayor velocidad mayor distribución de tamaños de gotas. al igual que para las emulsiones N° 5 y N° 6.

Por otra parte, comparando las emulsiones N° 2, N° 3 y N°5, desde el punto de velocidad constante de homogenización la emulsión que tenía mayor cantidad de proteína presento mejor distribución de gotas; a diferencia de las emulsiones N° 1, N° 4 y N° 6 que se expusieron a mayor velocidad de homogenización, presentando la emulsión N° 4 con menor tamaño y mejor distribución de gotas. Con esto podemos concluir que a mayor cantidad de proteínas las emulsiones presentaran mejores resultados de estabilidad.

Figura 22. Análisis microscópico de las emulsiones



Fuentes: Autores

8. CONCLUSIONES

La Arenca (*Triportheus magdalena*) es una importante fuente de proteína, característica que la ubica como una materia prima adecuada para la obtención de aislado proteico. Debido que en la caracterización bromatológica mostro alto contenido de proteína y grasa los cuales fueron $17,85\pm 0.12$ y $12,46\pm 3.2$ respectivamente.

El aislado de proteína de Arenca (*Triportheus magdalena*) con contenido proteico en peso medio de 2.15 ± 0.16 , presento mejor estabilización en emulsiones que contenían mayor contenido de aceite.

Las proteínas obtenidas estabilizan emulsiones en porcentajes mayores a 2,5% referente al peso total de la emulsión utilizando concentraciones de aceite superiores a 40%, en las condiciones de formulación y procesado estudiadas, sin necesidad de adicionar ningún otro tipo de estabilizante o conservante.

El estudio reológico acerca de las emulsiones tipo aceite en a agua (O/W) estabilizadas con proteína de Arenca (*Triportheus magdalena*) permitió concluir que presentaron un comportamiento pseudoplástico en todas las emulsiones estabilizadas, además se ajustaron perfectamente al modelo reología de Sisko con un margen de error de 0,1 y un ajuste de la grafica de 0,99.

Al aumentar la concentración de proteína se produjo una reducción de tamaño de gota, de igual forma al incremento de energía suministrada al sistema. Lo anterior hace referencia, que la velocidad de emulsificación durante el procesado conduce a menores valores de los tamaños de gotas, donde la emulsión N° 4 con un mayor contenido de proteína presento una mejor distribución y tamaño de gota.

9. RECOMENDACIONES

- Realizar formulaciones de salsa para ensaladas, pastas para untar, aderezos entre otros productos.
- Determinar los aminoácidos que se encuentran en el aislado proteico de Arenca (*Triportheus magdalena*). Como también realizar la caracterización de las propiedades funcionales del aislado proteico de Arenca (*Triportheus magdalena*).
- Profundizar en la caracterización microscópica de la emulsión estabilizante de la proteína Arenca (*Triportheus magdalena*) para la determinación de tamaño exacto de gota de las emulsiones

Estas recomendaciones permitirán enriquecer las investigaciones de la línea de investigación IFCRA (Ingeniería de Fluidos Complejos y Reología de Alimentos) del Programa Ingeniería de Alimentos.

10. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] Dickinson E. Stainsby G. *Advances in food Emulsion and foams*. 1 ed. Londres y Nueva York: Elsevier Applied Science; 1988.
- [2] Marfisi V S. *Estabilidad de emulsiones relacionada con el proceso de deshidratación de crudos [tesis doctoral]*. Mérida: Escuela de Ingeniería de Química, Universidad de los Andes; 2005.
- [3] Maldonado J, Ortega A, Usma J, Vergara G, Villa-Navarro F, Prada S, Rodríguez C. *Peces de los andes de Colombia, diversa por naturaleza, Guía de campo*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos: Alexander von Humboldt; 2005.
- [4] Malababra M C. *Revisión of the Neotropical genus Triportheus Cope, (Characiformes: Characidae)*. *Neotropical Ichthyology*. 1872; 2 (4):167-204.
- [5] Miles C. *Peces de agua dulce del Valle del Cauca*. En: Maldonado J, Ortega A, Usma J, Vergara G, Villa-Navarro F, Prada S, Rodríguez C. *Peces de los andes de Colombia, diversa por naturaleza, Guía de campo*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos, Alexander von Humboldt. 2005.
- [6] Dahl G. *Los peces del norte de Colombia*. En: Maldonado J, Ortega A, Usma J, Vergara G, Villa-Navarro F, Prada S, Rodríguez C. *Peces de los andes de Colombia, diversa por naturaleza, Guía de campo*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos, Alexander von Humboldt. 2005.
- [7] Villa-Navarro F A, García-Melo L, García-Melo J, Briñez-Vasques N, P. Zúñiga-Upegui P. *Biodiversidad Faunística de la cuenca del río Coello*. En: Maldonado J, Ortega A, Usma J, Vergara G, Villa-Navarro F, Prada S, Rodríguez C. *Peces de los andes de Colombia, diversa por naturaleza, Guía de campo*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos, Alexander von Humboldt. 2005.
- [8] Miles C. 1947. *Los peces del río Magdalena («Afield Bock of Magdalena fishes»)* [tesis doctoral]. En: Maldonado J, Ortega A, Usma J, Vergara G, Villa-Navarro F, Prada S, Rodríguez C. *Peces de los andes de Colombia, diversa por naturaleza, Guía de campo*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos, Alexander von Humboldt. 2005.
- [9] Vollmer G. Josst G. Schenker D. Sturn W. Ureden N. *Elementos de bromatología descriptiva*. XXVIII. Zaragoza, España: Acribia; 1999.
- [10] Robinson D. *Bioquímica y valor nutritivo de los alimentos*. 1 ed. España: Acribia, 1991.

[11] Kinsella J E. Functional properties of food proteins: a review. *CRC Crit. Rev. Food Sci.* 1976; 7: 219.

[12] Damodaran S. Interrelationship of Molecular and Functional Properties of Food Proteins. En: *Food Proteins*; Kinsella J E, Soucie W G. American Oil Chemists' Society; 1989. p 21-51.

[13] Cheftel J C, Cuq J L, Lorient D. *Proteínas Alimentarias*. 1 ed. Zaragoza: Acribia; 1989.

[14] Bengochea C. Estudio reológico de emulsiones alimentarias estabilizadas con proteínas vegetales [tesis doctorado]. Sevilla: Departamento de Ingeniería Química, Universidad de Sevilla; 2006.

[15] Prilalov P L. Cold Denaturation of Proteins. *Biochemistry and Molecular Biology*. 1990; 25: 21 – 306.

[16] Badui S D. *Química de los Alimentos*. 4 ed. Addison Wesley Longman de México: Person Educación; 2006.

[17] Mason T G. New fundamental concepts in emulsion rheology. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*. 1999; 4: 231-238.

[18] Muñoz J. Alfaro M C, Zapata I. Avances en la formulación de emulsiones. *Grasas y Aceites*. 2007; 58 (1): 64 – 73.

[19] McClements D J. *Food Emulsions: Principles, 2 ed.* New York, Washington: Practice and Techniques. CRC Press; 1999.

[20] Ruiz Ramos J O. Caracterización reológica de emulsiones aceite en agua (o/w) estabilizadas con goma de mezquite y quitosano y su efecto en la permeabilidad de películas comestibles [tesis maestría]. México: Departamento de Ingeniería de Proceso e Hidráulica, Universidad Autónoma Metropolitana; 2004.

[21] Wilde P, Mackie A, Husband F, Gunnin P, Morris V. Proteins and emulsifiers at liquid interfaces. *Advance in Colloid and Interface Science*. 2004; 108-109: 63 – 71.

[22] Tcholakova S, Denkov N D, Ivanov I B, Campbell B. Coalescence in β -lactoglobulin-stabilized emulsions: effects of protein adsorption and drop size. *Langmuir*. 2002; 18: 8960 – 8971.

[23] Taylor P. Ostwald ripening in emulsions. *Colloids and Surfaces. A: Physicochemical and engineering Aspects*. 1995; 99: 175 – 185.

- [24] Farn R J. Chemistry and technology of surfactants. 1 ed. Oxford: Wiley-Blackwell; 2008.
- [25] McClements D J. Protein-stabilized emulsions. *Colloid and Interface Science*. 2004; 9: 305-313.
- [26] Walstra P. *Physical Chemistry of Foods*. 3 ed. New York: Marcel Decker; 2003.
- [27] Brennan J G, Butters J R, Cowell N D, Lilley A E V, *Las operaciones de la ingeniería de los alimentos*. 3 ed. Zaragoza, España: Acribia; 1998.
- [28] Macosko C W. *Rheology Principles, Measurements, and Applications*. New York: 1 ed. VCH Publishers; 1994.
- [29] Muller H G. *Introducción a la Reología de los Alimentos*. 1 ed. Zaragoza, España: Acribia; 1978.
- [30] López Castejón M L. *Estudio de comportamiento interfacial de películas de proteínas de interés alimentario: adsorción y caracterización reológica [tesis doctoral]*. Sevilla: Facultad de Química, Universidad de Sevilla; 2007.
- [31] Barnes H A. Rheology of emulsions: a review. *Colloids and Surfaces A*. 1994; 91: 89 – 95.
- [32] Lorenzo G, Zaritzky N, Califano A. Modeling rheological properties of low-in-fat o/w emulsions stabilized with xanthan/guar mixtures. *Food Research Internacional*. 2008; 41:487 – 494.
- [33] Aggarwal N, Sarkar K. Rheology of an emulsion of viscoelastic drops is steady shear. *J. Non – Newtonian Fluid Mech*. 2008;150: 19-36.
- [34] Whorlow R W. *Rheological Techniques*. 2 ed. New York, London: Toronto-Ellis Horwood; 1992.
- [35] Steffe J F. *Rheological methods in food process engineering*. 2 ed. MI, USA: Freeman Press; 1996.
- [36] Robins M M, Watson A D, Wilde P J. Emulsions-creaming and rheology. *Colloid and Interface Science*. 2002; 7:
- [37] Derkach S R. Rheology of emulsions. *Colloid and Interface Science*. 2009; 151: 1- 23.

- [38] Denmat M L, Anton M, Beaumal V. Characterisation of emulsion properties and of interface composition in O/W emulsions prepared with hen egg yolk, plasma and granules. *Food Hydrocolloids*. 2000;14: 539-549.
- [39] Horne D S. Protein-stabilized emulsions. *Colloid and Interface Science*. 1996; 1: 752-758.
- [40] Romero A, Cordobés F, Puppo M C, Guerrero A, Bengoechea C. Rheology and droplet size distribution of emulsions stabilized by crayfish flour. *Food Hydrocolloids*. 2008; 22: 1033-1043.
- [41] Gallegos C, Franco J M, Raymundo A. Sousa, Sousa I. Non-linear viscoelasticity modeling of vegetable protein – stabilized emulsions. 21 ed.; Barbosa: Engineering and food; 2002.
- [42] Chandi G K, Sogi D S. Functional properties of rice bran protein concentrates. *Journal of Food Engineering*. 2007; 79: 592-597.
- [43] Taherian A, Britten M, Sabik H, Fustier P. Ability of whey protein isolate and/or fish gelatin to inhibit physical separation and lipid oxidation in fish oil-in-water beverage emulsion. *Food Hydrocolloids*. 2011; 25: 868-878.
- [44] Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite. Bogota, Colombia. Disponible en: <http://www.fedepalma.org/palma.htm>
- [45] Zumbado H. Análisis Químico de los Alimentos Métodos Clásicos. Universidad de la Habana: Instituto de Farmacia y Alimentos; 2004.
- [46] Association of Official Analytical Chemist (AOAC). Official methods of analysis. 17th ed. Baltimore, MD; 1996.
- [47] Uzzan A. Vegetable proteins produced from seeds: technology and uses in the food industry. En: Hudson, B. J. F., ed. *Food Proteins-6*. Elsevier Applied Science. Londres; 1988. p. 73-118.
- [48] Ruiz Márquez D, Partal P, Franco J M, Gallegos C. Emulsiones alimentarias aceite-en-agua estabilizadas con proteínas de atún. *Grasas y Aceites*. 2010; 61 (4): 352-360.
- [49] Kuehl Robert O. *Diseño de Experimentos: Principios estadísticos para el diseño y análisis de investigaciones*. 2a ed. Mexico: Thomson Learning; 2000.
- [50] Gutierrez Pulido Humberto, De La Vara Salazar Roman. *Análisis y Diseño de Experimentos*. 2a ed. Mexico: Mc Graw Hill; 2004.

- [51] Cabello A M, Figuera E, Ramos M C, Villegas L. Nuevos productos pesqueros en la dieta del venezolano. FONAIAP divulga. 1995; (49): 19-23.
- [52] Delgado Bottini A, Valls Puig J, Gonzales Cantillo A. Evaluación física y química de la sardina (*Sardinella aurita*) durante su almacenamiento en hielo. Revista científica FCV-LUZ. 2001; XI (1): 22-29.
- [53] Suzuki T. Tecnología de las Proteínas de Pescado y Krill. 1a ed. Tokyo, Japan: Acribia; 1987.
- [54] Vaclavik Vickie A. Fundamentos de Ciencia de los Alimentos. Huesca, España. Acribia; 2002.
- [55] Bello Rafael. Experiencias con ensilado de pescado en Venezuela. En*: Figueroa Vilda, Sánchez Manuel. Tratamiento y utilización de residuos de origen animal, pesquero y alimenticio en la alimentación animal. Estudio FAO Producción y Sanidad Animal. Roma; 1997. p. 1-14.
- [56] Martínez Iriarte R M. Caracterización del comportamiento reológico de sopa crema orientada a control de calidad [tesis pregrado]. Valdivia, Chile, Universidad Austral de Chile; 2002.
- [57] Gómez Díaz D, Navaza J. M. Caracterización reológica de dispersiones agua-alginato sódico con aplicación en la industria alimentaria. Ciencia y Tecnología Alimentaria. 2002; 3 (005): 302-306.
- [58] Barnes Howard A, Handbook of elementary Rheology. Publisher: University of Wales, Institute of Non-Newtonian Fluid Mechanics; 2000.

11. ANEXOS

ANEXO 1

CARACTERIZACION FISICOQUIMICA Y BROMATOLOGICA DE LA ARENCA (*Triportheus magdalenae*)



Extracción de extracto etéreo



Extracción de proteína



Analisis de humedad



Analisis de ceniza

ANEXO 2

OBTENCION DEL AISLADO PROTEICO



Homogenización



Mezcla homogenizada



**Ajuste de pH con
pH-meter HANNA HI
9216**



**Acondicionamiento de la muestra a
centrifugar**



Centrifuga JOVAN B3ay11



Separación de fases



Aislado proteico

ANEXO 3

FORMULACION DE LA EMULSION



Homogeneizador Ultraturrax IKA T10



Emulsiones

ANEXO 4

CARACTERIZACION REOLOGICA



Viscosímetro Brookfield DV-E

ANEXO 5

EVENTOS ACADÉMICOS



VIII ENCUESTRO DEPARTAMENTAL DE SEMILLEROS DE INVESTIGACIÓN

Cartagena, **Junio 10 y 11 de 2011**
Universidad Antonio Nariño
Sede Cartagena



El Nodo Bolívar de la Red Colombiana de Semilleros de Investigación

HACE CONSTAR

QUE: Somarís Elena Quintana
En calidad de ponente

Asistió al VIII Encuentro Departamental de Semilleros de Investigación
Durante los días 10 y 11 de Junio de 2011

Cartagena de Indias D.T. y C.

Johon Gutierrez Jaraba
Director Universidad Antonio Nariño

Jerry Pardo
Delegado Institucional

VIII ENCUESTRO DEPARTAMENTAL DE SEMILLEROS DE INVESTIGACIÓN

Cartagena, **Junio 10 y 11 de 2011**
Universidad Antonio Nariño
Sede Cartagena



El Nodo Bolívar de la Red Colombiana de Semilleros de Investigación

HACE CONSTAR

QUE: Freiry Barrios Bello
En calidad de ponente

Asistió al VIII Encuentro Departamental de Semilleros de Investigación
Durante los días 10 y 11 de Junio de 2011

Cartagena de Indias D.T. y C.

Johon Gutierrez Jaraba
Director Universidad Antonio Nariño

Jerry Pardo
Delegado Institucional



EL SUSCRITO JEFE DEL DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIONES ECONÓMICAS
Y SOCIALES, DIES, DE LA FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS DE LA
UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

Hace Contar que:

La joven SOMARIS ELENA QUINTANA MARTINEZ, c.c. 1145.335.762 estudiante del programa de Ingeniería de Alimentos, asistió en calidad del *Powente* al XIV Encuentro Nacional y VIII Internacional de Semilleros de Investigación organizado por la Red Colombiana de Semilleros de Investigación, REDCOLSI, durante el pasado mes de octubre del año 2011 en la ciudad de Neiva.

La ponencia presentada se tituló "EMULSIONES ALIMENTARIAS TIPO ACEITE EN AGUA ESTABILIZADAS CON PROTEÍNA DE ARENCA (*Trisportheus magdalenae*)", la cual es el resultado de un proyecto de investigación llevado a cabo por el Semillero INGENIERIA DE FLUIDOS COMPLEJOS Y REOLOGIA DE ALIMENTOS - IFCRA

EDWIN PEREZ FUENTES

Jefe
Departamento de investigaciones Económicas y Sociales, DIES
Facultad de Ciencias Económicas
Universidad de Cartagena

"Siempre a la Altura del Tiempo"



Sede: Piedra de Bolívar, Av. El Comandante, Calle 14 N° 48-152
Teléfono: (5) 6734453 - (3) 6754454
E-mail: feconomeco@unicartagena.edu.co



EL SUSCRITO JEFE DEL DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIONES ECONÓMICAS
Y SOCIALES, DIES, DE LA FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS DE LA
UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

Hace Comar que:

La joven FREIRY DEL CARMEN BARRIOS BELLO, c.c.1050.952.702, estudiante del programa de Ingeniería de Alimentos, asistió en calidad del Ponente al XIV Encuentro Nacional y VIII Internacional de Semilleros de Investigación organizado por la Red Colombiana de Semilleros de Investigación, REDCOLSI, durante el pasado mes de octubre del año 2011 en la ciudad de Neiva.

La ponencia presentada se tituló "EMULSIONES ALIMENTARIAS TIPO ACEITE EN AGUA ESTABILIZADAS CON PROTEÍNA DE ARENCA (*Trispartitus magdalenae*)", la cual es el resultado de un proyecto de investigación llevado a cabo por el Semillero INGENIERIA DE FLUIDOS COMPLEJOS Y REOLOGIA DE ALIMENTOS - IFCA

DEWIN PEREZ FUENTES

Jefe

Departamento de investigaciones Económicas y Sociales, DIES
Facultad de Ciencias Económicas
Universidad de Cartagena



"Semos a la Abasco de los Tiempos"

Sede: Piedad de Bolívar, Av. El Comandante, Calle 10 N° 48-152.
Teléfonos: (5) 6734453 - (3) 6734454
E-mail: icesoc@unicartagena.edu.co