

**UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARÍA**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA Y AMBIENTAL**



“EFECTO DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA DE ESQUELÓN MOLIDO EN LA CAPACIDAD DE RETENCIÓN DE AGUA EN EL MÚSCULO DE SALMÓN”

**CRISTÓBAL ADOLFO HENRÍQUEZ SEPÚLVEDA**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL QUÍMICO

PROFESOR GUÍA: DR. SERGIO ALMONACID

PROFESOR CO-REFERENTE: ING. MARLENE PINTO

PROFESOR CO-REFERENTE: DR. MANUEL RUZ

Mar-2024

## Resumen

Dado que el aumento demográfico a nivel mundial implica una mayor demanda de alimentos, se presenta una oportunidad de mercado para Chile, el cual cuenta con una industria acuícola importante a nivel internacional, la cual es cercana al millón de toneladas en productos salmónidos. En su proceso para hacer filetes, se generan grandes cantidades de subproductos los cuales pueden ser ocupados para aumentar el valor de esta industria mediante el desarrollo de aditivos, del cual destaca el esquelón por su contenido de colágeno e hidroxapatita, siendo este último una fuente importante de calcio, el cual puede reincorporarse al filete, convirtiéndolo en un superalimento.

El objetivo del presente estudio es determinar el tiempo y las condiciones de operación de un molino planetario para obtener tres productos, cada uno con un diámetro medio de partícula del orden de 10  $\mu\text{m}$ , 1  $\mu\text{m}$  y 0,1  $\mu\text{m}$ , respectivamente, y determinar el efecto del tamaño de partícula en la capacidad de retención de agua (CRA). Esto consta de dos partes, la relativa a la elaboración del aditivo (la dispersión del hueso de salmón) y la determinación de la CRA en el músculo de salmón.

La preparación del aditivo desde el esquelón de salmón consta de tres etapas: la obtención del hueso, que consiste en descongelar el esquelón, triturarlo e hidrolizarlo obteniendo un caldo proteico y el hueso; la producción de la hojuela que parte con una cocción en una olla a presión para una posterior molienda con minipimer y un secado en horno, y la producción del aditivo, etapa que consta de uno más procesos de molienda con un molino planetario en medio seco y/o húmedo y una etapa intermedia de tamizado si se requiere.

Para el producto de tamaño grande, su diámetro medio de partícula (D50) fue de  $10,537 \pm 0,186 \mu\text{m}$  con un tiempo de operación de 10 [min] con una molienda en medio seco. El D50 del producto de tamaño intermedio fue de  $1,235 \pm 0,098 \mu\text{m}$  con una molienda seca de 5 [min] y 1 [h] en medio húmedo, mientras que para el producto de tamaño pequeño se consiguió un D50 de  $0,3998 \pm 0,013 \mu\text{m}$  con una molienda en medio seco de 2,5 [h] y una molienda húmeda por 2,5 [h].

En la determinación de la CRA, se realizó de forma indirecta midiendo la pérdida por cocción normalizada que es igual a la pérdida por cocción real de la muestra dividida por la pérdida por cocción de la muestra sin ningún ingrediente añadido. El aditivo con el tamaño de partícula mayor no tuvo ningún impacto. Para el tamaño intermedio y pequeño, el punto más bajo de las pérdidas por cocción normalizadas se alcanzó en la concentración del 3% de hueso, que fue del 88 y 74% respectivamente, los cuales aun así son altos comparados con el tripolifosfato de sodio que en su dosis permitida (0,5%) tiene un valor de 44%.

Se concluye que hay una tendencia a que al disminuir el tamaño medio de partícula del aditivo (D50) también disminuyen las pérdidas por cocción y, por ende, aumenta la CRA, aunque no pueden sustituir como agente retenedor de agua al tripolifosfato de sodio, este se puede usar como complemento. Para estudios posteriores, se recomienda utilizar tecnología de nano molienda para lograr tamaños más pequeños y/o reducir el tiempo de proceso.

## Abstract

Given that the global demographic increase implies a higher demand for food, a market opportunity arises for Chile, which has a significant aquaculture industry at the international level, close to a million tons in salmonid products. In its process for making fillets, large quantities of by-products are generated, which can be utilized to enhance the value of this industry through the development of additives, with the backbone standing out for its collagen and hydroxyapatite content, the latter being a significant source of calcium that can be reincorporated into the fillet, turning it into a superfood.

The aim of this study is to determine the time and operating conditions of a planetary mill to obtain three products, each with a mean particle diameter of approximately 10 [ $\mu\text{m}$ ], 1 [ $\mu\text{m}$ ], and 0.1 [ $\mu\text{m}$ ], respectively, and to assess the effect of particle size on water retention capacity (CRA). This consists of two parts, one related to the preparation of the additive (the dispersion of salmon bone) and the determination of CRA in salmon muscle.

The preparation of the additive from the salmon backbone consists of three stages: obtaining the bone, which involves thawing the backbone, grinding and hydrolyzing it to obtain a protein broth and the bone; the production of flakes starting with cooking in a pressure cooker for subsequent grinding with a hand blender and drying in an oven, and the production of the additive, a stage consisting of one or more grinding processes with a planetary mill in dry and/or wet conditions and an intermediate sieving stage if required.

For the large-sized product, its mean particle diameter (D50) was  $10.537 \pm 0.186$  [ $\mu\text{m}$ ] with an operating time of 10 [min] with dry milling. The D50 of the intermediate-sized product was  $1.235 \pm 0.098$  [ $\mu\text{m}$ ] with dry milling for 5 [min] and 1 [h] in wet conditions, while for the small-sized product, a D50 of  $0.3998 \pm 0.013$  [ $\mu\text{m}$ ] was achieved with dry milling for 2.5 [h] and wet milling for 2.5 [h].

In determining CRA, it was indirectly conducted by measuring the normalized cooking loss, which equals the actual cooking loss of the sample divided by the cooking loss of the sample without any added ingredients. The additive with the larger particle size had no impact. For the intermediate and small sizes, the lowest point of normalized cooking losses was reached at a 3% bone concentration, which was 88% and 74%, respectively, still high compared to sodium tripolyphosphate, which at its permitted dose (0.5%) has a value of 44%.

It is concluded that there is a trend that as the mean particle size of the additive (D50) decreases, cooking losses also decrease and, therefore, CRA increases, although they cannot substitute as water-retaining agents for sodium tripolyphosphate, it can be used as a supplement. For further studies, it is recommended to use nano milling technology to achieve smaller sizes and/or reduce processing time.

## Agradecimientos

En primer lugar, quiero reconocer y agradecer a Dios por acompañarme, no solo en este proceso, sino a lo largo de toda mi vida. Gracias al conocimiento del evangelio, tengo la certeza de que cada día puedo ser mejor que el anterior.

A mis padres, Álvaro y Carmen Julia, les agradezco todo el apoyo, ánimo y confianza que me brindaron al embarcarme en esta etapa universitaria. Sin su ejemplo y los principios con los que me educaron, no podría haber logrado nada de esto. Tal como dijo Nefi, yo también puedo decir: "Nací de buenos padres".

A mis amigos de esta etapa, Daniel, Emanuel, Joaquín y Matías, les agradezco su apoyo tanto emocional como académico, me ayudaron a retomar mi vida universitaria después de regresar de la misión. A Yanira y su familia, que siempre me recibieron en su hogar siempre que lo necesitaba, y a Felipe y su familia, que hasta el día de hoy me brindan un espacio en su casa para retomar y finalizar este proceso.

A todas las personas que conocí al ingresar y al regresar a la universidad, amigos de la universidad, de la iglesia y de hobbies, les agradezco por hacerme sentir parte nuevamente. A mis profesores y profesoras, les agradezco por el conocimiento y consejo que me brindaron. Al personal de aseo y mantenimiento de la universidad, que cada mañana me recibía con un saludo y una sonrisa, y en más de una ocasión me ayudaron a resolver algún problema.

A mis profesores de memoria, Sergio y Marlene, les agradezco todo su apoyo y guía durante este trabajo. Agradezco sus gestiones al conseguir los materiales que necesitaba, así como su consejo y conocimientos ante cualquier duda que surgía durante el desarrollo de este proyecto. A Franco, por todo su trabajo previo y disposición al enseñarme y explicarme el uso del molino y a todo el equipo del proyecto ANID PIA ACT 192162, les agradezco la confianza y el desafío de unirme a su investigación, donde pude desarrollarme profesionalmente adquiriendo habilidades para toda la vida profesional.

## Índice de contenidos

Resumen.....	1
Abstract .....	2
Agradecimientos.....	3
Índice de contenidos .....	4
Tablas.....	5
Figuras .....	6
1. Introducción y Objetivos .....	8
1.1. Introducción .....	8
1.2. Objetivos .....	9
1.2.1. Objetivo General:.....	9
1.2.2. Objetivos Específicos: .....	9
2. Antecedentes Generales .....	10
2.1. Industria Pesquera en Chile .....	10
2.2. Industria Salmonera en Chile.....	11
2.3. Filete de Salmon. ....	13
2.4. Uso de los Sub-Productos de la industria del salmón .....	13
2.5. Materia de descarte de la industria del salmón .....	14
2.6. Molienda.....	14
2.6.1. Caracterización de partículas.....	14
2.6.2. Medición del tamaño de Partículas (Jacob et al., 2019).....	17
2.7. Capacidad de retención de agua (CRA).....	20
3. Materiales y Métodos .....	21
3.1. Materia Prima .....	21

3.1.1.	Esquelón de salmón.....	21
3.1.2.	Filete de salmón.....	22
3.2.	Equipos.....	23
3.3.	Preparación del Aditivo .....	24
3.3.1.	Obtención de Hueso .....	24
3.3.2.	Producción de la Hojuela.....	25
3.3.3.	Producción del Aditivo.....	25
3.4.	Medición del tamaño de Partícula .....	26
3.5.	Determinación de la CRA en el músculo de salmón .....	26
4.	Resultados y Discusión .....	30
4.1.	Resultado de la medición de tamaños de partícula objetivos .....	30
4.1.1.	Tamaño promedio de partícula grande .....	30
4.1.2.	Tamaño promedio de partícula intermedia.....	32
4.1.3.	Tamaño promedio de partícula pequeña .....	34
4.2.	Resultado de la determinación de la CRA/Perdidas por cocción.....	36
5.	Conclusión y Recomendación.....	41
6.	Referencias .....	42
7.	Anexos .....	45
7.1.	Diámetros representativos ( $D_{50}$ ) de cada distribución.....	45
7.2.	Mediciones para calcular la pérdida por cocción normalizadas .....	45

## Tablas

Tabla 1.	Detalle del Desembarque total de Chile año 2022 (SERNAPESCA, 2023).....	10
Tabla 2.	Cosecha de Salmón Atlántico y Del Pacífico por Región en Toneladas (SERNAPESCA, 2023)....	12

Tabla 3. Presentación Tabular de datos de tamaño de partícula (Jacob et al., 2019). .....	16
Tabla 4. Propiedades del esquelón de salmón (Elaboración Propia).....	21
Tabla 5. Información nutricional del Filete de Salmón (Jumbo, 2008). .....	22
Tabla 6. Equipos utilizados durante el desarrollo del trabajo (Elaboración Propia). .....	23
Tabla 7. Cantidades de Aditivo en suspensión y Agua para los diferentes porcentajes en peso del hueso en el musculo de salmón.....	27
Tabla 8. Cantidades de Aditivo en polvo y Agua para los diferentes porcentajes en peso del hueso en el musculo de salmón.....	27
Tabla 9. Datos para medir la perdida por cocción normalizada .....	29
Tabla 10. Perdidas por Cocción Normalizada del Aditivo con D <sub>50</sub> 10,5 [μm].....	36
Tabla 11. Perdidas por Cocción Normalizada del Aditivo con D <sub>50</sub> de 1,2 [μm].....	36
Tabla 12. Perdidas por Cocción Normalizada del Aditivo con D <sub>50</sub> de 0,4 [μm].....	36
Tabla 13. Perdidas por Cocción Normalizada del Aditivo STPP.....	36
Tabla 14. Modelo ajustado de pérdida por cocción vs concentración para cada ingrediente en el músculo de salmón. ....	37
Tabla 15. Diámetros representativos (D <sub>50</sub> ) de cada medición. ....	45
Tabla 16. Mediciones de las muestras de D <sub>50</sub> de 10,5 [μm]. ....	45
Tabla 17. Mediciones de las muestras de D50 de 1,2 [μm].....	46
Tabla 18. Mediciones de las muestras de D50 de 0,4 [μm].....	46
Tabla 19. Mediciones de las muestras de STPP. ....	47

## Figuras

Figura 1. Principales Clientes de las Exportaciones de Salmón de Chile (CONSEJO DEL SALMÓN, 2023) .....	12
Figura 2. Presentación Grafica del tamaño de partícula (con triángulos azules la Frecuencia y círculos naranjas la Frecuencia acumulada) (Jacob et al., 2019).....	15

Figura 3. Representación gráfica de la distribución de intensidad, volumen e intensidad (Albornoz, 2022). .....	18
Figura 4. Configuración de molino planetario (Burmeister & Kwade, 2013).....	19
Figura 5. Diagrama de la producción de partículas de hueso de salmón de tamaño sub-micro. ....	24
Figura 6. Muestra cocida sobre el papel filtro.....	28
Figura 7. Esquema del proceso de centrifugado, (A) Tubo falcón preparado con el filtro y bolas, (B) Tubo falcón ya con la muestra en su interior, (C) Tubo falcón con la muestra después del centrifugado. ....	28
Figura 8. Distribución del tamaño de partícula en 5 [min] de molienda seca.....	30
Figura 9. Distribución Acumulada del tamaño de partícula en 5 [min] de molienda seca. ....	30
Figura 10. Distribución del tamaño de partícula en 10 [min] de molienda seca.....	31
Figura 11. Distribución Acumulada del tamaño de partícula en 10 [min] de molienda seca.....	32
Figura 12. Molienda húmeda desde la hojuela. ....	32
Figura 13. Distribución del tamaño de partícula en 1 [h] de molienda húmeda, pos molienda 5.....	33
Figura 14. Distribución acumulada del tamaño de partícula en 1 [h] de molienda húmeda, pos molienda 5.....	33
Figura 15. Distribución del tamaño de partícula en 2,5 [h] de molienda húmeda, pos molienda 7.....	34
Figura 16. Distribución Acumulada del tamaño de partícula en 2,5 [h] de molienda húmeda, pos molienda 7.....	34
Figura 17. Esquema de molienda para los diferentes tamaños objetivos.....	35
Figura 18. Pérdidas de Cocción en el músculo de salmón a diferentes concentraciones de hueso en la muestra o Tripolifosfato de sodio (STPP). Líneas continuas: el modelo respectivo de cada tamaño, Líneas discontinuas: los intervalos de confianza al 95%, Líneas roja: Punto de Perdida por cocción normalizada de la dosis permitida del STPP (Tripolifosfato de sodio). ....	38
Figura 19. Pérdidas por cocción del tamaño de partícula grande. ....	39
Figura 20. Pérdidas por cocción del tamaño de partícula intermedia.....	39
Figura 21. Pérdidas por cocción del tamaño de partícula pequeña. ....	40
Figura 22. Pérdidas por cocción del tripolifosfato de sodio (STPP). ....	40

# 1. Introducción y Objetivos

## 1.1. Introducción

Las Naciones Unidas estimaron que la población mundial aumentará 8.1 mil millones en 2025, dado el aumento sostenido en el crecimiento demográfico, se ve también aumentada la demanda de recursos alimenticios, para el año 2050, la población mundial alcanzará los 9.6 mil millones, un 34% más alta que hoy, y la mayoría del aumento ocurrirá en países en desarrollo y considerando las demandas de dietas ricas en proteínas y micronutrientes por parte de poblaciones con ingresos en aumento, los gobiernos de todo el mundo tendrían dificultades para satisfacer la demanda (Tripathi et al., 2019) por lo que el enfoque de la industria es el poder generar más alimentos y con un mayor aporte nutricional al mismo que tiempo que reduciendo la cantidad de residuos generados por estos.

Frente a esta oportunidad Chile, en especial con su industria acuícola, destaca a nivel mundial dado que su producción de salmónes esta cercano al millón de toneladas anuales (CONSEJO DEL SALMÓN, 2023), considerando que en el proceso de fileteado, un 50% el cual corresponde las espinas, piel, vísceras, cola y sangre, es descartado o utilizado para formulaciones en productos de consumo animal (Aspevik et al., 2016), por lo cual estos se pueden convertir en una fuente importante para el desarrollo de subproductos.

De entre los subproductos, destaca el uso del esquelón, cuyo porcentaje del peso del salmón es aproximadamente del 15%, y su estructura está compuesta por un 30% de colágeno y un 70% de hidroxapatita, un mineral rico en calcio. Dadas las necesidades nutricionales de la población, la cual actualmente está experimentando un déficit en la ingesta de calcio (Vizcarra et al., 2023), se busca aprovechar esta materia prima para desarrollar un esquema de producción de un aditivo y evaluar las propiedades y efectos de este en alimentos donde se pueda agregar el suplemento. Se destaca la capacidad de retención de agua (CRA), la cual es un indicador muy útil para evaluar la calidad de un producto cárnico como el filete de salmón.

Bajo este contexto, surge la iniciativa "Engineering, nutritional and organoleptic study in the incorporation of Salmon-frame calcium as nanobone particles into commercial products: Enhanced functionality of Salmon fillets" ACT192162 del Programa Investigación Asociativa (PIA), financiado por la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo de Chile (ANID). La iniciativa busca revalorizar el descarte de la industria salmonera, en específico, el esquelón de salmón. Según reportan Albornoz (2022) y Alvarado (2023) este proceso consta de una solubilización enzimática y micro y nano molienda, con el fin de aumentar la biodisponibilidad y funcionalidad del calcio. El objetivo final es lograr, mediante tecnología optimizada de inyección, filetes de salmón de mejor calidad al incorporar el calcio natural de los esquelones.

## 1.2. Objetivos

### 1.2.1. Objetivo General:

Medir y reportar el efecto del tamaño de partícula micro y sub-micro en la capacidad retención de agua (CRA) en músculo de Salmón.

### 1.2.2. Objetivos Específicos:

- Obtener y Reportar los distintos parámetros y variables en el molino planetario, tales como tipo de molienda (seca o húmeda), tamaño de bola, relación bola/hueso, hueso/agua y tiempo de molienda necesarios para alcanzar los tamaños de partículas característico ( $D_{50}$ ) requeridos: Grande, Intermedio y pequeño del orden de 10, 1 y 0,1 [ $\mu\text{m}$ ] respectivamente.
- Obtener y Analizar curvas de capacidad de retención de agua en el músculo de Salmón de los diferentes tamaños de partícula.

## 2. Antecedentes Generales

### 2.1. Industria Pesquera en Chile

Dada la geografía que presenta Chile en su territorio el cual posee una costa de 6.435 km dentro del continente, lo cual se corresponde en una superficie marítima de 3,68 millones de km<sup>2</sup> en su zona económica exclusiva (Gob, 2018), le genera una ventaja destacable para la industria pesquera nacional debió a extensión que posee para su capacidad productiva y la biodiversidad de especies marítimas que presenta a lo largo de su territorio.

Dicha capacidad productiva se traduce en el desembarque total que describe la suma de la cantidad desembarcada o cosechada durante el año producto de la actividad de los agentes extractivos artesanales, e industriales y las cosechas de centros de cultivo en toneladas. Esto es la suma del Subsector Artesanal, con el desembarque de las flotas artesanales, recolectores de orilla y áreas de manejo; Subsector industrial, con desembarque de Flota Industrial y buques fábrica o factoría; el subsector de Acuicultura, para las cosechas provenientes de centros de mar o en tierra (SERNAPESCA, 2023).

El desembarque total, acumulado a diciembre del año 2022 fue de 4.214.732 toneladas, lo cual representa un aumento del 8,2%, con respecto al año 2021. En términos de subsectores, el sector industrial (naves industriales y barcos fábrica) aportó con el 23% al desembarque total, con 979.573 toneladas, el sector artesanal con el 41%, con 1.710.983 toneladas, mientras que los centros de acuicultura aportan el 36% con 1.524.176 tonelada (SERNAPESCA, 2023).

En la Tabla 1 muestra el detalle de cada especie en toneladas del desembarque total en el año 2022.

*Tabla 1. Detalle del Desembarque total de Chile año 2022 (SERNAPESCA, 2023).*

<b>Especie</b>	<b>Desembarque total 2022 [Ton]</b>
Algas	479.597
Peces	3.096.605
Moluscos	561.672
Crustáceos	46.644
Otras Especies	30.214
<b>Total</b>	<b>4.214.732</b>

En relación con las exportaciones pesqueras y acuícolas hasta diciembre de 2022, el valor total alcanzó los US\$ 8.827,2 millones, reflejando un superávit del 25,4% en comparación con el año anterior. La cantidad exportada fue de 1,60 millones de toneladas, registrando un incremento del 6,4% respecto a diciembre de 2021. En cuanto a los productos congelados, Japón (27,3%) y Estados Unidos (21,8%) fueron los principales destinos, mientras que las exportaciones de fresco refrigerado se dirigieron principalmente a Estados Unidos (65,9%), Brasil (25,3%) y China (2,2%). (SUBPESCA, 2023).

## 2.2. Industria Salmonera en Chile

Data del siglo XIX los primeros intentos experimentales de la introducción del salmón en Chile, con reportes de 1885 sobre el ingreso de huevos de salmón y trucha y en 1905 con la primera importación de huevos de salmón del atlántico (*Salmo Salar*) y trucha arco iris (*Oncorhynchus Mykiss*).

En 1969 se formaliza a través de un programa la introducción al país del salmón de pacífico, gracias a un acuerdo entre la Agencia de Cooperación Internacional de Japón (JICA), la Asociación de Pesca de Japón y la Agencia Nacional de Pesca de Chile, lo cual fue el puntapié inicial para el desarrollo del industrial del salmón en Chile.

1976 se creó el Servicio Nacional de Pesca (Sernapesca), entidad estatal que fiscaliza la producción acuícola.

En la década de 1980, la salmonicultura experimentó un notable crecimiento, con un aumento significativo en la presencia de empresas y la producción. Se convirtió en una fuente importante de crecimiento económico y generación de empleo para el país, especialmente en las regiones del sur.

En los años 90, el crecimiento continuo llevó a la consolidación internacional del salmón chileno. La producción global se centró en países como Noruega, Escocia y Chile, adoptando un enfoque de acuicultura industrial. Siendo los principales consumidores los mercados principales en Estados Unidos y Japón.

En 2007, la industria salmonera sufrió un quiebre significativo debido al brote del virus ISA (anemia infecciosa del salmón), resultando en la suspensión del 60% de los centros de cultivo y afectando los empleos. A pesar de este golpe, la implementación de un nuevo marco regulatorio y la crisis generada por el ISA se convirtieron en una oportunidad para la industria. Esta situación condujo a un ciclo de recuperación, permitiendo la adopción de prácticas innovadoras y más seguras en la actividad productiva (CONSEJO DEL SALMÓN, 2020).

Actualmente esta industria se concentra el sur principalmente en la región de Los Lagos y Aysén como una participación en la cosecha del salmón atlántico del 40,39% y 39,09% y del salmón del pacífico del 73,72% y 26,13% respectivamente, el detalle en toneladas se puede ver en la Tabla 2.

Tabla 2. Cosecha de Salmón Atlántico y Del Pacífico por Región en Toneladas (SERNAPESCA, 2023).

Salmón	Los Lagos	Aysén	Resto de Chile	Total
Atlántico	306.531	296.669	155.753	758.953
Del Pacífico	178.339	63.212	353	241.904

Referente las exportaciones de salmón durante el año 2022 su valor fue de \$6.606 millones de Dólares, teniendo un alza 27,3% respecto al 2021, sus principales consumidores fueron Estados Unidos, Japón y China (véase Figura 1.) adicionalmente corresponde al 5,48% de las exportaciones totales de Chile, posicionándose en el tercer producto más importante dentro de las exportaciones, solo superado por el Cobre y el Litio (CONSEJO DEL SALMÓN, 2023).

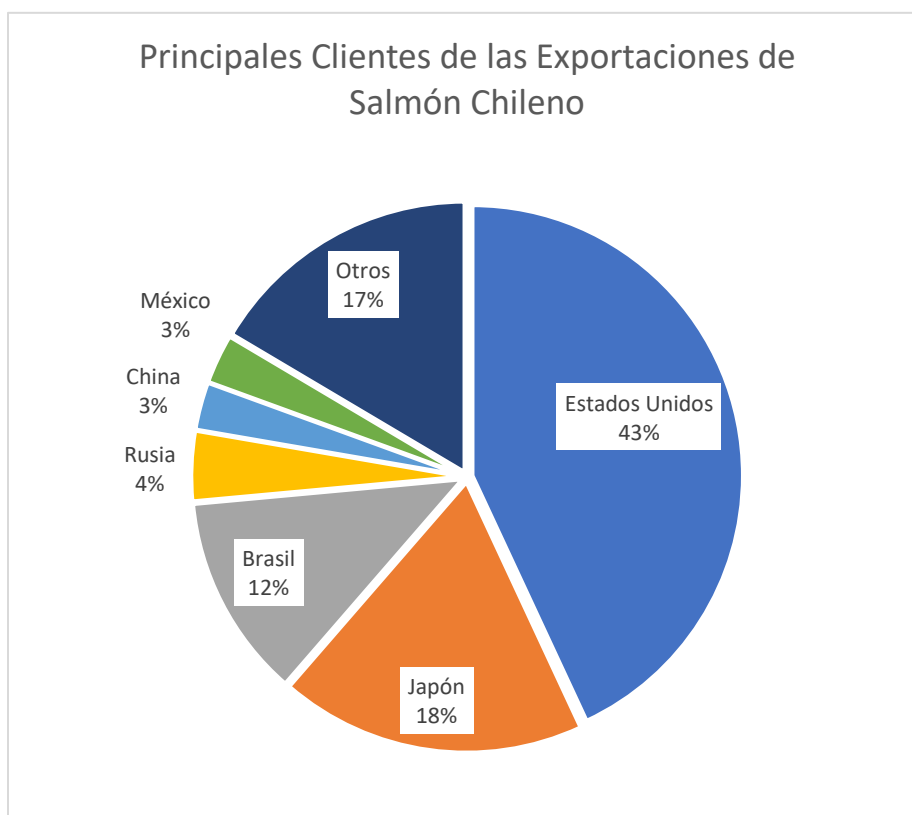


Figura 1. Principales Clientes de las Exportaciones de Salmón de Chile (CONSEJO DEL SALMÓN, 2023)

### 2.3. Filete de Salmon.

Dentro de los principales productos de la industria del salmón se encuentran los eviscerados, como salmones enteros, pero también destacan por sus cantidades significativas en ventas el Filete (Liaset et al., 2003). Para obtener dicho alimento se realizan con una serie de procesos los cuales lo preparan para su comercialización y posterior consumo. Alvarado (2023) detalla los principales puntos:

- **Recepción:** se lleva a cabo la recepción y verificación del estado de la materia prima.
- **Corte:** se realiza un corte ventral con el cuidado de evitar romper las vísceras del salmón.
- **Eviscerado:** se realiza la extracción de las vísceras del salmón en forma manual o mecánica.
- **Limpieza:** se procede a eliminar restos de las etapas anteriores.
- **Fileteado:** se realiza la eliminación de la cabeza y la cola del salmón, para obtener un par de filetes correspondientes a cada costado del salmón.
- **Extracción de espinas y piel:** se lleva a cabo la eliminación de las espinas que tiene el filete, y si es necesario se elimina la piel del salmón.
- **Porciones:** los filetes ya limpios son clasificados en porciones según el tipo de producto que se requiera.
- **Congelado:** el producto es embalado y sometido a una etapa de enfriamiento o congelado según lo requiera para su posterior almacenamiento.

Ahora bien, dado este proceso los subproductos corresponden al alrededor del 50% del peso total del pez (Aspevik et al., 2016), Los subproductos, actualmente destinados al desarrollo de alimentos para animales o desechados, generan problemas medioambientales y pérdidas económicas debido a su tratamiento y disposición. No obstante, podrían ser aprovechados ya que contienen proteínas y lípidos, constituyendo una valiosa fuente de nutrientes que pueden ser utilizados en la elaboración de productos alimenticios destinados al consumo humano (Hleap & Gutiérrez, 2017).

### 2.4. Uso de los Sub-Productos de la industria del salmón

- **Harina y Aceite de Salmón:**

La harina y el aceite se destacan como fuentes excepcionales de proteínas y lípidos, desempeñando un papel fundamental en la alimentación de la industria salmonera y pesquera en general. La harina cruda, obtenida mediante el proceso de secado y molienda del pescado, constituye un componente esencial en las dietas utilizadas en estas industrias. Por otro lado, el aceite surge como un subproducto durante la elaboración de la harina, según señalan Hleap y Gutiérrez (2017). Este aceite presenta un perfil lipídico saludable, caracterizado por proporciones equilibradas de ácidos grasos saturados e insaturados, así como la presencia de ácido eicosapentaenoico (EPA) y ácido docosahexaenoico (DHA). Estas cualidades hacen que tanto la harina como el aceite sean candidatos potenciales para integrarse como ingredientes en productos alimenticios fortificados, contribuyendo así a mejorar la calidad nutricional de los alimentos procesados. Además de su utilidad en la producción de piensos para la acuicultura, estos subproductos marinos ofrecen oportunidades valiosas para el enriquecimiento de diversos productos destinados al consumo humano (De la Fuente et al., 2022).

## 2.5. Materia de descarte de la industria del salmón

- **Esquelón de Salmón:**

En proceso de fileteado del salmón, que implica la separación de la cabeza, la cola y los costados, surge otro subproducto conocido como Esquelón. Este consiste principalmente en el esqueleto del salmón, con una cierta proporción de carne, representando aproximadamente el 10-15% del peso total del pescado. La composición de este subproducto es notable por su contenido de colágeno, que alcanza alrededor del 20%, así como por su abundancia de minerales, que comprenden entre el 60% y el 70%. Entre estos minerales, destaca la presencia significativa de hidroxapatita (HAP), caracterizada por su elevado contenido de calcio. Esta valiosa combinación de componentes hace que el Esquelón posea un potencial considerable como materia prima para la obtención de productos ricos en nutrientes, especialmente en el ámbito de la salud ósea y la suplementación dietética. Además de aprovechar eficientemente los recursos del salmón, este subproducto ofrece oportunidades innovadoras en la producción de ingredientes funcionales y beneficiosos para la salud. (Yin et al., 2016).

A través de un avanzado proceso de hidrólisis enzimática, que descompone las complejas cadenas de proteínas presentes en la carne en péptidos de diversos tamaños, se logra recuperar una fracción rica en calcio, 236,90 [mg/g] (Yin et al., 2016). Este procedimiento resulta en la obtención de una nueva categoría de subproducto el Hidrolizado de Salmón el cual consta de péptidos de alta calidad con diversas propiedades funcionales. Estos péptidos, derivados de la carne, presentan un potencial significativo como complemento y suplemento alimenticio para el consumo humano, brindando beneficios nutricionales y funcionales adicionales a la dieta (Valencia et al., 2021). Este enfoque innovador no solo contribuye a la eficiente utilización de los recursos cárnicos, sino que también ofrece una alternativa valiosa en la producción de ingredientes alimenticios saludables y versátiles.

## 2.6. Molienda

### 2.6.1. Caracterización de partículas.

- **Tamaño de partículas**

El concepto de tamaño de partícula se centra en las dimensiones físicas de las partículas individuales que constituyen una sustancia, y estas dimensiones pueden manifestarse de diversas maneras, incluyendo el diámetro, la longitud, el área superficial o el volumen de dichas partículas. La importancia de este parámetro radica en su papel crucial al definir los parámetros operativos en procesos de molienda, ya que influye tanto en la alimentación, el proceso y en el producto final que se busca obtener (Snow et al., 2001).

La diversidad de formas que pueden adoptar las partículas, generalmente de naturaleza irregular, complica la caracterización directa. En muchos casos, se recurre a aproximaciones que asumen que estas partículas poseen una forma esférica con un diámetro representativo. Sin embargo, este al ser un conjunto de partículas amplios y variados, se vuelve necesario trabajar con una distribución que refleje

el rango de tamaños presentes. Esta representación se conoce como la Distribución de Tamaño de Partícula (DTP), y es especialmente valiosa para comprender la heterogeneidad en el tamaño de las partículas en un sistema determinado. La DTP ofrece una visión más completa de la composición y variabilidad del tamaño de partícula, lo que es esencial para optimizar procesos industriales como la molienda.

- **Distribución de tamaño de partícula**

Como se mencionó en la sección anterior este método proporciona una visión detallada de la cantidad de partículas presentes en diferentes rangos de tamaños, expresada en términos de cantidad, masa o volumen. A través de este enfoque, es posible visualizar la variabilidad en los tamaños de las partículas y determinar dónde se concentra la mayor población de estas partículas en un sistema dado. Esta información se puede presentar de manera efectiva mediante tablas o gráficos (véase la Figura 2 y la Tabla 3).

Esta tabla se construye contabilizando el aporte a la cantidad total de partículas en cada rango de medición o clase (i), dato el tamaño representativo diámetro ( $x_i$ ) asociado a cada partícula, con lo cual se obtiene la frecuencia ( $\Delta Q_{r,i}$ ) y la frecuencia acumulada ( $Q_{r,i}$ ), el subíndice "r" hace referencia a la magnitud medida siendo el número de partículas, la longitud, la superficie, masa o volumen con los valores 0, 1, 2 y 3 respectivamente.

Con la información de la frecuencia acumulada se puede determinar de forma directa diámetros característicos como el D50, D3 y el D97 los cuales corresponden al diámetro bajo el cual 50%, 3% Y 97% de las partículas totales se encuentran, estos respectivamente se ocupan para caracterizar el diámetro medio, las partículas más finas y el de las más gruesa de la muestra.

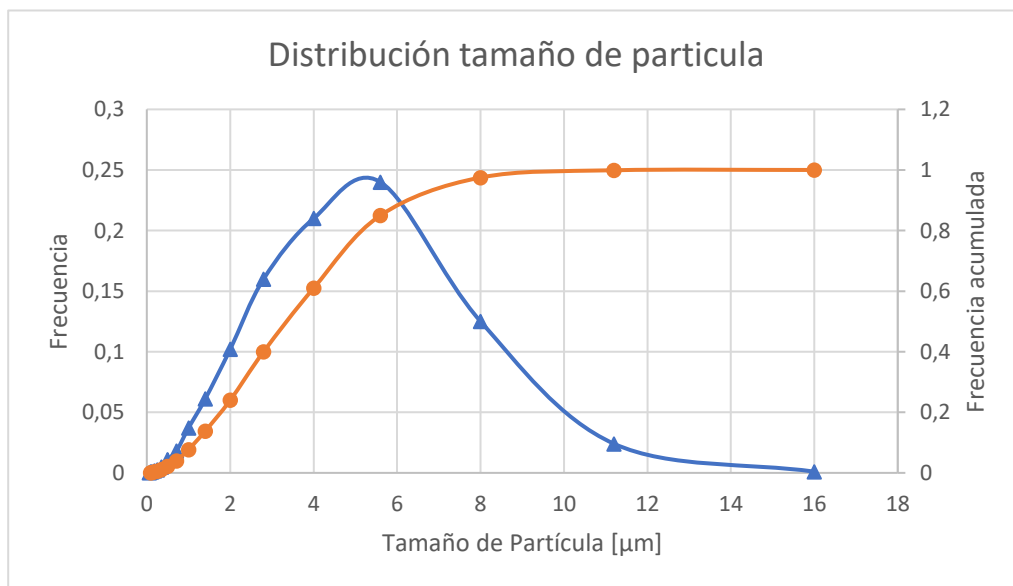


Figura 2. Presentación Gráfica del tamaño de partícula (con triángulos azules la Frecuencia y círculos naranjas la Frecuencia acumulada) (Jacob et al., 2019).

Tabla 3. Presentación Tabular de datos de tamaño de partícula (Jacob et al., 2019).

Clase	Diámetro	Frecuencia	Frecuencia Acumulada
$i$	$x_i$	$\Delta Q_{r,i}$	$Q_{r,i}$
[-]	[ $\mu\text{m}$ ]	[-]	[-]
0	0,063	0	-
1	0,09	0,001	0,001
2	0,125	0,0009	0,0019
3	0,18	0,0016	0,0035
4	0,25	0,0025	0,006
5	0,355	0,005	0,011
6	0,5	0,011	0,022
7	0,71	0,018	0,04
8	1	0,037	0,077
9	1,4	0,061	0,138
10	2	0,102	0,24
11	2,8	0,16	0,4
12	4	0,21	0,61
13	5,6	0,24	0,85
14	8	0,125	0,975
15	11,2	0,024	0,999
16	16	0,001	1

## 2.6.2. Medición del tamaño de Partículas (Jacob et al., 2019)

La investigación en el ámbito de la medición del tamaño de partículas es extensa, motivada principalmente por la diversidad y complejidad de las formas de las partículas. Esta complejidad se debe, en gran medida, a la amplia gama de tamaños que abarca desde nanómetros hasta milímetros. Las técnicas utilizadas para medir el tamaño de las partículas son diversas e incluyen métodos basados en observaciones microscópicas, velocidades de sedimentación, caracterizaciones mediante porcentajes pasantes a través de tamices.

Destacando entre las técnicas más modernas utilizadas para obtener distribuciones de tamaño de partículas se encuentra la interacción de la luz con dichas partículas. Este enfoque presenta la ventaja distintiva de ofrecer información de manera no invasiva, rápida y precisa en un amplio rango de tamaños. Dos métodos específicos que pertenecen a esta categoría son el análisis mediante difracción láser y el análisis basado en la dispersión dinámica de luz.

Cada uno de estos métodos proporciona una distribución del tamaño de partículas asumiendo que estas tienen una forma esférica, sin embargo, dado que en su mayoría las partículas no tienen esta forma, pueden surgir discrepancias entre los resultados obtenidos por diferentes métodos.

- **Difracción láser**

La técnica consiste en medir la dispersión de luz láser monocromática por partículas dispersas utilizando detectores posicionados en diferentes ángulos, principalmente en la dirección frontal. Las señales detectadas se convierten en una distribución de tamaños de partículas (DTS) mediante una matriz basada en modelos, que calcula las señales para partículas esféricas en diversas clases de tamaño. Se emplean modelos teóricos como Fraunhofer, difracción anómala y Mie. Este último requiere conocimiento del índice de refracción. Algunos instrumentos también consideran datos de diferentes longitudes de onda o polarizaciones. Se presupone que las partículas son esféricas, y para partículas no esféricas, se obtiene una distribución de diámetros equivalentes de dispersión de luz dependiendo de la orientación, el rango de medición va desde los 0,1 a los 3000 [µm] (Merkus, 2009).

- **Dispersión de Luz Dinámica**

En este método consiste en medir el movimiento browniano de las partículas en una muestra, interpretando luego el tamaño por la relación que existe por la ecuación de Stokes-Einstein, que la velocidad solo depende de la viscosidad del medio, temperatura y del tamaño de partícula.

Considerando que las partículas pequeñas se desplazan más rápidamente en un líquido que las más grandes. Al tomar dos instantáneas de la muestra con un breve intervalo de tiempo, se puede observar el movimiento de las partículas y calcular su tamaño. Si hay un movimiento mínimo entre las dos instantáneas, se puede deducir que las partículas son grandes, mientras que un movimiento considerable indica que las partículas son pequeñas. Este método ofrece una medida precisa del tamaño de partícula basada en la dinámica browniana, aprovechando la velocidad de movimiento de las partículas para inferir su tamaño con confiabilidad (Malvern Instruments, 2013).

- **Distribución de Intensidad, Volumen y Número.**

Los métodos utilizados para medir el tamaño de las partículas producen una distribución de intensidad, que ilustra cómo se dispersa la luz en relación con el tamaño de las partículas. Al analizar esta distribución, se determinan las distribuciones de volumen y número mediante la teoría de Mie el cual requiere conocimiento del índice de refracción y el índice del medio. La distribución de volumen evidencia el aporte de cada tamaño representado al volumen total, mientras que la distribución de números indica sobre la cantidad de partículas en relación con su tamaño característico.

En la Figura 3. se aprecia una distribución de tamaño de partícula en la que hay partículas de dos tamaños diferentes, a saber 5 y 50 [nm], en lo que respecta a la distribución numérica, ambos tamaños presentan peaks iguales. Sin embargo, la distribución del volumen cambia, dado que el peak en las partículas de 50 nm es significativamente mayor dado al mayor volumen que ocupan. Respecto a la distribución de intensidad, presenta una diferencia aun mayor en ambos peaks, que se explica mediante la aproximación de Rayleigh, que establece que la intensidad de la dispersión de la luz es directamente proporcional a la sexta potencia de su diámetro (Merkus, 2009).

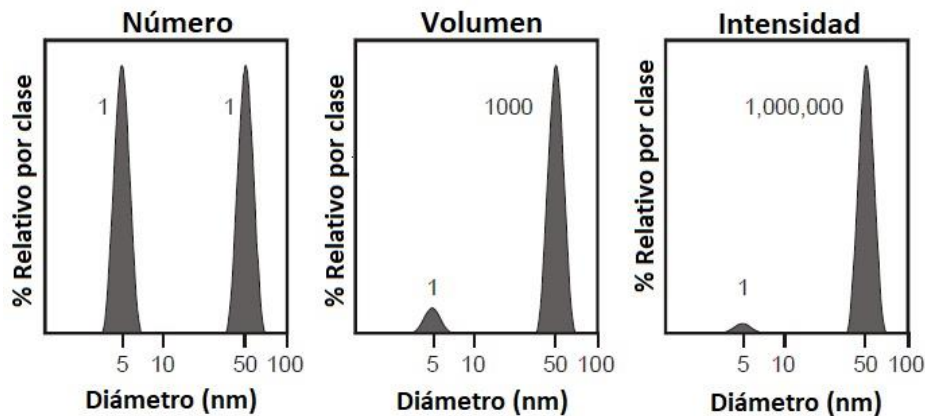


Figura 3. Representación gráfica de la distribución de intensidad, volumen e intensidad (Albornoz, 2022).

### 2.6.3. Reducción de tamaño de partícula.

La molienda es un proceso industrial que involucra la reducción de tamaño de partículas sólidas mediante la aplicación de fuerzas mecánicas. el objetivo de este proceso es obtener un material más fino o granulado. En el contexto de la industria, la molienda se utiliza comúnmente en la preparación de materias primas para la producción de alimentos, productos químicos, materiales de construcción entre otros. Este proceso puede llevarse a cabo mediante diferentes técnicas y equipos, como molinos, trituradoras y otros dispositivos mecánicos, dependiendo principalmente de la naturaleza del material y los requisitos de tamaño final deseado tales como el tamaño de partícula.

En el proceso de molienda se distinguen dos fenómenos que provocan una reducción de tamaño, el desaglomeración la cual consiste en la separación de varias partículas que están unidas, pero sin un daño a la estructura de las partículas primarias, mientras que la fractura provoca un quiebre en las partículas

primarias en piezas más pequeñas, la norma general es que en el rango cercano a los 10 [μm] existen algún tipo de fracturas mientras que en tamaños menores la molienda es solo por desaglomeración, adicionalmente hablando de escalas similares, la desaglomeración requiere menor energía que la fractura (Jacob et al., 2019).

Los procesos de molienda pueden variar el medio de dispersión, estos pueden ser en medio seco, con aire como dispersante o húmedo, ocupando un medio líquido, que la mayoría de los casos corresponde a agua, el medio depende plenamente del requerimiento que se tenga con el producto y/o el proceso, ya que el medio seco, con una alimentación constante tiene una menor velocidad de ingreso al molino frente al medio húmedo, en cambio también presenta un menor desgaste en las bolas dado que es un medio menos abrasivo, pero que para la misma distribución de tamaños se requiere de un 15-50% más de energía que la molienda en medio húmedo, independientemente del tipo de molino (Kumar et al., 2023).

Referente los alcances de la molienda, en medio seco pueden conseguir partículas de hasta cerca de 1 [μm] en procesos secos mientras que en medio húmedo se pueden llegar a obtener productos con un tamaño de 0,5 [nm] utilizando surfactantes adecuados además que presenta una distribución de partículas más uniforme en los rangos micro y submicro (Shemanski & Miranda, 2010).

- **Molino Planetario**

Los molinos de bolas planetarios se utilizan para realizar moliendas finas, logrando una reducción de tamaños de partícula que oscila entre los 10 [nm] y los 50 [μm] (Kumar et al., 2023). Este equipo sobresale frente a otros debido a su capacidad para replicar experimentos de manera precisa, su manejo seguro y sus tiempos de procesamiento cortos. Los molinos de bolas planetarios son conocidos desde hace más de cien años y típicamente cuentan con 2 o 4 frascos, ya que es necesario generar un contrapeso dado que el equipo consta de un disco que, rota alrededor de un eje central común, mientras que los recipientes giran simultáneamente alrededor de su propio eje. Esto provoca una alta velocidad de rotación tanto de los recipientes como del disco, lo que conduce a grandes energías de impacto de las bolas de molienda dentro de los recipientes para lograr un rendimiento de molienda efectivo (véase Figura 4). Los parámetros a considerar con respecto al proceso de molienda son: velocidad de revolución (RPM), tiempo de molienda, relación entre el tamaño y cantidad de bolas con respecto a la materia prima y, en caso de un medio húmedo, la relación entre el medio dispersante y las bolas. (Burmeister & Kwade, 2013).

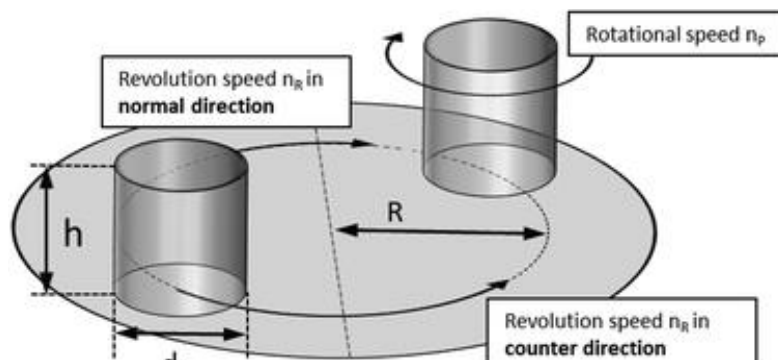


Figura 4. Configuración de molino planetario (Burmeister & Kwade, 2013).

## 2.7. Capacidad de retención de agua (CRA)

La capacidad de retención de agua (CRA) es la capacidad del tejido muscular para conservar el agua durante diversas etapas como el corte, calentamiento, molienda, prensado, transporte, almacenamiento y cocción, es un indicador de que tan fresco se mantiene el alimento. Una baja CRA conduce a un alto goteo y pérdida por fugas, afectando el peso y la calidad de la carne procesada esto afectando negativamente en la apariencia, desalentando al consumidor para comprar. Aunque las estructuras que afectan la CRA en carne cruda son bien conocidas, los mecanismos que influyen en la pérdida de agua durante la cocción son menos estudiados y diferentes (Hughes et al., 2014). Es un parámetro útil para evaluar la calidad de las proteínas. Para la industria este parámetro es de suma importancia ya que repercute directamente el valor de estos alimentos es proporcional a la masa que tienen, por lo actualmente se ocupan agentes que retiene el agua tales como la sal (NaCl) y fosfatos alcalinos como el tripolifosfato de sodio (STPP) siendo este último uno de los más utilizados en la industria cárnica el cual no puede usarse en cantidades mayores a 0,5% p/p (Nuñez S. M., 2020).

Se pueden utilizar varios métodos para medir la CRA. El primero fue desarrollado por Childs y Baldelli en 1934. En 1980 Børresen diseño un método para determinar la CRA, en el cual se somete una muestra de tejido muscular a centrifugación de alta velocidad para expulsar mecánicamente el agua retenida en la muestra. Este indicador se expresa como el porcentaje de agua retenida de agua (%CRA) presente en la muestra antes de la centrifugación, como se visualiza en la ecuación 1, donde  $W_i$  es el peso del agua presente antes de la centrifugación [g],  $W_r$  es el peso del agua retenida en la muestra después de la centrifugación [g],  $W_e$  es el peso del agua eliminada de la muestra durante la centrifugación [g],  $M_c$  es el peso de la muestra centrifugada [g],  $M_d$  es el peso seco de la muestra [g] (Almonacid et al., 2012).

$$\%CRA = \frac{W_r}{W_i} \cdot 100\% \quad 1$$

$$W_r = M_c - M_d \quad 2$$

$$W_i = W_r - W_e \quad 3$$

Una forma indirecta de estimar los efectos de la capacidad de retención de agua es con la denominada Pérdida por cocción normalizada ( $C_{loss}$ ), que es la pérdida por cocción real [g] de la muestra dividida por la pérdida por cocción de la muestra sin ningún ingrediente añadido [g] (Nuñez S. M., 2020).

La ecuación 4 muestra el modelo general, donde  $C_{loss}$  es la pérdida por cocción normalizada (la fracción entre la pérdida por cocción real y la pérdida por cocción de la muestra sin ningún ingrediente añadido); "I" es la variable independiente (concentración del aditivo); " $C_e$ " es la pérdida por cocción mínima alcanzable y "k" es una constante del modelo, esto con el fin de describir mejor y observar el comportamiento continuo de la pérdida por cocción en función de la concentración del aditivo

$$C_{loss} = (1 - C_e) \cdot e^{-k \cdot I} + C_e \quad 4$$

### 3. Materiales y Métodos

#### 3.1. Materia Prima

##### 3.1.1. Esquelón de salmón

El hueso presente en el esquelón es aproximadamente un 37% de la materia total, siendo el 63% restos del músculo. El origen de estos esquelones son de la empresa salmonera Fiordo Austral, como subproducto de su proceso se fileteado.

La Tabla 4 se realiza el desglose de la composición del esquelón.

*Tabla 4. Propiedades del esquelón de salmón (Elaboración Propia).*

Componente	Valor	Unidades
Materia grasa	23	[g/100g]
Azúcares totales	<2,07	[g/100g]
Cenizas	0,07	[g/100g]
Energía	271	[Kcal/100g]
Hidratos de carbono totales	0,07	[g/100g]
Humedad estufa al vacío	53,05	[g/100g]
Proteínas	15,83	[g/100g]
Sodio	130	[mg/100g]

### 3.1.2. Filete de salmón

El filete de salmón, una vez triturado, corresponde la matriz a la cual se medirá las pérdidas por cocción, este se adquirió como una compra directa al supermercado Jumbo.

La muestra la información nutricional del filete.

*Tabla 5. Información nutricional del Filete de Salmón (Jumbo, 2008).*

Componente	Valor	Unidades
Energía	208	[Kcal/100g]
Proteína	204	[g/100g]
Grasa	13,4	[g/100g]
Grasa Saturada	3,1	[g/100g]
Grasa Monoinsaturada	3,8	[g/100g]
Grasa Poliinsaturada	3,9	[g/100g]
Grasa Trans	0	[g/100g]
Colesterol	55	[mg/100g]
Hidratos de carbono disponibles	0	[g/100g]
Azúcares	0	[g/100g]
Sodio	59	[mg/100g]

### 3.2. Equipos

En la tabla a continuación se detalla los equipos principales con los que se realizaron los experimentos, mediciones y análisis en el laboratorio.

*Tabla 6. Equipos utilizados durante el desarrollo del trabajo (Elaboración Propia).*

Etapa	Equipo	Marca, Modelo, País
Obtención del Hueso	Picadora de carne	Talsa C15 IPS Italia
	Moledora de carne	Omea, TL32, Italia
	Baño termorregulado	Thermo Fisher Scientific, Haake S21P, Estados Unidos
Molienda Fina y Ultrafina	Molino Planetario	Retsch PM 100, Alemania
	Horno de bandejas	Memmert, UFB-400, Alemania
	Balanza	Multifunctional electronic balance, JD400-3, China
Medición del tamaño de partícula	Sonicador	QSonica, Q700, Estados Unidos
	Analizador tamaño de partículas por difracción laser	Dandong Bettersize Instruments Ltd., BT-9300H, China
	Analizador de tamaño de partículas por dispersión dinámica de luz	Malvern Instruments Ltd., Zetasizer Nano ZS90, Reino Unido
Medición Perdidas por Cocción	Balanza	Boaco, BAS 31 plus, Alemania
	Baño termorregulado	Memmert, WNE 7, Alemania
	Centrifuga	Orto alresa, consul 22, España

### 3.3. Preparación del Aditivo

El procedimiento para obtener el aditivo se puede visualizar en Figura 5, este consta de tres partes la obtención del Hueso (sección azul), la producción de la Hojuela (sección verde) y la producción del Aditivo de hueso de salmón (sección naranja), esta metodología está basada en las indicaciones de Yin et al. (2016) y los experimentos reportados por Albornoz (2022) y Alvarado (2023).

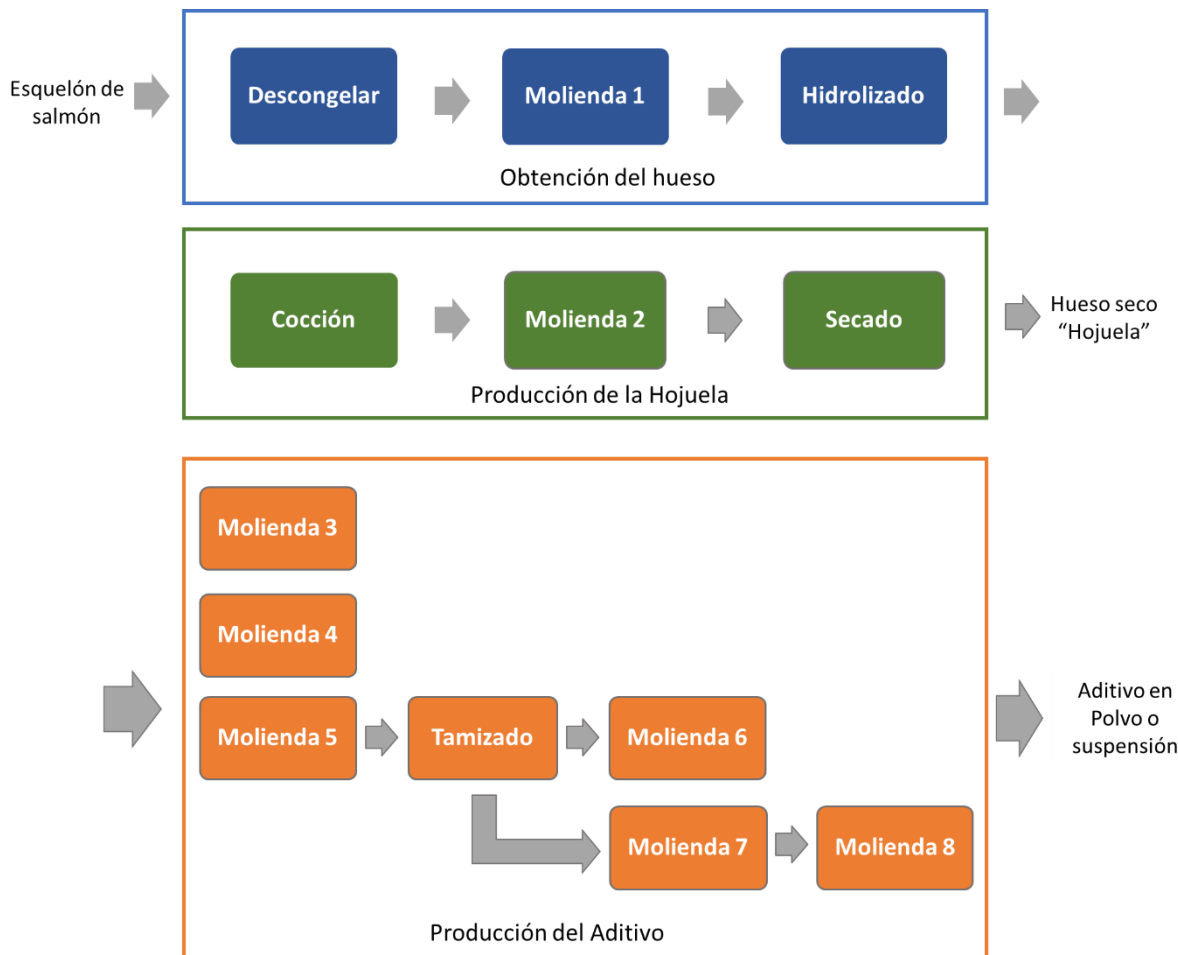


Figura 5. Diagrama de la producción de partículas de hueso de salmón de tamaño sub-micro.

#### 3.3.1. Obtención de Hueso

- **Descongelar:** los esquelones dejan descongelando a temperatura ambiente.
- **Molienda 1:** mediante una picadora de carne de cuchillas (Talsa, C15 IPS, Italia) y una moledora de carne (Omea, TL32, Italia) con lo cual se obtiene una pasta de esquelón de salmón que es almacenado y conservado a  $-18^{\circ}\text{C}$ .
- **Hidrolisis:** La hidrólisis enzimática con la pasta a utilizando un vaso precipitado de 2 [L] como reactor inmerso en un baño termorregulado (Thermo Fisher Scientific, Haake S21P, Estados Unidos) a 55

[°C] y agitación mecánica por el periodo de 1 hora, usando la enzima comercial Alcalase 2.4L FG como catalizador de la reacción con una concentración de 13 [mUA/g]. El producto obtenido consta de una mezcla de aceite, proteínas y hueso, el cual es separado y lavado con agua potable y destilada para obtener un hueso limpio y claro, el cual, tal como la pasta es almacenada y conservado a temperaturas bajo 0 [°C].

### 3.3.2. Producción de la Hojuela

- **Cocción:** La etapa de cocción donde se mezcla con agua de agua destilada en una proporción de 0,4 kg de hueso por 1 [L] en una olla a presión (NEX, ST0100I20, Estados Unidos) durante 1 hora a 121 [°C], esto con el propósito de ablandar el hueso.
- **Molienda 2:** hueso recuperado se le realiza una molienda con una minipimer (Phillips,HR1372/90, China) durante 5 minutos, con lo que se obtiene una pulpa.
- **Secado:** La pulpa que es extendida sobre una bandeja de aluminio con una cubierta de papel mantequilla, para secarla en un horno de bandejas (Memmert, UFB-400, Alemania) a 105 °C durante 2 horas, obteniendo conglomerados de hueso seco en forma de “hojuelas”, las cuales se enfrían a temperatura ambiente y se almacena en bolsas herméticas.

### 3.3.3. Producción del Aditivo

- **Molienda 3:** Esta molienda busca lograr el tamaño medio de partícula ( $D_{50}$ ) de 10 [ $\mu\text{m}$ ]. Se lleva a cabo en un molino planetario (Retsch, PM 100, Alemania) en medio seco, bolas de acero con 10 mm de diámetro a 400 [RPM] con una razón de peso Bola:hueso de 4:1, por un tiempo de 5 [min] (Alvarado, 2023) (Yin et al., 2016), en caso de no lograr el objetivo se aumentará progresivamente el tiempo de molienda en 5 [min].
- **Molienda 4:** Molienda en medio húmedo con el objetivo del tamaño medio de partícula ( $D_{50}$ ) de 1 [ $\mu\text{m}$ ]. Al igual que la anterior en el molino planetario (Retsch, PM 100, Alemania), bolas de acero con 6 [mm] de diámetro a 400 [RPM] con una razón de peso Bola:hueso de 10:1 y hueso:agua 20:80 según las indicaciones del proveedor (Retsch-Allee, 2014), por un tiempo de 1 hora en caso de no lograr el objetivo se aumentará progresivamente el tiempo de molienda en 30 [min].
- **Molienda 5:** Molienda en medio seco, en el molino planetario (Retsch, PM 100, Alemania), con el objetivo de disminuir el tamaño de la hojuela, con bolas de acero con 10 [mm] de diámetro a 400 [RPM] con una razón de peso Bola:hueso de 4:1, por un tiempo de 5 [min].
- **Tamizado:** este se realiza manualmente con un tamiz de acero inoxidable N°40 que su tamaño de malla es de 425 [ $\mu\text{m}$ ], con el tamizado se busca eliminar todas las partículas las cuales no disminuyeron su tamaño, logrando así una mayor homogeneidad.
- **Molienda 6:** Molienda en medio húmedo, en el molino planetario (Retsch, PM 100, Alemania), con el objetivo del tamaño medio de partícula ( $D_{50}$ ) de 1 [ $\mu\text{m}$ ]. Usando bolas de acero con 6 [mm] de diámetro a 400 [RPM] con una razón de peso Bola:hueso de 10:1, y hueso:agua 20:80 por un tiempo de 1 hora, en caso de no lograr el objetivo se aumentará progresivamente el tiempo de molienda en 30 [min].
- **Molienda 7:** Molienda en medio seco, el objetivo de disminuir lo mayor posible el tamaño de partícula (Yin et al., 2016), en el molino planetario (Retsch, PM 100, Alemania), con el objetivo de

disminuir el tamaño de la hojuela, con bolas de acero con 6 [mm] de diámetro a 400 RPM con una razón de peso Bola:hueso de 4:1, por un tiempo de 2,5 [horas].

- **Molienda 8:** Molienda en medio húmedo, en el molino planetario (Retsch, PM 100, Alemania), con el objetivo del tamaño medio de partícula ( $D_{50}$ ) lo más cercano a 0,1 [ $\mu\text{m}$ ], con bolas 1 [mm] de diámetro a 400 [RPM] con una razón de peso Bola:hueso de 10:1, y hueso:agua 20:80 por un tiempo de 2,5 [horas].

### 3.4. Medición del tamaño de Partícula

Las mediciones de correspondiente a la segunda etapa de molienda se realizaron en el equipo analizador BT-9300H, este equipo entrega información sobre la distribución de tamaño de partícula en un rango de medición de 0,1 – 340 [ $\mu\text{m}$ ] mediante el método de difracción láser. El índice de refracción que se usó para medir el hueso de salmón fue el de la hidroxiapatita que corresponde a 1,651 (Arul et al., 2020).

El equipo analizador Zetasizer Nano ZS90 fue empleado para realizar las mediciones de muestras del producto obtenido en la etapa de molienda ultrafina. Este equipo mediante el método de dispersión dinámica de luz entrega información sobre la distribución de tamaño de partícula en un rango de medición de 0,3 – 5000 [nm].

Para llevar a cabo la medición en el Zetasizer Nano ZS90 se toma una muestra de hueso molido y se diluyó en una razón de 0,1 [g] de hueso por cada 100 [g] de agua desionizada que contenía hexametáfosfato de sodio en una razón de 0,2 [g] del agente dispersante por cada agua 100 [g] de agua desionizada como se describe en Yin et al. (2015) y sometidos a dispersión por ultrasonido durante un tiempo de 3 minutos.

### 3.5. Determinación de la CRA en el músculo de salmón

La capacidad de retención de agua (CRA) se determinó de forma indirecta mediante la medición de las pérdidas por cocción. El Procedimiento está basado en lo descrito por Almonacid et al. (2012) y Núñez (2020) consta de cuatro partes:

- **Trituración:** se inicia preparando el filete de salmón, quitándole las escamas y la mayor parte de la grasa luego con una multiprocesadora de alimentos con el objetivo de generar una pasta homogénea la cual se almacena en una bolsa hermética a bajas temperaturas para su posterior uso.
- **Preparación de la muestra:** posterior a descongelar la pasta del filete a temperatura ambiente se preparan muestras de 15 [g] las cuales se mezclan con diferentes cantidades de aditivo y agua filtrada y desionizada para obtener porcentajes de hueso el musculo del salmón de 0 a 4%, y un control con tripolifosfato de sodio en porcentajes de 0; 0,5; 2 y 4%, cada uno por triplicado (véase Tabla 7 y Tabla 8).

*Tabla 7. Cantidades de Aditivo en suspensión y Agua para los diferentes porcentajes en peso del hueso en el musculo de salmón.*

Porcentaje de hueso [%]	Aditivo [g]	Agua [g]
0	0	3
1	0,91	2,27
2	1,84	1,53
3	2,78	0,77
4	3,75	0

*Tabla 8. Cantidades de Aditivo en polvo y Agua para los diferentes porcentajes en peso del hueso en el musculo de salmón.*

Porcentaje de hueso o STPP	Aditivo [g]	Agua [g]
0	0	3
0,5	0,09	3
1,0	0,18	3
2,0	0,37	3
3,0	0,56	3
4,0	0,75	3

- **Cocción:** ya preparadas cada muestra se deposita en un tubo Falcon de 50 [mL] los cuales se colocan, dentro de un baño termostático (Memmert, WNE 7, Alemania) a 80 [°C] por un tiempo de 10 [min] (Nuñez S. M., 2020), pasado el tiempo se quitan del baño y se ponen en agua con hielo para finalizar la cocción.
- **Centrifugado:** las muestras extraen de los tubos Falcon donde se realizó la cocción y se ponen en papel filtro de 150 [mm] 5A marca ADVANTEC®, tal como se aprecia en la Figura 6, se envuelve en el papel y estos son colocados en tubos Falcon de 50 [mL] previamente preparados los cuales tienen en su interior 24 [g] de bolas de acrílico de 6 [mm] y una pieza plana de plástico con perforaciones que funciona como malla y soporta los cuales se centrifugaron (Orto alresa, consul 22, España) A 1124 RPM por 10 [min], el esquema puede observarse en la Figura 7.



Figura 6. Muestra cocida sobre el papel filtro.

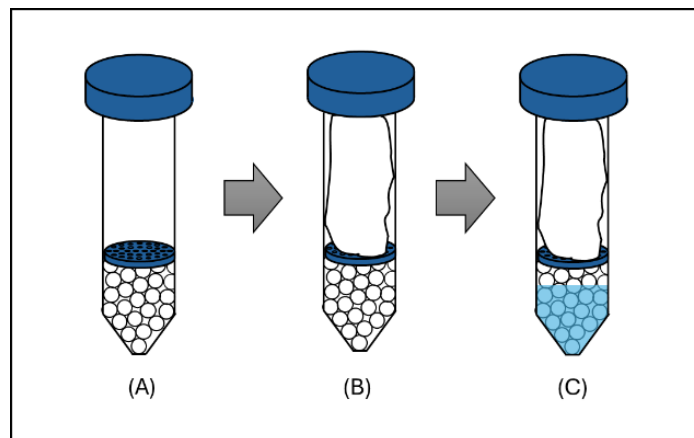


Figura 7. Esquema del proceso de centrifugado, (A) Tubo falcón preparado con el filtro y bolas, (B) Tubo falcón ya con la muestra en su interior, (C) Tubo falcón con la muestra después del centrifugado.

Los datos para el análisis de cada muestra “i” se obtienen registrando:

- Antes de centrifugar:
  - La masa del tubo preparado sin la muestra ( $T_i$ ),
  - El papel filtro ( $p_i$ ),

- El tubo con la muestra en el papel filtro ( $M_{Ti}$ )
- Después de centrifugar,
  - La masa de la muestra con el papel filtro ( $M_{Ci}$ ),
- Obteniendo con las respectivas diferencias:
  - La masa inicial de la muestra ( $M_{li}$ ),
  - La masa final ( $M_{Fi}$ ) y
  - La Pérdida por cocción real ( $P_{Ci}$ ) que es el agua que filtró en el proceso.

Como las masas iniciales no son exactamente iguales entre todas las muestras, se divide por la masa inicial, obteniendo la pérdida de cocción por gramos de muestra ( $P_{CGi}$ ) la cual al dividirse por la pérdida por cocción por gramos de la muestra sin aditivo ( $P_{CG0}$ ) se obtiene finalmente la pérdida por cocción normalizada  $C_{Lossi}$ .

En la Tabla 9 se muestra un resumen de lo descrito en esta sección.

*Tabla 9. Datos para medir la pérdida por cocción normalizada*

Datos	Símbolo	Medición
Papel	$p_i$	Directa
tubo y perlitas	$T_i$	Directa
Masa total	$M_{Ti}$	Directa
Masa inicial de la muestra	$M_{li}$	$M_{Ti} - (p_i + T_i)$
Papel y Muestra pos-centrifugado	$M_{Ci}$	Directa
Masa Final de la muestra	$M_{Fi}$	$M_{Ci} - p_i$
Pérdida por cocción	$P_{Ci}$	$M_{li} - M_{Fi}$
Pérdida por cocción por gramo de muestra	$P_{CGi}$	$P_{Ci} / M_{li}$
Pérdida por cocción normalizada	$C_{Lossi}$	$P_{CGi} / P_{CG0}$

## 4. Resultados y Discusión

### 4.1. Resultado de la medición de tamaños de partícula objetivos

#### 4.1.1. Tamaño promedio de partícula grande

- **Molienda 3A:**

Los resultados se presentan en la Figura 8, lo primero que resalta en la distribución que esta presenta una bimodalidad, la cual presenta un mayor a concentración a la derecha.

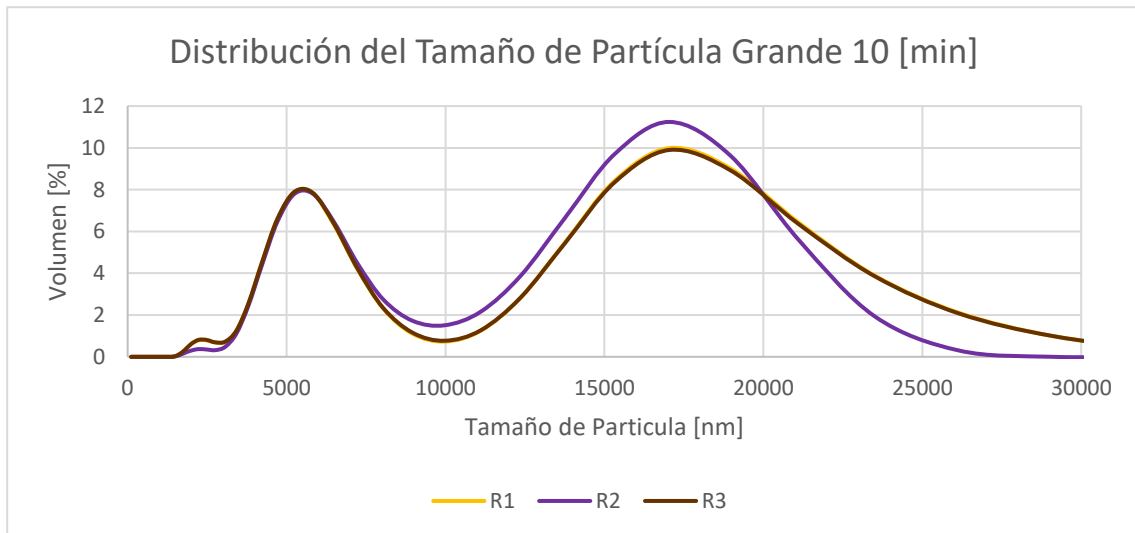


Figura 8. Distribución del tamaño de partícula en 5 [min] de molienda seca.

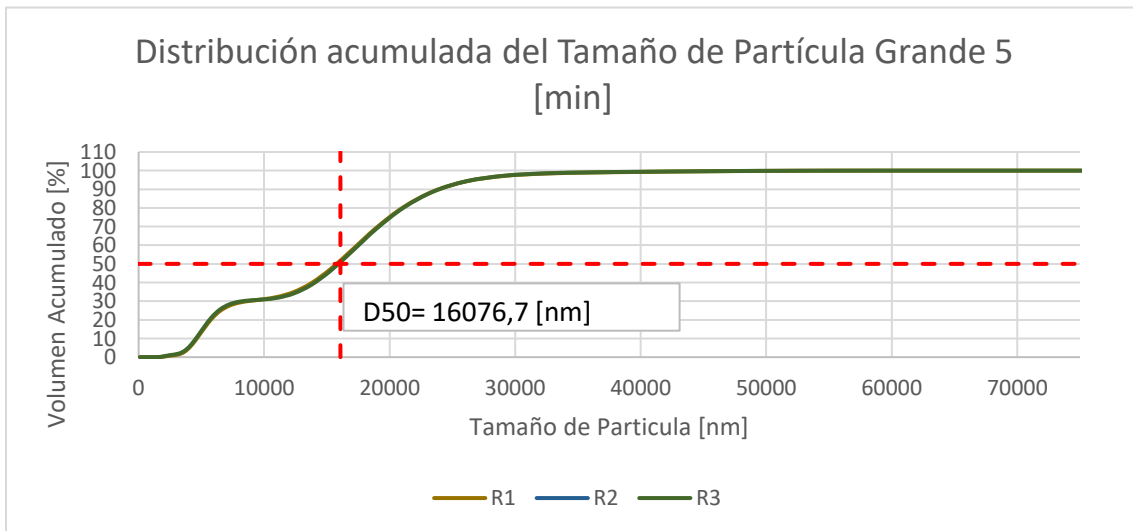


Figura 9. Distribución Acumulada del tamaño de partícula en 5 [min] de molienda seca.

Para verificar que se obtuvo el diámetro objetivo se graficó la distribución acumulada de tal modo de visualizar el  $D_{50}$  el cual en la Figura 9 se representa con la intersección de la curva de distribución con la recta punteada de color rojo, el diámetro representativo ( $D_{50}$ ) fue de  $16076,7 \pm 442,3$  [nm].

- **Molienda 3B:**

Ya que el resultado obtenido si bien está en el orden de magnitud correcto, dada las condiciones de esta molienda en las cuales se puede lograr un resultado más cercano, se realiza otra molienda aumentando el tiempo a de 5 minutos a 10, dichos resultados al igual que el experimento anterior se midieron con el equipo analizador BT-9300H, y se reportan en la Figura 10.

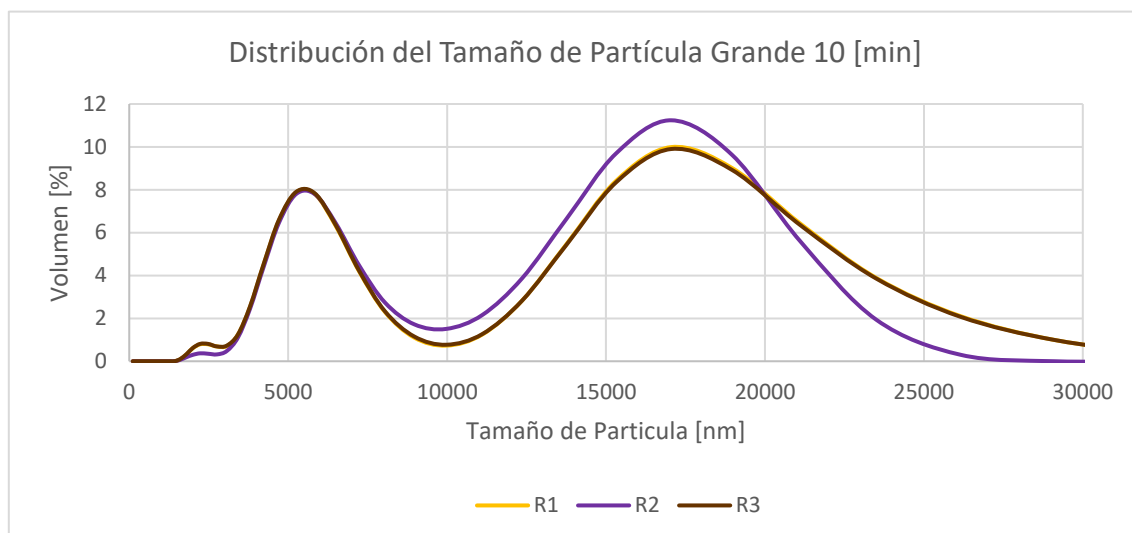


Figura 10. Distribución del tamaño de partícula en 10 [min] de molienda seca.

Al analizar la Figura 8 y 10 se aprecia un aumento en el primer peak y por ende una disminución en el segundo, así comprobando lo dicho por Alvarado (2023) y Kwade & Schwedes (2002) que un aumento del tiempo de molienda afecta proporcionalmente a la cantidad de eventos de estrés a los que se ve expuesto el hueso, verificando que la concentración de partículas gruesas disminuye mientras que aumenta la concentración de partículas finas.

El diámetro representativo ( $D_{50}$ ) tuvo el valor de  $10536,7 \pm 185,6$  [nm] el cual se puede visualizar de forma gráfica en la Figura 11, con lo cual se determina que el tiempo de molienda es de 10 [min].

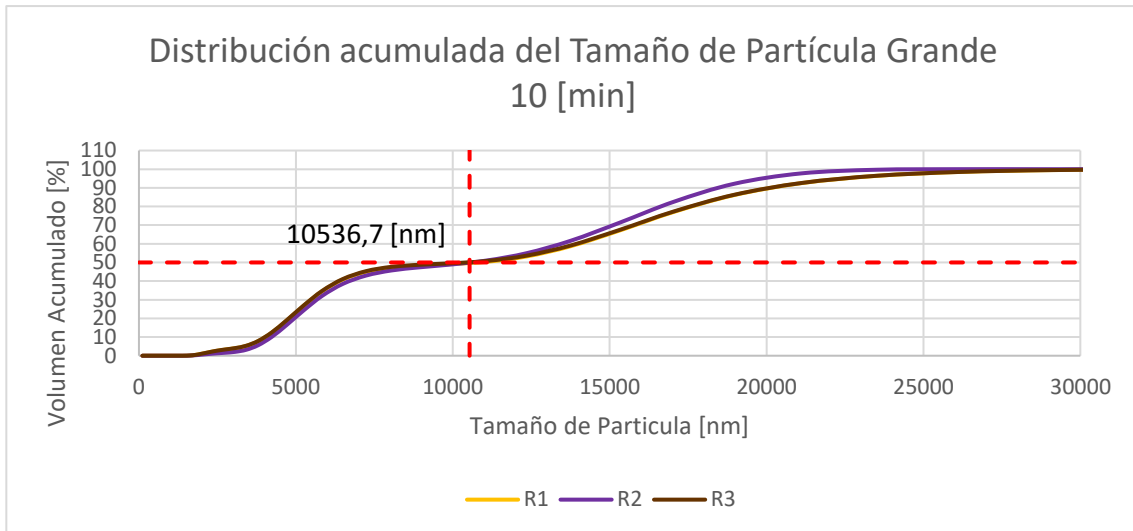


Figura 11. Distribución Acumulada del tamaño de partícula en 10 [min] de molienda seca.

#### 4.1.2. Tamaño promedio de partícula intermedia

- **Molienda 4**

Al Finalizar la operación se chequea que no hubo una disminución de tamaño de partícula como se ve en la Figura 12.



Figura 12. Molienda húmeda desde la hojuela.

- **Molienda 6**

Las distribuciones se pueden apreciar en la Figura 13 a diferencia de las distribuciones de los dos tamaños anteriores esta es monomodal.

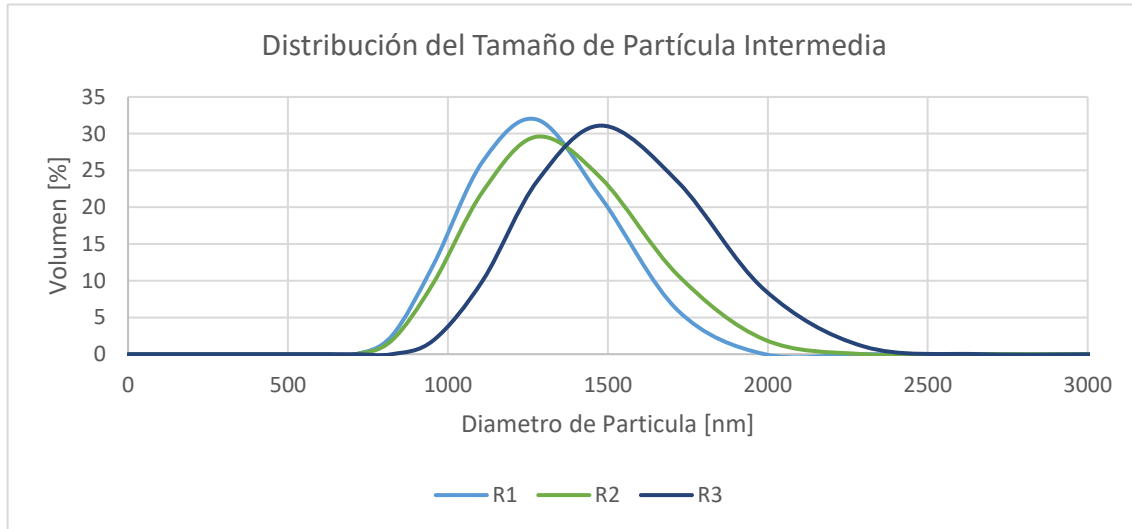


Figura 13. Distribución del tamaño de partícula en 1 [h] de molienda húmeda, pos molienda 5.

En la Figura 14 se puede visualizar de forma gráfica el  $D_{50}$  el cual corresponde a  $1235,35 \pm 97,69$  [nm].

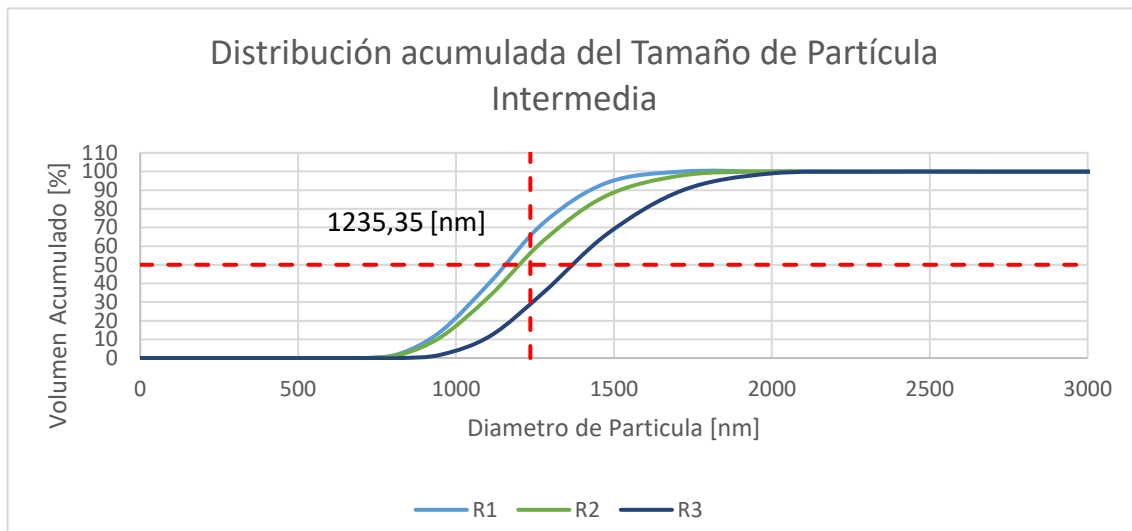


Figura 14. Distribución acumulada del tamaño de partícula en 1 [h] de molienda húmeda, pos molienda 5.

### 4.1.3. Tamaño promedio de partícula pequeña

- **Molienda 8**

las distribuciones obtenidas se visualizan en la Figura 15, las cuales salvo la primera replica son monomodales.

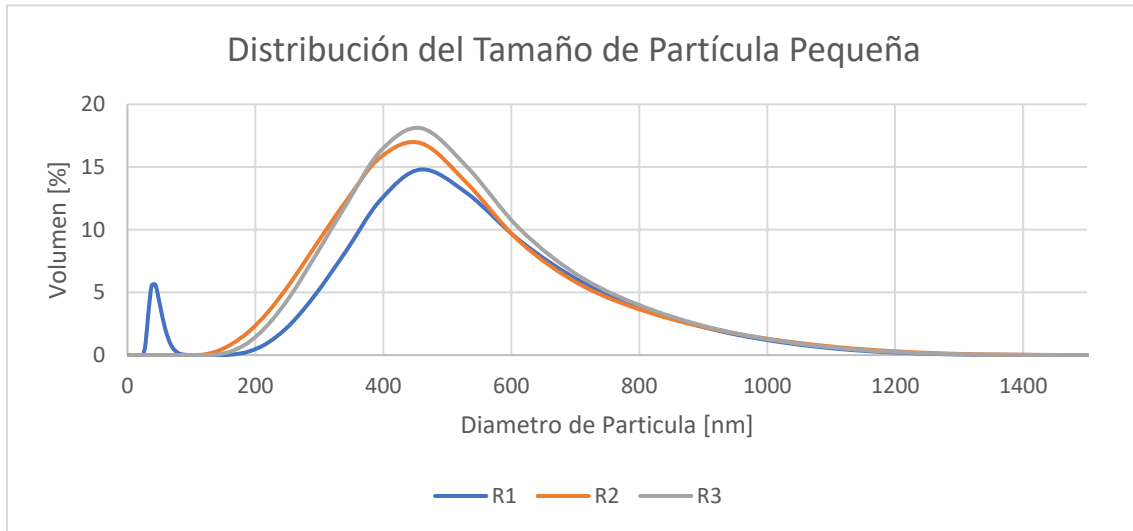


Figura 15. Distribución del tamaño de partícula en 2,5 [h] de molienda húmeda, pos molienda 7

Respecto al tamaño de partícula característico ( $D_{50}$ ) promedio fue de  $399,89 \pm 13,04$  [nm] la cual se puede apreciar gráficamente en la Figura 16.

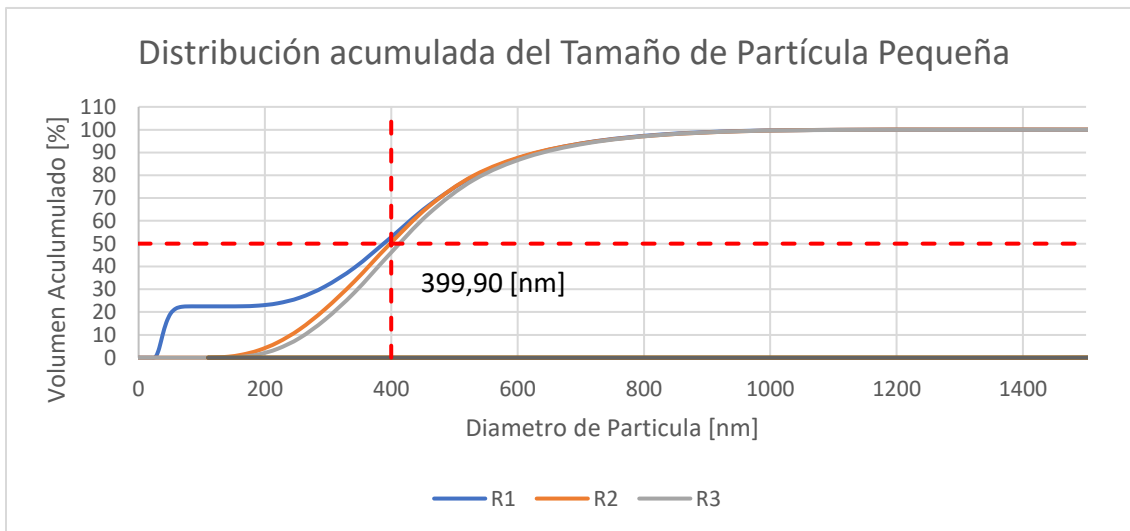


Figura 16. Distribución Acumulada del tamaño de partícula en 2,5 [h] de molienda húmeda, pos molienda 7.

El detalle de cada diámetro característico ( $D_{50}$ ) de cada distribución de tamaño de partícula se encuentra en el Anexo 7.1.

Las configuraciones de molienda, tiempo y bolas que se obtuvieron para los tres tipos de tamaños objetivos se resumen en la Figura 17 que se muestra a continuación.

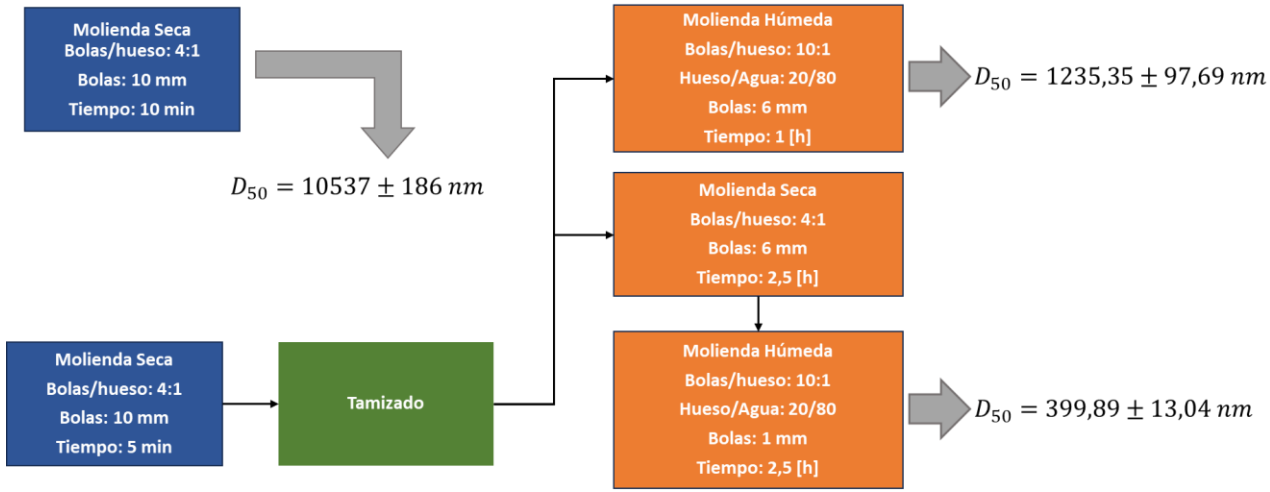


Figura 17. Esquema de molienda para los diferentes tamaños objetivos.

## 4.2. Resultado de la determinación de la CRA/Perdidas por cocción

El detalle de cada medición se encuentra en la sección 457.2, en el anexo.

En las tablas 10, 11, 12 y 13 se muestran las pérdidas por cocción normalizadas de cada aditivo. Adicionalmente se muestran los datos promedio ( $C_{LossP}$ ) con su respectiva desviación estándar ( $\sigma$ ).

Tabla 10. Perdidas por Cocción Normalizada del Aditivo con  $D_{50}$  10,5 [ $\mu\text{m}$ ].

Porcentaje [%]	$C_{Loss1}$	$C_{Loss2}$	$C_{Loss3}$	$C_{LossP}$	$\sigma$
0	1	1	1	1	0
1	1,047	0,976	1,046	1,023	0,041
2	1,052	1,044	1,061	1,052	0,009
3	0,990	0,987	1,020	0,999	0,018
4	0,990	1,036	1,001	1,009	0,024

Tabla 11. Perdidas por Cocción Normalizada del Aditivo con  $D_{50}$  de 1,2 [ $\mu\text{m}$ ].

Porcentaje [%]	$C_{Loss1}$	$C_{Loss2}$	$C_{Loss3}$	$C_{LossP}$	$\sigma$
0	1	1	1	1	0
1	0,912	0,898	0,873	0,894	0,020
2	0,907	0,889	0,864	0,887	0,022
3	0,907	0,889	0,860	0,885	0,024
4	0,873	0,883	0,852	0,870	0,016

Tabla 12. Perdidas por Cocción Normalizada del Aditivo con  $D_{50}$  de 0,4 [ $\mu\text{m}$ ].

Porcentaje [%]	$C_{Loss1}$	$C_{Loss2}$	$C_{Loss3}$	$C_{LossP}$	$\sigma$
0	1,000	1,000	1,000	1,000	0,000
1	0,823	0,868	0,814	0,835	0,029
2	0,702	0,814	0,729	0,748	0,058
3	0,722	0,810	0,759	0,764	0,044
4	0,680	0,750	0,706	0,712	0,035

Tabla 13. Perdidas por Cocción Normalizada del Aditivo STPP.

Porcentaje [%]	$C_{Loss1}$	$C_{Loss2}$	$C_{Loss3}$	$C_{LossP}$	$\sigma$
0	1	1	1	1	0
0,5	0,406	0,468	0,444	0,456	0,031
2	0,129	0,118	0,123	0,121	0,005
4	0,127	0,115	0,102	0,108	0,012

A los promedios de cada muestra se realizó un ajuste al modelo semi-empírico descrito en la parte de antecedentes. Los modelos de cada ingrediente con sus respectivos parámetros se visualizan en la Tabla 14, la cual también presenta su coeficiente de determinación ( $R^2$ ), estos parámetros se determinaron

gracias al uso de la herramienta SOLVER de Microsoft Excel con técnica de análisis numérico de mínimos cuadrados con el método GRG Nonlinear.

Tabla 14. Modelo ajustado de pérdida por cocción vs concentración para cada ingrediente en el músculo de salmón.

Ingrediente	Modelo	R <sup>2</sup>
Dispersión de hueso de salmón tamaño grande de 10,5 [µm]	$C_{loss} = 1$	N/A
Dispersión de hueso de salmón tamaño intermedio de 1,2 [µm]	$C_{loss} = (1 - 0,88) \cdot e^{-195,45 \cdot I} + 0,88$	0,907
Dispersión de hueso de salmón tamaño Pequeño de 0,4 [µm]	$C_{loss} = (1 - 0,72) \cdot e^{-91,62 \cdot I} + 0,72$	0,892
STPP	$C_{loss} = (1 - 0,11) \cdot e^{-199,38 \cdot I} + 0,11$	0,998

La representación gráfica de estos modelos y junto con los datos experimentales promedio se encuentra. En la cual la línea continua representa el modelo, las líneas segmentadas son la representación del intervalo de confianza superior e inferior del 95%. Se distingue que para el tamaño grande no hubo un efecto en la pérdida por cocción ya que se mantuvo relativamente constante, mientras que para los demás ingredientes sus coeficientes de determinación (R<sup>2</sup>) muestran un ajuste bastante aceptado al modelo propuesto, destacando que a partir del 3% de concentración, de Hueso o STPP, en la muestra se alcanza la mínima pérdida de agua, las cuales son aproximadamente 100%, 88%, 74% y 11% respectivamente, por lo que se demuestra que al disminuir el tamaño de partícula de la suspensión del hueso disminuye la pérdida de agua por cocción.

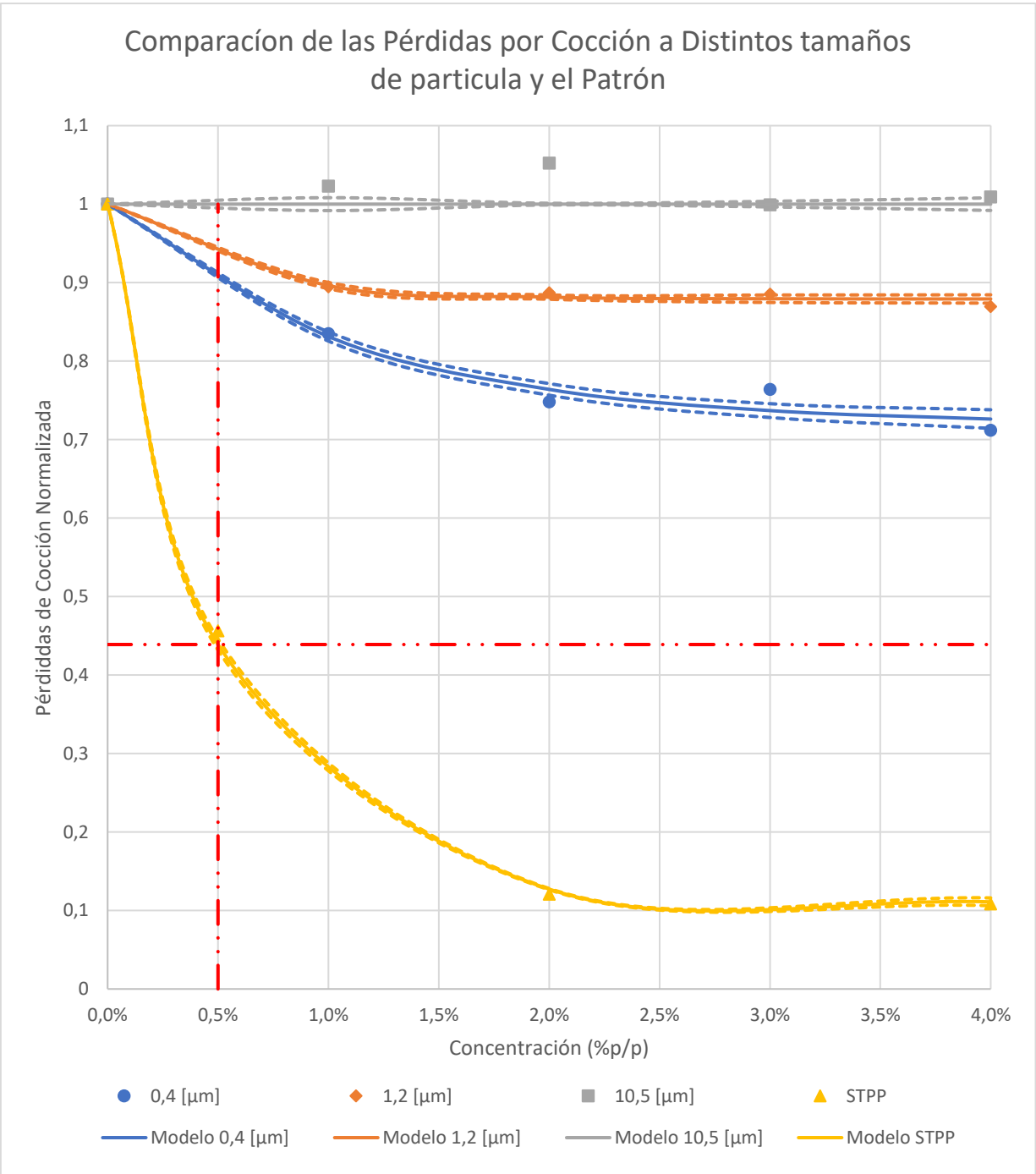


Figura 18. Pérdidas de Cocción en el músculo de salmón a diferentes concentraciones de hueso en la muestra o Tripolifosfato de sodio (STPP). Líneas continuas: el modelo respectivo de cada tamaño, Líneas discontinuas: los intervalos de confianza al 95%, Líneas roja: Punto de Pérdida por cocción normalizada de la dosis permitida del STPP (Tripolifosfato de sodio).

En las figuras 19, 20, 21 y 22 se puede apreciar con un mayor detalle, en el que se incluye cada medición experimental, los efectos el ingrediente respectivo en la pérdida por cocción.

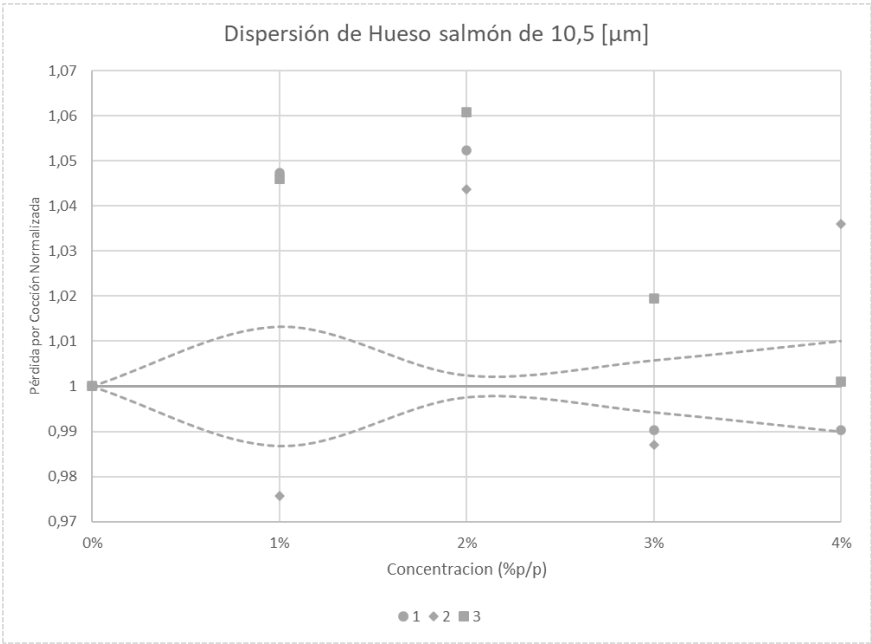


Figura 19. Pérdidas por cocción del tamaño de partícula grande.

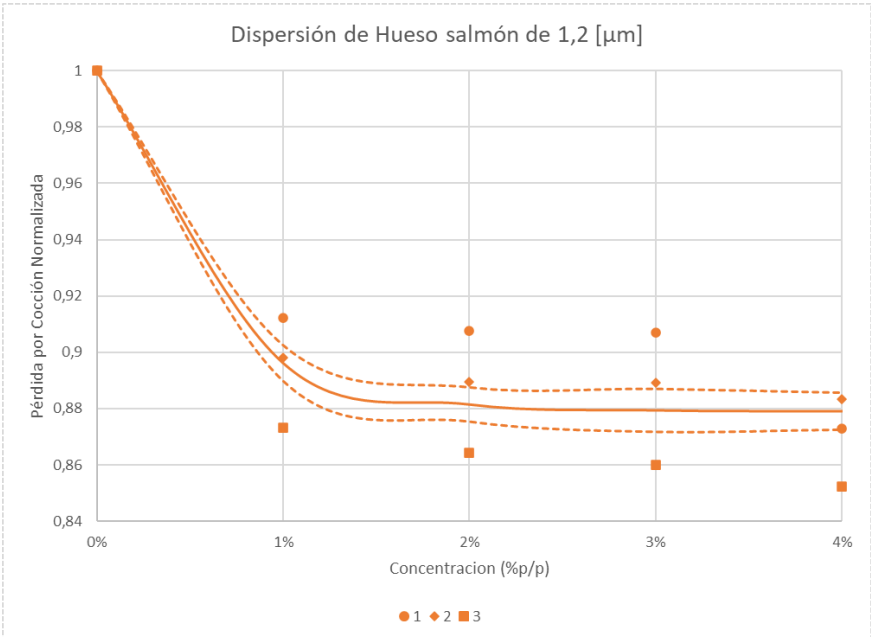


Figura 20. Pérdidas por cocción del tamaño de partícula intermedia.

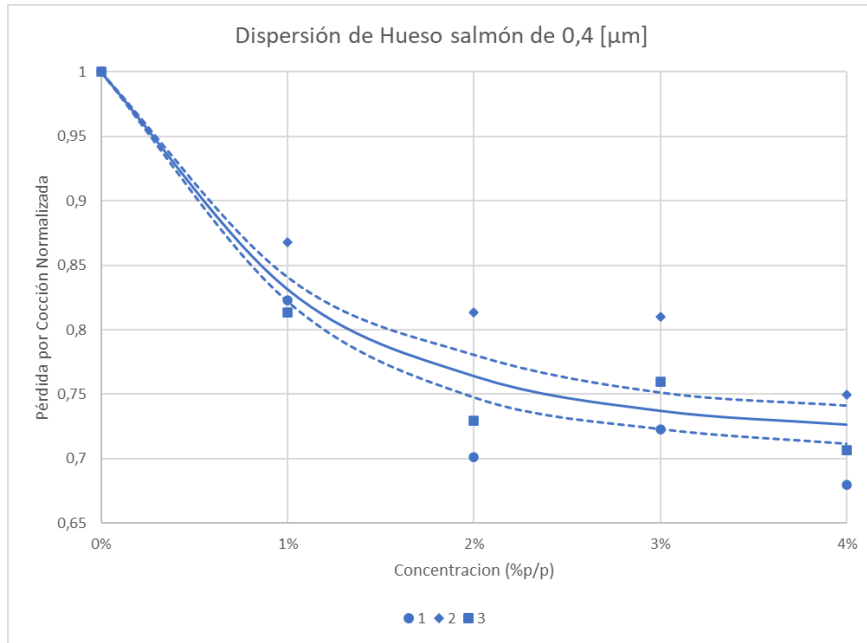


Figura 21. Pérdidas por cocción del tamaño de partícula pequeña.

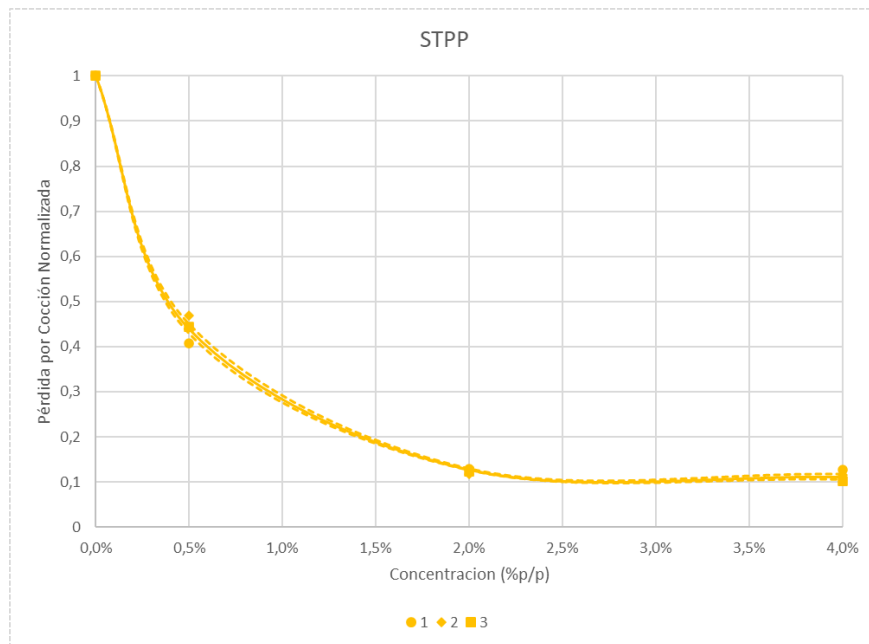


Figura 22. Pérdidas por cocción del tripolifosfato de sodio (STPP).

## 5. Conclusión y Recomendación

Con este el trabajo se realizó una revisión, adaptación y elaboración del proceso por el cual es esquelón llega a convertirse en el aditivo, el cual se dividió en tres partes, la obtención del Hueso, la producción de la Hojuela y la producción del Aditivo de hueso de salmón, con lo cual se puede obtener dispersiones de tamaño micro y sub-micro.

Respecto al tamaño de partículas se concluyó que, para el tamaño grande con una molienda seca, desde la "hojuela", de 10 minutos y se consigue un diámetro medio de  $10,537 \pm 0,187$  [ $\mu\text{m}$ ]. Para el tamaño intermedio con una molienda seca de 5 [min] más 1 hora de molienda húmeda se obtiene un tamaño medio de  $1,235 \pm 0,098$  [ $\mu\text{m}$ ], mientras que para el tamaño pequeño fue necesario moler 2,5 [h] en seco y una posterior molienda húmeda de 2,5 [h] se alcanza un diámetro medio de  $0,399 \pm 0,013$  [ $\mu\text{m}$ ].

Analizando las Perdidas por cocción normalizadas se concluye que para el tamaño grande la pérdida no se vio afectada con la adicción del aditivo, interpretación que se apoya en el modelo semi-empírico obtenido, a diferencia de los tamaños intermedio y pequeño que muestran un decaimiento exponencial, los cuales indican que, al disminuir el tamaño de partícula del hueso en el aditivo, disminuye las pérdidas de agua por cocción lo que indica una mejor capacidad de retención de humedad (CRA). Los cuales, en sus mínimas pérdidas, considerando una tonelada de salmón con el aditivo, este retiene 120 y 260 [kg] respectivamente, aunque comparándolo con la dosis permitida el tripolifosfato de sodio (STPP), el aditivo no podría ser un sustituto de este agente retenedor de agua, pero si complementarlo.

Para posteriores estudios se recomienda ocupar otras tecnologías de molienda las cuales permiten alcanzar tamaños nanométricos, con lo cual adicionalmente disminuirían los tiempos de proceso , con los cuales se espera alcanzar unas menores pérdidas por cocción lo que implicarían valores más elevados en la capacidad de retención del agua.

## 6. Referencias

- Albornoz, L. (2022). Determinación de secuencia de molienda para obtener hueso de salmón (*salmo salar*) en escala sub-micro. Chile: Universidad Técnica Federico Santa María.
- Almonacid, S., Bustamante, J., Simpson, R., Urtubia, A., Pinto, M., & Teixeira, A. (2012). Commercially Sterilized Mussel Meats (*Mytilus chilensis*): A Study on Process Yield. *Food Sci.* doi:10.1111/j.1750-3841.2012.02729.x
- Alvarado, F. (2023). Molienda húmeda de hueso de salmón a escala sub-micro: tamaño característico adiferentes tiempos de molienda. Chile: Universidad Técnica Federico Santa María.
- Arul, K. T., Ramya, J. R., & Kalkura, S. N. (2020). Impact of dopants on the electrical and optical properties of hydroxyapatite. *Biomaterials*. doi:http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.93092
- Aspevik, T., Totland, C., Lea, P., & Oterhals, A. (2016). Sensory and surface-active properties of protein hydrolysates based on Atlantic salmon (*Salmo salar*) by-products. *Process Biochemistry Volume 51*, 1006-1014. doi:https://doi.org/10.1016/j.procbio.2016.04.015
- Burmeister, C. F., & Kwade, A. (07 de Febrero de 2013). Process engineering with planetary ball mills. *Chemical Society Reviews*. doi:https://doi.org/10.1039/C3CS35455E
- CONSEJO DEL SALMÓN. (18 de Septiembre de 2020). *CONSEJO DEL SALMÓN CHILE*. Recuperado el 29 de Diciembre de 2023, de <https://www.consejodelsalmon.cl/historia-de-la-industria-en-chile/>
- CONSEJO DEL SALMÓN. (25 de Enero de 2023). <https://www.consejodelsalmon.cl>. Recuperado el 29 de Diciembre de 2023, de <https://www.consejodelsalmon.cl/wp-content/uploads/2023/01/25012023-Reporte-exportaciones-2022.pdf>
- De la Fuente, B., Pinela, J., Mandim, F., Heleno, S. A., Ferreira, I. C., Barba, F. J., . . . Barranos, L. (2022). Nutritional and bioactive oils from salmon (*Salmo salar*) side streams obtained by Soxhlet and optimized microwave-assisted extraction. *Food Chemistry Volumen 386*. doi:https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132778
- Gob. (07 de Marzo de 2018). *Gob.cl*. Recuperado el 28 de Diciembre de 2023, de <https://www.gob.cl/nuestro-pais/>
- Hleap, J. I., & Gutiérrez, C. A. (1 de Julio de 2017). Hidrolizados de pescado – producción, beneficios y nuevos avances en la industria. -Una revisión. *Acta Agronomica*. doi:https://doi.org/10.15446/acag.v66n3.52595
- Hughes, J. M., Oiseth, S. K., Purslow, P. P., & Warne, R. D. (2014). A structural approach to understanding the interactions between colour, water-holding capacity and tenderness. *Meat Science*, 520-532.

- Jacob, K., Mehos, G., Carson, J., Fan, Y., Freireich, B., Koch, J., . . . Jain, P. (2019). Solids Processing and Particle Technology. En D. Green, *Perry's Chemical engineers' handbook 9th edition* (págs. 21-5 a 21-109). McGraHill.
- Jumbo. (5 de Diciembre de 2008). *Informacion nutricional de Salmón*. (S. d. Valparaiso, Editor) Recuperado el 2024 de Enero de 16, de <https://www.jumbo.cl/salmon-granel/p>
- Kumar, A., Sahu, R., & Kumar, S. (2023). Energy-Efficient Advanced Ultrafine Grinding of Particles Using Stirred Mills. *Energies*. doi:<https://doi.org/10.3390/en16145277>
- Kwade, A., & Schwedes, J. (22 de Enero de 2002). Breaking characteristics of different materials and their effect on stress intensity and stress number in stirred media mills. *Powder Technology Volume 122*, 109-121. doi:[https://doi.org/10.1016/S0032-5910\(01\)00406-5](https://doi.org/10.1016/S0032-5910(01)00406-5)
- Liaset, B., Julshamn, K., & Espe, M. (2003). Chemical composition and theoretical nutritional evaluation of the produced fractions from enzymic hydrolysis of salmon frames with Protamex™. *Process Biochemistry*, 1747-1759. doi:[https://doi.org/10.1016/S0032-9592\(02\)00251-0](https://doi.org/10.1016/S0032-9592(02)00251-0)
- Malvern Instruments. (2013). *Zetasizer Nano User Manual (MAN0485 Issue 1.1)*.
- Merkus, H. G. (2009). *Particle Size Measurements. Fundamentals, Practice, Quality*. Springer.
- Nuñez, S. M. (2020). Funcionalidad tecnológica de colágeno hidrolizado: identificación de péptidos con capacidad de retención de agua. Chile: Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Universidad Técnica Federico Santa María.
- Nuñez, S. M., Cárdenas, C., Pinto, M., Valencia, P., Cataldo, P., Guzmán, F., & Almonacid, S. (2020). Bovine skin gelatin hydrolysates as potential substitutes for polyphosphates: The role of degree of hydrolysis and pH on water-holding capacity. *Food Science*. doi:<https://doi.org/10.1111/1750-3841.15299>
- Retsch-Allee. (31 de Octubre de 2014). Instrucciones de servicio para molino de bolas Modelo PM100 / PM200. Alemania.
- SERNAPESCA. (2023). <https://www.sernapesca.cl>. Recuperado el 29 de Diciembre de 2023, de [https://www.sernapesca.cl/app/uploads/2023/09/2022\\_0302\\_desembarque\\_total\\_por\\_region.xlsx](https://www.sernapesca.cl/app/uploads/2023/09/2022_0302_desembarque_total_por_region.xlsx)
- SERNAPESCA. (22 de Mayo de 2023). [www.sernapesca.cl](http://www.sernapesca.cl). Recuperado el 28 de Diciembre de 2023, de [https://www.sernapesca.cl/app/uploads/2023/09/2022\\_0301\\_desembarque\\_total.pdf](https://www.sernapesca.cl/app/uploads/2023/09/2022_0301_desembarque_total.pdf)
- Shemanski, B., & Miranda, S. (Mayo de 2010). [www.powderbulksolids.com](http://www.powderbulksolids.com).
- Snow, R. H., Kaye, B. H., Capes, C. E., & Sresty, G. C. (2001). Reducción y aumento de Tamaño. En R. H. Perry, *Manual de Ingeniero Químico Tomo II* (págs. 8.5-8.19). McGRAW-HILL.

- SUBPESCA. (2023). *www.subpesca.cl*. Recuperado el 28 de Diciembre de 2023, de [https://www.subpesca.cl/portal/618/articles-117958\\_documento.pdf](https://www.subpesca.cl/portal/618/articles-117958_documento.pdf)
- Tobón, J. F. (2016). *Estandarización de los procesos de pesos de embutido, pesos de empaques y mermas del tratamiento térmico en la planta de derivados cárnicos de Porcicarnes*.
- Tripathi , A. D., Mishra, R., Maurya, K. K., Singh, R. B., & Wilson, D. W. (2019). Chapter 1 - Estimates for World Population and Global Food Availability for Global Health. *The Role of Functional Food Security in Global Health*, 3-24. doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813148-0.00001-3>
- Valencia, P., Valdivia , S., Nuñez, S., Ovissipour, R., Pinto, M., Ramirez, C., . . . Almonacid, S. (08 de Diciembre de 2021). Assessing the Enzymatic Hydrolysis of Salmon Frame Proteins through Different By-Product/Water Ratios and pH Regimes. *Food Volumen 10 Issue 12*. doi:<https://doi.org/10.3390/foods10123045>
- Vizcarra, B., Carrera-Gil, F., Torreguitar, A., Correa, P., Burrows, R., Olivares, M., & Pizarro, F. (2023). Ingesta de calcio y densidad mineral ósea en adolescentes chilenos con desarrollo puberal completo. *Revista chilena de nutrición*. doi:<http://dx.doi.org/10.4067/s0717-75182023000200205>
- Yin, T., Du, H., Zhang, J., & Xiong, S. (26 de Abril de 2016). Preparation and characterization of ultrafine fish bone powder. *Journal of Aquatic Food Product Technology*. doi:<http://dx.doi.org/10.1080/10498850.2015.1010128>

## 7. Anexos

### 7.1. Diámetros representativos ( $D_{50}$ ) de cada distribución

Tabla 15. Diámetros representativos ( $D_{50}$ ) de cada medición.

Tamaño	R1 [nm]	R2 [nm]	R3 [nm]
Grande 5 [min]	15750,0	16580,0	15900,0
Grande 10 [min]	10730,0	10520,0	10360,0
Intermedio	1157,9	1203,0	1345,1
Pequeño	387,6	398,5	413,6

### 7.2. Mediciones para calcular la pérdida por cocción normalizadas

Tabla 16. Mediciones de las muestras de  $D_{50}$  de 10,5 [ $\mu\text{m}$ ].

Porcentaje [%]	Muestra	$p_i$	$T_i$	$M_{Ti}$	$M_{li}$	$M_{Ci}$	$M_{Fi}$	$P_{Ci}$	$P_{CGi}$
0	1	1,7752	37,9917	57,9547	18,1878	15,3976	13,6224	4,5654	0,2510
	2	1,7722	38,1061	57,6874	17,8091	15,1923	13,4201	4,3890	0,2464
	3	1,7975	38,0524	57,5673	17,7174	15,2359	13,4384	4,2790	0,2415
1	4	1,7803	37,7593	57,3094	17,7698	14,8785	13,0982	4,6716	0,2629
	5	1,7765	38,1432	58,6088	18,6891	15,9715	14,1950	4,4941	0,2405
	6	1,7999	37,7187	58,1713	18,6527	15,7407	13,9408	4,7119	0,2526
2	7	1,7979	37,8818	57,9882	18,3085	15,2706	13,4727	4,8358	0,2641
	9	1,8175	37,8190	58,2659	18,6294	15,6555	13,8380	4,7914	0,2572
	8	1,7725	37,9827	58,0755	18,3203	15,3996	13,6271	4,6932	0,2562
3	10	1,7712	37,9596	58,6104	18,8796	15,9573	14,1861	4,6935	0,2486
	11	1,8041	37,6206	58,0609	18,6362	15,9067	14,1026	4,5336	0,2433
	12	1,7816	38,0030	58,5776	18,7930	15,9471	14,1655	4,6275	0,2462
4	13	1,7919	38,0107	58,3192	18,5166	15,7058	13,9139	4,6027	0,2486
	15	1,7921	37,9893	58,7247	18,9433	15,8984	14,1063	4,8370	0,2553
	14	1,7410	38,0551	58,4955	18,6994	15,9192	14,1782	4,5212	0,2418

Tabla 17. Mediciones de las muestras de D50 de 1,2 [μm].

Porcentaje [%]	Muestra	$p_i$	$T_i$	$M_{Ti}$	$M_{li}$	$M_{Ci}$	$M_{Fi}$	$P_{Ci}$	$P_{CGi}$
0	1	1,7752	37,9917	57,9547	18,1878	15,3976	13,6224	4,5654	0,2510
	2	1,7722	38,1061	57,6874	17,8091	15,1923	13,4201	4,389	0,2464
	3	1,7975	38,0524	57,5673	17,7174	15,2359	13,4384	4,279	0,2415
1	4	1,8092	37,4146	57,8549	18,6311	16,1738	14,3646	4,2665	0,2290
	5	1,8035	37,5362	57,5052	18,1655	15,9491	14,1456	4,0199	0,2213
	6	1,7929	37,8545	57,7217	18,0743	16,056	14,2631	3,8112	0,2109
2	7	1,8105	37,8377	57,6068	17,9586	15,6784	13,8679	4,0907	0,2278
	9	1,7444	37,8005	57,5755	18,0306	15,8227	14,0783	3,9523	0,2192
	8	1,7917	37,8031	57,7261	18,1313	16,1384	14,3467	3,7846	0,2087
3	10	1,7536	37,8661	57,9825	18,3628	15,9362	14,1826	4,1802	0,2276
	11	1,7789	37,8946	58,3068	18,6333	16,3293	14,5504	4,0829	0,2191
	12	1,8036	37,8048	57,7453	18,1369	16,1741	14,3705	3,7664	0,2077
4	13	1,7579	37,9021	58,2329	18,5729	16,2614	14,5035	4,0694	0,2191
	15	1,7837	38,171	58,3943	18,4396	16,2093	14,4256	4,014	0,2177
	14	1,8023	37,9575	58,323	18,5632	16,5442	14,7419	3,8213	0,2059

Tabla 18. Mediciones de las muestras de D50 de 0,4 [μm].

Porcentaje [%]	Muestra	$p_i$	$T_i$	$M_{Ti}$	$M_{li}$	$M_{Ci}$	$M_{Fi}$	$P_{Ci}$	$P_{CGi}$
0	1	1,7752	37,9917	57,9547	18,1878	15,3976	13,6224	4,5654	0,2510
	2	1,7722	38,1061	57,6874	17,8091	15,1923	13,4201	4,389	0,2464
	3	1,7975	38,0524	57,5673	17,7174	15,2359	13,4384	4,279	0,2415
1	4	1,8051	38,064	57,8797	18,0106	16,097	14,2919	3,7187	0,2065
	5	1,7634	38,1237	57,8264	17,9393	15,8645	14,1011	3,8382	0,2140
	6	1,7519	37,8807	56,8381	17,2055	15,5764	13,8245	3,381	0,1965
2	7	1,735	38,088	57,8133	17,9903	16,5574	14,8224	3,1679	0,1761
	9	1,7207	38,1023	57,8097	17,9867	16,1013	14,3806	3,6061	0,2005
	8	1,7473	38,1542	57,7964	17,8949	16,3196	14,5723	3,3226	0,1857
3	10	1,7369	38,0818	57,7714	17,9527	16,4342	14,6973	3,2554	0,1813
	11	1,7477	38,0513	57,6654	17,8664	16,0475	14,2998	3,5666	0,1996
	12	1,7649	38,1344	57,8822	17,9829	16,4493	14,6844	3,2985	0,1834
4	13	1,7633	38,1023	57,9762	18,1106	16,7847	15,0214	3,0892	0,1706
	15	1,7832	38,1098	58,3261	18,4331	16,8114	15,0282	3,4049	0,1847
	14	1,7726	38,0894	57,9756	18,1136	16,6188	14,8462	3,2674	0,1804

Tabla 19. Mediciones de las muestras de STPP.

STPP	Muestra	$p_i$	$T_i$	$M_{Ti}$	$M_{li}$	$M_{Ci}$	$M_{Fi}$	$P_{Ci}$	$P_{CGi}$
0	1	1,7752	37,9917	57,9547	18,1878	15,3976	13,6224	4,5654	0,2510
	2	1,7722	38,1061	57,6874	17,8091	15,1923	13,4201	4,389	0,2464
	3	1,7975	38,0524	57,5673	17,7174	15,2359	13,4384	4,279	0,2415
0,5	4	1,7767	37,8823	57,1414	17,4824	17,4753	15,6986	1,7838	0,1020
	5	1,8052	38,4788	58,1658	17,8818	17,6237	15,8185	2,0633	0,1154
	6	1,7884	37,8	57,2848	17,6964	17,5863	15,7979	1,8985	0,1073
2	7	1,7908	38,5039	58,0559	17,7612	18,9784	17,1876	0,5736	0,0323
	8	1,7248	37,6967	57,5286	18,1071	19,3039	17,5791	0,528	0,0292
	9	1,7649	37,93	57,6041	17,9092	19,1413	17,3764	0,5328	0,0298
4	10	1,7764	37,8279	57,8428	18,2385	19,4357	17,6593	0,5792	0,0318
	11	1,7572	37,9667	58,3149	18,591	19,8223	18,0651	0,5259	0,0283
	12	1,7758	37,9297	57,9956	18,2901	19,6169	17,8411	0,449	0,0245