

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE FRONTERA - SULLANA  
FACULTAD DE INGENIERÍA DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**



**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE INDUSTRIAS  
ALIMENTARIAS**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OBTENER EL  
GRADO ACADÉMICO DE BACHILLER EN INGENIERÍA  
DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

**“UNA REVISIÓN: APLICACIÓN DE LA ESPECTROSCOPIA  
DIELÉCTRICA AL CONTROL DE CALIDAD DE  
PRODUCTOS MARINOS”**

**Autor:**

**Leibi Miriam Vega Mejia**

**Asesor:**

**Dr. Wilson Manuel Castro Silupu**

**Resolución N° 034-2020-UNF-VPAC/FIIA**

**SULLANA-PERÚ**

**2021**

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a Dios por todas sus bendiciones, a mi familia, y a mis padres por impulsarme a seguir en todo momento.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios quien guía mi camino.

Al Dr. Wilson Manuel Castro Silupu por su paciencia.

A mis padres.

A la Universidad Nacional de Frontera y sus docentes.

## **AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE FRONTERA**

Dr. Raúl Edgardo Natividad Ferrer  
Presidente de la Comisión Organizadora

Dra. Denesy Pelagia Palacios Jiménez  
Vicepresidente Académico

Dr. Freddy Rogger Mejía Coico  
Vicepresidente de Investigación

Dr. Wilson Manuel Castro Silupu  
Coordinador de la Facultad de Ingeniería de Industrias Alimentarias

**VISTO BUENO DEL ASESOR DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

A handwritten signature in blue ink, consisting of several overlapping loops and a central vertical stroke, positioned centrally on the page.

## **DECLARACIÓN JURADA DE NO PLAGIO DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OBTENCIÓN DE GRADO ACADÉMICO DE BACHILLER**

Yo, LEIBI MIRIAM VEGA MEJIA identificada con D.N.I N° 77034782 egresada de la Escuela Profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias de la Facultad de Ingeniería de Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional de Frontera. (UNF)

### **Declaro Bajo Juramento**

Que:

1. Soy autor del Trabajo de investigación titulado: “Revisión: Aplicación de la Espectroscopia dieléctrica al control de calidad de productos marinos” Que presento para obtener el grado académico de bachiller en: Ingeniería de Industrias Alimentarias.
2. El trabajo de investigación no ha sido plagiado ni total ni parcialmente para su realización se han respetado las normas internacionales de citas y referencias de las fuentes consultadas.
3. El trabajo de investigación presentado no atenta contra los derechos de terceros.
4. El trabajo de investigación presentado no ha sido publicado ni presentado anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
5. La información presentada es real y no ha sido falsificada, ni duplicada, ni copiada.

Por lo expuesto mediante la presente asumo toda la responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría y originalidad y veracidad del contenido del Trabajo de Investigación, así como por los derechos sobre la obra y/o invención presentada. Así mismo, por la presente me comprometo asumir además toda la carga pecuniaria que puedan derivarse para la UNF en favor de terceros por motivo de acciones reclamaciones o conflictos derivado al incumplimiento de lo declarado o las que encontrarán causa contenido del Trabajo de Investigación.

De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación del trabajo de investigación haya sido publicado anteriormente, asumo las consecuencias y sanciones civiles y penales que de mi acción se deriven.

Sullana 10 de junio del 2021



Leibi Miriam Vega Mejia

## ÍNDICE DE CONTENIDO

Dedicatoria .....	ii
Agradecimiento .....	iii
Autoridades de la Universidad Nacional de Frontera .....	iv
Visto Bueno del Asesor del Trabajo de Investigación .....	v
Declaración Jurada de No Plagio de Trabajo de Investigación para obtención de Grado Academico de Bachiller .....	vi
Índice de tablas.....	viii
Índice de figuras.....	viii
Resumen.....	ix
I. Introducción .....	11
II. Contextualización.....	13
III. Revisión de la literatura.....	14
3.1. Planificación de la revisión .....	14
3.1.1. Identificación de la necesidad de la revisión.....	14
3.1.2. Formulación de las preguntas de investigación.....	14
3.1.3. Definición de la cadena de búsqueda. ....	15
3.1.4. Selección de las fuentes de datos .....	15
3.2. Desarrollo de la revisión .....	16
3.2.1. Seleccionar los estudios primarios .....	16
3.2.2. Extracción y síntesis de la información.....	17
IV. Análisis de resultados.....	18
V. Conclusiones .....	22
VI. Referencias.....	24

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Criterios de exclusión e inclusión .....	16
Tabla 2. Número de investigaciones publicadas y estudios primarios .....	17
Tabla 3. Métodos de evaluación de calidad aplicados a los productos marinos. ....	18
Tabla 4. Técnicas espectroscópicas aplicados a productos marinos. ....	20
Tabla 5. Métodos de medida de propiedades dieléctricas. ....	21

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Tipos de carnes aplicadas al control de calidad de la espectroscopía dieléctrica. ....	22
--------------------------------------------------------------------------------------------------	----



## RESUMEN

Existe creciente demanda por tecnologías no destructivas para los procesos de análisis de los alimentos, entre estos los productos marinos. Una de las técnicas que despiertan más interés es la espectroscopía dieléctrica (ED); principalmente debido a su capacidad de penetración y su potencial para desarrollar modelos de predicción o clasificación basados en estos. Por tanto, el objetivo de esta revisión sistemática fue abordar las aplicaciones de la ED aplicada a productos marinos. La metodología se basó en recopilar artículos publicados de editoriales con más difusión académica (Elsevier, Springer y Taylor and Francis) en el periodo entre los años 2010 a 2020, discriminando los estudios primarios y con mayor relación al tema en concreto. En total se colectaron cincuenta y cuatro (54) artículos, seleccionando treinta y ocho (38) por ser estudios primarios. En la mayoría de estos artículos las muestras trabajadas fueron productos cárnicos (cerdo, pollo, res y productos marinos) principalmente en el rango de microondas. Esto permite concluir que la ED es una tecnología valiosa con creciente interés para la ingeniería alimentaria por su aplicabilidad en el análisis no invasivo de alimentos.

**Palabras clave:** Clasificación, control de calidad, espectroscopia dieléctrica, productos marinos, predicción.

## ABSTRACT

There is a growing demand for non-destructive technologies for food analysis processes, including marine products. One of the techniques that arouse more interest is dielectric spectroscopy (DS); mainly due to its penetration capacity and its potential to develop prediction or classification models based on these. Therefore, the objective of this systematic review was to address the applications of DS applied to marine products. The methodology was based on compiling articles published from publishers with more academic diffusion (Elsevier, Springer and Taylor and Francis) in the period between 2010 and 2020, discriminating the primary studies and with a greater relationship to the specific topic. In total, fifty-four (54) articles were collected, selecting thirty-eight (38) for being primary studies. In most of these articles, the samples worked were meat products (pork, chicken, beef and marine products) mainly in the microwave range. This allows us to conclude that DS is a valuable technology with growing interest for food engineering due to its applicability in non-invasive food analysis.

**Keywords:** Classification, quality control, dielectric spectroscopy, marine products, prediction.

## **I. INTRODUCCIÓN**

La calidad de los productos alimentarios depende de un control eficaz de los contaminantes microbianos, químicos y biotóxicos presentes en el procesamiento de los alimentos (Abdullah, 2007). Esto es principalmente importante en productos de rápida degradabilidad como los productos marinos (Carbajal et al., 2003). En este sentido existen metodologías de control aplicadas a la seguridad y calidad que muy a menudo se aplican fuera de línea y/o fuera de instalaciones de laboratorios, las cuales utilizan equipos especializados haciendo costosos estos análisis (Blakey & Morales-Partera, 2016).

El pescado es una fuente de alimento vital para la humanidad, destacando por su alto valor proteico y se considera un producto alimenticio altamente perecedero; debido esto a su alto contenido en humedad, grasas, proteínas y su débil tejido muscular. En consecuencia, desde el momento de la captura al consumo se producen cambios drásticos que afectan la calidad sensorial y nutricional del pescado (Velioğlu et al., 2015).

Su producción mundial en el año 2016 fue de 80 millones de toneladas de pescado comestible y su producción cultivado se elevó a 54.1 millones de toneladas de peces de aleta, 17.1 millones de toneladas de moluscos, 7.9 millones de toneladas de crustáceos y 938 500 toneladas de otros animales acuáticos (FAO, 2018). En la región Piura el principal producto marino es el pescado; aportando su industria de procesamiento alrededor del 23 % del empleo formal (Christensen et al., 2014).

El 40% de la producción pesquera se comercializa a nivel internacional, y el 80% de todas las especies marinas es consumido por Japón, la Unión Europea y los Estados Unidos. En tanto su comercio está cambiando de productos a granel a productos frescos y procesados enormemente, originando mayores desafíos en materia de saneamiento y control de la calidad (Alasalvar et al., 2010).

Por esta razón se están desarrollando investigaciones en técnicas no destructivas; usando, entre otros, la relación entre los atributos de calidad en alimentos y las propiedades eléctricas de los alimentos conocidas como propiedades dieléctricas (Castro-Giráldez et al., 2010c). La principal propiedad dieléctrica es la permitividad es una medida de varios fenómenos de polarización que se dan en diferentes rangos de frecuencias de campos eléctricos, véase

ecuación 1. (Blakey & Morales-Partera, 2016). La permitividad compleja ( $\epsilon_c$ ) es la propiedad dieléctrica que se encarga de la descripción del comportamiento del alimento cuando se somete a un campo electromagnético (Castro-Giráldez et al., 2010a)

$$\epsilon_c = \epsilon' - j\epsilon'' \dots \text{Ecuación 1}$$

Donde:

**$\epsilon'$** : **Constante dieléctrica**; parte real que describe la capacidad de un material que tiene para almacenar energía cuando es sometido a un campo eléctrico.

**$\epsilon''$** : **Factor de pérdida**; parte imaginaria que influye en la absorción y disminución de la energía y especifica la capacidad de disipación de energía en respuesta a un campo eléctrico aplicado. Expresado en la siguiente ecuación:

Las propiedades dieléctricas de los productos alimentarios y biológicos se han transformado en parámetros valiosos en la ingeniería y tecnología de los alimentos (Sanaeifar et al., 2018). De igual forma proporcionar información para monitorear procesos de fabricación y la mejora en el control de calidad de los alimentos. Esto principalmente debido a que sus mediciones son rápidas y no destructivas siendo aún muy atractiva para el control en línea de los procesos alimentarios (Castro-Giráldez et al., 2010b).

En resumen; la espectroscopia dieléctrica (ED) ha mostrado un avance importante en la industria alimentaria, siendo utilizada recientemente para analizar la viabilidad del control de los procesos de salazón de la carne de cerdo (Castro-Giráldez et al., 2010c), determinar los cambios de los atributos en la calidad de la carne de pollo envejecida mediante la medición de propiedades eléctricas (Trabelsi et al., 2014), optimizar los espectros dieléctricos para la detección de marcadores biológicos específicos en la carne fresca (Castro-Giráldez et al., 2011), analizar la viabilidad de utilizar la espectroscopia dieléctrica en los rangos de radiofrecuencia y microondas para la identificación de las clases de calidad de la carne de pechuga de pollo (Traffano-Schiffo et al., 2018a), analizar los espectros de baja frecuencia de las diferentes clases de calidad de la carne (Castro-Giráldez et al., 2010a).

A pesar de la existencia de estos estudios aún se requieren mayores estudios sobre la aplicabilidad de esta técnica y en consecuencia la presente revisión tiene como objetivo

principal recopilar los estudios existentes sobre la aplicación de la espectroscopia dieléctrica en el análisis de la calidad de pescado. En este sentido este trabajo se divide en: ítem 1, Introducción; ítem 2, breve contextualización acerca de la aplicación de la espectroscopia dieléctrica al control de los alimentos; ítem 3, se explica el método de revisión sistemática ejecutado; ítem 4, detalla el análisis de los resultados, y el ítem 5, conclusiones.

## **II. CONTEXTUALIZACIÓN**

La carne de pescado es recomendable como parte de una dieta saludable, debido a su aporte en proteínas, ácidos grasos poliinsaturados, vitaminas y minerales. Por otra parte se sabe que la carne de pescado es altamente perecedera provocando la disminución de su calidad debido al crecimiento microbiano, oxidación y autólisis enzimática (Hassoun et al., 2019). Por lo que una manipulación adecuada y su conservación posterior son clave para mantener los atributos nutricionales y un producto de calidad (Sogn-Grundvåg et al., 2021).

Para los productos marinos la frescura es el atributo primordial que aporta calidad y por tanto existen métodos sensoriales, no sensoriales y estadísticos para la evaluación de la frescura y la calidad, teniendo ventajas y desventajas específicas (Alasalvar et al., 2010). Entendiéndose que la calidad e inocuidad describen las condiciones aplicadas a los alimentos como manipulación, preparación, procesamiento, transporte y almacenamiento para la prevención de enfermedades transmitidas por alimentos, y no representen un riesgo para la salud del consumidor (Cheng et al., 2013).

Las técnicas y métodos tradicionales para la evaluación y detección de la calidad e inocuidad del pescado son tediosos, laboriosos, costosos y requieren mucho tiempo; por otro lado, las técnicas espectroscópicas han superado con éxito algunas de estas desventajas y pueden complementarlas o reemplazarlas (Cheng et al., 2013; Trabelsi et al., 2014).

En este sentido la espectroscopia dieléctrica (ED) muestra especial importancia por su capacidad de penetración al hacer uso de propiedades dieléctricas de los alimentos que dependen de su composición química (Sosa-Morales et al., 2010). Esto acoplado al desarrollo de nuevos basados en el estudio de las propiedades del campo electromagnético en los rangos de radiofrecuencia y microondas representan a herramientas útiles y no destructivos para el

análisis de la calidad de los productos alimentarios (Traffano-Schiffo et al., 2021b). En este sentido; recientes estudios recientes de investigación haciendo uso de ED para la evaluación de la calidad de la carne se han venido desarrollando (Damez & Clerjon, 2013).

### **III. REVISIÓN DE LA LITERATURA**

El proceso de búsqueda consiste en tres fases: planificación de la revisión, desarrollo de la revisión y reporte de resultados (Kitchenham et al., 2009; Ponce-Corona et al., 2019). A continuación, se brindan mayores detalles de cada una de las fases antes mencionadas

#### **3.1. Planificación de la revisión**

La planificación es la primera etapa de la revisión sistemática, en esta etapa se desarrolló el protocolo que guió la revisión. En este trabajo se consideraron las siguientes actividades:

##### **3.1.1. Identificación de la necesidad de la revisión**

La calidad de la carne de pescado es muy importante para la industria, ya que es un alimento perecedero produciendo cambios que pueden afectar su calidad, necesitando de una herramienta no invasiva para su análisis y control. Por ello en esta revisión se recopilaron los estudios existentes sobre la aplicación de la espectroscopia dieléctrica en el análisis de la calidad de pescado.

##### **3.1.2. Formulación de las preguntas de investigación**

Se establecieron las siguientes preguntas de investigación.

- PI01: ¿Qué métodos emergentes de control de calidad se aplican a los productos marinos?
- PI02: ¿Cuál es el estado actual de las técnicas espectroscópicas aplicadas a productos marinos?
- PI03: ¿Qué es la espectroscopia dieléctrica?
- PI04: ¿Los resultados obtenidos por la espectroscopia dieléctrica requieren algún tipo de procesamiento posterior?
- PI05: ¿La espectroscopia dieléctrica se ha usado en el control de calidad de productos marinos?

- PI06: ¿Qué posibles trabajos podrían desarrollarse usando esta tecnología?

### 3.1.3. Definición de la cadena de búsqueda.

En esta sección, se identificaron las palabras clave; las cuales fueron extraídas de las preguntas de investigación. Se decidió dividir el concepto productos marinos en: *pescado*, *carne* y *alimentos*, espectroscopia dieléctrica en: *espectroscopia* y *propiedades dieléctricas*, calidad en: *control de calidad* y *calidad de alimentos*.

Los principales problemas identificados fueron: *aplicación*, *estudio* y *utilización*. Como resultado: las palabras clave seleccionados fueron las siguientes: *Dielectric spectroscopy*, *quality control*, *quality food*, *dielectric properties*, *sea products*, *spectroscopy*, *method*, *quality control*.

La cadena de búsqueda se obtuvo a partir del agrupamiento de las palabras clave y el uso de operadores lógicos **AND** y **OR**; como resultado, se obtuvo la siguiente cadena:

“(Spectroscopy OR Dielectric properties OR Dielectric spectroscopy) AND (Study OR Determination OR Application) AND (Sea products OR Quality control OR Food quality OR Fish quality)”

En la presente investigación, se entiende por *estudio* a la obra o trabajo en el que se estudia o se investigan alimentos o productos marinos, *determinación* es la acción y efecto de determinar la calidad alimentaria, *aplicación* consiste en el empleo de una cosa o puesta en práctica de los procedimientos adecuados para conseguir un fin.

### 3.1.4. Selección de las fuentes de datos

La presente revisión sistemática realiza una descripción y análisis del estado de la investigación científica en relación con la aplicación de la espectroscopia dieléctrica al control de calidad de los productos marinos, teniendo como fuentes de datos: (1) Elsevier, (2) Wiley (3) Taylor and Francis durante el periodo de tiempo comprendido entre 2010 a 2020.

### 3.2. Desarrollo de la revisión

El objetivo de esta segunda fase del método de revisión sistemática es identificar tantos estudios primarios como sea posible usando una estrategia de búsqueda imparcial; dichos estudios primarios permitirán responder a las preguntas de investigación.

Para llevar a cabo el desarrollo de la presente revisión sistemática se realizaron las siguientes actividades:

#### 3.2.1. Seleccionar los estudios primarios

Para garantizar que la estrategia de búsqueda de los estudios primarios sea imparcial, se definieron algunos criterios de inclusión y exclusión, véase Tabla 1.

Tabla 1. Criterios de exclusión e inclusión

Criterios de inclusión		Criterios de exclusión	
CI01	Idioma inglés	CE01	Estudios duplicados
CI02	Publicados durante el periodo comprendido entre enero del 2010 y diciembre del 2019		
CI03	Contengan al menos dos palabras clave en el título	CE02	No basados en el uso de la espectroscopia dieléctrica
CI04	Relacionados de la espectroscopia dieléctrica aplicados al control de calidad.		

Fuente: Elaboración propia

Para seleccionar los estudios primarios se realizaron los siguientes pasos:

1. Adaptar la cadena de búsqueda al motor de la fuente de datos seleccionada.
2. Aplicar los criterios de inclusión CI01 y CI02.
3. Aplicar el criterio de inclusión CI03.
4. Leer resumen, introducción y conclusiones, y aplicar el criterio de inclusión CI04 y los criterios de exclusión.



Según Wohlin (2014), el *snowballing* se refiere al uso de la lista de referencias de un documento para identificar documentos adicionales que puede ser una buena alternativa al uso de búsquedas en base de datos para revisiones sistemáticas de la literatura.

La Tabla 2, resume el número de trabajos de investigación publicados durante el periodo definido para el presente estudio (véase la columna 2), así como la selección de los estudios primarios (véase la columna 3). Durante el proceso de búsqueda, indexación, y clasificación varios estudios aparecieron duplicados. Para gestionar las referencias y eliminar los duplicados se utilizó la herramienta Mendeley. Tras aplicar el procedimiento definido para la selección de los estudios primarios se seleccionaron 38 estudios.

Tabla 2. Número de investigaciones publicadas y estudios primarios

<b>Fuentes de datos</b>	<b>Resultados de la cadena de búsqueda</b>	<b>Estudios primarios</b>
ScienceDirect	37	26
Springer	9	6
Taylor and Francis	2	2
Wiley	6	4
<b>Total</b>	<b>54</b>	<b>38</b>

Fuente: Elaboración propia

### 3.2.2. Extracción y síntesis de la información.

Antes de realizar la extracción de la información, los estudios primarios fueron organizados por medio de la herramienta de gestión de archivos PDF Mendeley. Para llevar a cabo la presente actividad se diseñó una hoja de cálculo donde se recopilaron los siguientes datos de cada estudio primario: título, autor, año, título, revista, especie, objetivo, técnica de medida, rango de longitud, frecuencia, tiempo, temperatura, resultados y conclusiones. Para extraer y analizar la información de todos los artículos, se siguieron los siguientes pasos: (1) La

información fue extraída por el primer autor, y (2) por separado se verificó la información por los otros autores.

#### IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En esta sección se muestran los resultados obtenidos de la revisión sistemática de la literatura, los cuales permiten conocer el panorama general de la aplicación de la espectroscopia dieléctrica al control de calidad de los productos marinos. Los resultados se organizan por pregunta de investigación.

PI01: ¿Qué métodos emergentes de control de calidad se aplican a los productos marinos?

Los métodos para la evaluación de la calidad del pescado fresco pueden ser convenientemente divididos en métodos no sensoriales, sensoriales y estadísticos, véase Tabla 3.

Tabla 3. Métodos de evaluación de calidad aplicados a los productos marinos.

<b>MÉTODOS</b>			
<b>Método no sensorial</b>	Química/ Bioquímica	K & valores relacionados	(Agyekum et al., 2020)
		Aminas biógenas	(Soares et al., 2021)
		Componentes volátiles	(Nakano et al., 2018)
		Trimetilamina (TMA)	(Bourigua et al., 2011)
		Dimetilamina (DMA)	(Galstyan et al., 2020)
		Nitrógeno base volátil total (TVB-N)	(Q. Zhang et al., 2020)
	Físico/ Química	Espectroscopía ultravioleta-visible (UV-VIS)	(Figueiró et al., 2018)
		Infrarrojo cercano (NIR)	(Zhou et al., 2019)
		Infrarrojo medio (MIR)	(Boughattas et al., 2020)
		Nariz electrónica	(Güney & Atasoy, 2015)
	Análisis de imágenes	(L. Zhang et al., 2020)	
	Color	(Lalabadi et al., 2020)	
	Calorimetría diferencial de barrido	(Bainy et al., 2015)	
	Analizador de textura	(Yu et al., 2020)	
	Resonancia magnética nuclear	(Giese et al., 2018)	

	Micro biológica	Recuento total viable (TVC) Organismo de deterioro específico (SSO) Kit de pruebas API Microplacas Gram negativas y Gram positivas Identificación microbiana (MIDI) Éster metílico de ácidos grasos (FAME) Biosensores bacterianos Reacción de cadena de la polimerasa (PCR) PCR Cuantitativa Sondas de oligonucleótidos	(Mokrani et al., 2018) (Gong et al., 2020) (Minovski et al., 2019) (Skalli et al., 2013) (Liu et al., 2017) (Lage & Gentili, 2018) (Ramasami Sundhar Baabu et al., 2020) (Sultana et al., 2020) (Rimmer et al., 2012) (Caracciolo et al., 2019)
<b>Método sensorial</b>	Quimiometría/ Sensometría	Regresión de mínimos cuadrados parciales (PLSR) Análisis de componentes principales (PCA)	(Vásquez et al., 2018) (Guillén-Casla et al., 2011)
<b>Método estadístico</b>	Puntuación sensorial y clasificación	Método de índice de calidad (QIM) Esquema de clasificación análisis del perfil del sabor (FPA) Índice de calidad artificial (AQI)	(Billar dos Santos et al., 2014) (Bi et al., 2019) (García et al., 2009)

Fuente: Elaboración propia

PI02: ¿Cuál es el estado actual de las técnicas espectroscópicas aplicadas a productos marinos?

Durante los últimos años, las técnicas espectroscópicas han tenido un gran avance en la industria alimentaria, en la tabla 3 se observa una recolección de artículos sobre la aplicación de las técnicas espectroscópicas al control de calidad de los productos marinos en los últimos años.

Tabla 4. Técnicas espectroscópicas aplicados a productos marinos.

<b>TÉCNICA</b>	<b>REFERENCIA</b>	<b>ESPECIE</b>
VIS/NIR Spectroscopy	(Kimiya et al., 2013) (Reis et al., 2017) (Sivertsen et al., 2011)	Salmón ( <i>Salmo salar</i> ) Filete de atún ( <i>Thunnus</i> ) Filete de bacalao ( <i>Gadus morhua</i> )
Raman Spectroscopy	(Zhong et al., 2021) (Velioğlu et al., 2015)	Salmón ( <i>Salmo salar</i> ) Jurel ( <i>Trachurus trachurus</i> )
UV/VIS Spectroscopy	(Rahman et al., 2015a)  (Rahman et al., 2016b)	Dace japonés ( <i>Tribolodón hakonensis</i> ) Dace japonés ( <i>Tribolodón hakonensis</i> )
MIR Spectroscopy	(Hernández-Martínez et al., 2014)  (Boughattas & Karoui, 2021)	Filete de atún aleta azul ( <i>Thunnus thunnus</i> ) Atún ( <i>Thunnus</i> )
NMR Spectroscopy	(Tan et al., 2018) (Monakhova et al., 2018) (Giese et al., 2018)	Pez cebra ( <i>Danio rerio</i> ) Aceite de Krill Dace japonés ( <i>Tribolodón hakonensis</i> )
Spectral Imaging	(Fengou et al., 2019)	Dorada ( <i>Sparus aurata</i> )

Fuente: Elaboración propia

PI03: ¿Qué es la espectroscopia dieléctrica?

Es la técnica que describe las propiedades eléctricas de un flujo de fotones al atravesar un medio, siendo estos los que generan interacciones eléctricas y magnéticas. Las ondas electromagnéticas se componen de un campo eléctrico y un campo magnético. En el rango de longitudes de onda que comprende la espectroscopía dieléctrica, es la radiofrecuencia y las microondas. Las microondas comprenden un rango de longitudes de onda desde 3m hasta 3mm. El rango de frecuencia va desde 100MHz a 100GHz (Castro Giráldez, 2010). En la tabla 5 se observan los métodos de medida de las propiedades dieléctricas.

Tabla 5. Métodos de medida de propiedades dieléctricas.

<b>MÉTODO</b>	<b>EQUIPO</b>	<b>MUESTRA</b>
Platos paralelos	Medidor LCR Analizador de impedancia	Lámina plana y lisa
Sonda coaxial	Analizador de redes Ordenador interno Software	Espesor infinito y no magnético Muestras líquidas y semisólidas
Línea de transmisión	Guía de onda Analizador de redes	Rectangulares o anulares Sólidos duros maleables
Cavidades resonantes	Software	Producto fluidos Geometría específica
Técnicas de espacio libre	Software	Superficies planas y paralelas Productos de humedad baja o intermedia
Cavidades resonantes	Software	Producto fluidos Geometría específica

Fuente: Elaboración propia

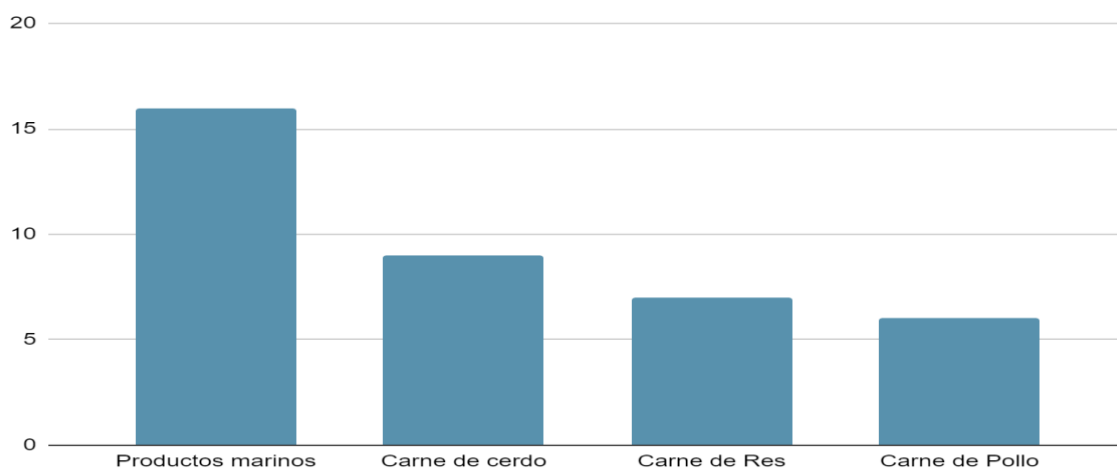
PI04: ¿Los resultados obtenidos por la espectroscopia dieléctrica requieren algún tipo de procesamiento posterior?

Después del procesamiento se necesita una etapa de validación que permitirá garantizar que el resultado obtenido es lo más cercano posible a los valores de referencia propuestos por los análisis fisicoquímicos. Lo cual los estudios primarios nos indican diferentes resultados como; el uso de las propiedades dieléctricas es más confiable a las 24h después del sacrificio para detectar bajas calidades de carne (Marta Castro-Giráldez et al., 2010a), La distribución de la temperatura con diferentes aditivos revela que la adición de la mezcla de sal y sacarosa al camarón tiene grandes perspectivas para las aplicaciones comerciales e industriales de este marisco (Yang et al., 2017), las propiedades dieléctricas en las dispersiones  $\alpha$ ,  $\beta$  y la conductividad iónica pueden predecir el tiempo post mortem en la carne de pollo, de forma no destructiva (Traffano-Schiffo et al., 2021b).

PI05: ¿La espectroscopia dieléctrica se ha usado en el control de calidad de productos marinos?

En la figura 1, se observan los diferentes tipos de carnes usadas en la espectroscopia dieléctrica recopilados en esta investigación, las cuales 17 artículos usaron productos marinos, 9 usaron carne de cerdo, 7 usaron carne de res y 6 usaron carne de pollo.

Figura 1. Tipos de carnes aplicadas al control de calidad de la espectroscopía dieléctrica.



Fuente: Elaboración propia

PI06: ¿Qué posibles trabajos podrían desarrollarse usando esta tecnología?

Podrían desarrollarse trabajos sobre la predicción de la descomposición de las carnes de recursos hidrobiológicos, sabiendo que el porcentaje de humedad es el principal medio para la proliferación de microorganismos, esta tecnología ayudaría a la determinación de biomarcadores, otro estudio sería la predicción y detección de histamina en productos marinos, utilizándose para la evaluación del tiempo después del sacrificio.

## V. CONCLUSIONES

En este trabajo de investigación, se realizó una revisión sistemática de la literatura referente a la aplicación de la espectroscopía dieléctrica, en particular se trató el tema del control de calidad, logrando recopilar estudios existentes sobre la aplicación de la espectroscopia dieléctrica en el análisis de la calidad de pescado.

Asimismo, se sabe que la espectroscopía dieléctrica cumple un rol muy importante en la ingeniería; por consiguiente, se han logrado realizar diferentes estudios sobre esta tecnología no invasiva. Por lo cual los estudios primarios se enfocaron en diferente materia prima a analizar, cómo las diferentes especies de productos marinos, carne de cerdo, pollo y res estudiadas enfocadas al control de calidad. La mayoría de los estudios primarios fueron publicados en revistas científicas tales como: Journal of Food Engineering, Innovative Food Science and Emerging Technologies y LWT-Food Science & Technology.

Por otro lado, se emplearon como técnica de medida la sonda coaxial conectada a un analizador de redes vectoriales en el rango de las microondas, y placas paralelas conectada a un analizador de impedancia en el rango de radiofrecuencias, indicando en los estudios primarios los rangos más utilizados aplicados en los productos cárnicos de (200MHz - 20GHz), (400MHz - 20GHz) y (500MHz - 20GHz).

Finalmente, se demuestra que la espectroscopía dieléctrica es una buena herramienta para el análisis de las calidades de la carne de pescado, ya que en la actualidad es un reto muy importante mantener productos alimentarios de calidad en la industria alimentaria.

## VI. REFERENCIAS

- Abdullah, M. Z. (2007). Computer vision and infrared techniques for image acquisition in the food and beverage industries \* \*Adapted from Computer vision technology for food quality evaluation, ed. Da-Wen Sun, Chapter 1, Image acquisition systems, pp. 3–35. Copyright (2007), with permission from Elsevier. In *Computer Vision Technology in the Food and Beverage Industries* (pp. 3–26). <https://doi.org/10.1533/9780857095770.1.3>
- Agyekum, A. A., Kutsanedzie, F. Y. H., Annavaram, V., Mintah, B. K., Asare, E. K., & Wang, B. (2020). FT-NIR coupled chemometric methods rapid prediction of K-value in fish. In *Vibrational Spectroscopy* (Vol. 108, p. 103044). <https://doi.org/10.1016/j.vibspec.2020.103044>
- Alasalvar, C., Grigor, J. M., & Ali, Z. (2010). Practical Evaluation of Fish Quality by Objective, Subjective, and Statistical Testing. In *Handbook of Seafood Quality, Safety and Health Applications* (pp. 11–28). <https://doi.org/10.1002/9781444325546.ch2>
- Bainy, E. M., Corazza, M. L., & Lenzi, M. K. (2015). Measurement of freezing point of tilapia fish burger using differential scanning calorimetry (DSC) and cooling curve method. *Journal of Food Engineering*, 161, 82–86.
- Bi, H., Cai, D., Zhang, R., Zhu, Y., Zhang, D., Qiao, L., & Liu, Y. (2019). Mass spectrometry-based metabolomics approach to reveal differential compounds in pufferfish soups: Flavor, nutrition, and safety. *Food Chemistry*, 301, 125261.
- Billar dos Santos, A. P., Kushida, M. M., Viegas, E. M. M., & Lapa-Guimarães, J. (2014). Development of Quality Index Method (QIM) scheme for Acoupa weakfish (*Cynoscion acoupa*). *Lebensmittel-Wissenschaft + [i.e. Und] Technologie. Food Science + Technology. Science + Technologie Alimentaire*, 57(1), 267–275.



- Blakey, R. T., & Morales-Partera, A. M. (2016). Microwave dielectric spectroscopy – A versatile methodology for online, non-destructive food analysis, monitoring and process control. In *Engineering in Agriculture, Environment and Food* (Vol. 9, Issue 3, pp. 264–273). <https://doi.org/10.1016/j.eaef.2016.02.001>
- Boughattas, F., & Karoui, R. (2021). Mid infrared spectroscopy combined with chemometric tools for the identification of canned tuna species in brine. In *Journal of Food Composition and Analysis* (Vol. 96, p. 103717). <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2020.103717>
- Boughattas, F., Le Fur, B., & Karoui, R. (2020). Mid infrared spectroscopy coupled with chemometric tools for qualitative analysis of canned tuna with sunflower medium. In *Journal of Food Composition and Analysis* (Vol. 91, p. 103519). <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2020.103519>
- Bourigua, S., El Ichi, S., Korri-Youssoufi, H., Maaref, A., Dzyadevych, S., & Renault, N. J. (2011). Electrochemical sensing of trimethylamine based on polypyrrole–flavin-containing monooxygenase (FMO3) and ferrocene as redox probe for evaluation of fish freshness. In *Biosensors and Bioelectronics* (Vol. 28, Issue 1, pp. 105–111). <https://doi.org/10.1016/j.bios.2011.07.005>
- Caracciolo, A. B., Dejana, L., Fajardo, C., Grenni, P., Martin, M., Mengs, G., Sánchez-Fortún, S., Lettieri, T., Saccà, M. L., & Medlin, L. K. (2019). A new fluorescent oligonucleotide probe for in-situ identification of *Microcystis aeruginosa* in freshwater. *Microchemical Journal, Devoted to the Application of Microtechniques in All Branches of Science*, 148, 503–513.
- Carbajal, M., Rabelo, P., Gonzales, C., & María, A. (2003). Evaluación microbiológica de productos adquiridos en el mercado mayorista pesquero de ventanilla - Perú. *Revista*

[http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0864-34662003000200005](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-34662003000200005)

Castro Giráldez, M. (2010). *Estudio de los Espectros Dieléctricos para el control de calidad de los alimentos* (P. Fito Maupoey, F. Toldrá Vilardell, & P. Fito Suñer (eds.)) [Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Valencia].

<https://m.riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/8550/tesisUPV3351.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Castro-Giráldez, M., Botella, P., Toldrá, F., & Fito, P. (2010a). Low-frequency dielectric spectrum to determine pork meat quality. In *Innovative Food Science & Emerging Technologies* (Vol. 11, Issue 2, pp. 376–386).

<https://doi.org/10.1016/j.ifset.2010.01.011>

Castro-Giráldez, M., Fito, P. J., Chenoll, C., & Fito, P. (2010b). Development of a dielectric spectroscopy technique for determining key chemical components of apple maturity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(6), 3761–3766.

Castro-Giráldez, M., Fito, P. J., & Fito, P. (2010c). Application of microwaves dielectric spectroscopy for controlling pork meat (*Longissimus dorsi*) salting process. In *Journal of Food Engineering* (Vol. 97, Issue 4, pp. 484–490).

<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.11.005>

Castro-Giráldez, M., Dols, L., Toldrá, F., & Fito, P. (2011). Development of a dielectric spectroscopy technique for the determination of key biochemical markers of meat quality. In *Food Chemistry* (Vol. 127, Issue 1, pp. 228–233).

<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.12.089>

Cheng, J.-H., Dai, Q., Sun, D.-W., Zeng, X.-A., Liu, D., & Pu, H.-B. (2013). Applications of non-destructive spectroscopic techniques for fish quality and safety evaluation and

- inspection. In *Trends in Food Science & Technology* (Vol. 34, Issue 1, pp. 18–31).  
<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2013.08.005>
- Christensen, V., de la Puente, S., Sueiro, J. C., Steenbeek, J., & Majluf, P. (2014). Valuing seafood: The Peruvian fisheries sector. In *Marine Policy* (Vol. 44, pp. 302–311).  
<https://doi.org/10.1016/j.marpol.2013.09.022>
- Damez, J.-L., & Clerjon, S. (2013). Quantifying and predicting meat and meat products quality attributes using electromagnetic waves: an overview. *Meat Science*, 95(4), 879–896.
- Fengou, L.-C., Lianou, A., Tsakanikas, P., Gkana, E. N., Panagou, E. Z., & Nychas, G.-J. E. (2019). Evaluation of Fourier transform infrared spectroscopy and multispectral imaging as means of estimating the microbiological spoilage of farmed sea bream. *Food Microbiology*, 79, 27–34.
- Figueiró, C. S. M., de Oliveira, D. B., Russo, M. R., Caires, A. R. L., & Rojas, S. S. (2018). Fish farming water quality monitored by optical analysis: The potential application of UV–Vis absorption and fluorescence spectroscopy. In *Aquaculture* (Vol. 490, pp. 91–97). <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.02.027>
- FAO. Food and Agriculture Organization. (2018). *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2018: Cumplir los objetivos de desarrollo sostenible*. United Nations.
- Galstyan, V., Ponzoni, A., Kholmanov, I., Natile, M. M., Comini, E., & Sberveglieri, G. (2020). Highly sensitive and selective detection of dimethylamine through Nb-doping of TiO<sub>2</sub> nanotubes for potential use in seafood quality control. In *Sensors and Actuators B: Chemical* (Vol. 303, p. 127217). <https://doi.org/10.1016/j.snb.2019.127217>
- García, P., Zapico, E., & Colubi, A. (2009). An angiosperm quality index (AQI) for Cantabrian estuaries. *Ecological Indicators*, 9(5), 856–865.

- Giese, E., Winkelmann, O., Rohn, S., & Fritsche, J. (2018). Determining quality parameters of fish oils by means of <sup>1</sup>H nuclear magnetic resonance, mid-infrared, and near-infrared spectroscopy in combination with multivariate statistics. *Food Research International*, *106*, 116–128.
- Gong, C., Li, Y., Gao, R., Xiao, F., Zhou, X., Wang, H., Xu, H., Wang, R., Huang, P., & Zhao, Y. (2020). Inactivation of specific spoilage organism (*Pseudomonas*) of sturgeon by curcumin-mediated photodynamic inactivation. *Photodiagnosis and Photodynamic Therapy*, *31*, 101827.
- Guillén-Casla, V., Rosales-Conrado, N., León-González, M. E., Pérez-Arribas, L. V., & Polo-Díez, L. M. (2011). Principal component analysis (PCA) and multiple linear regression (MLR) statistical tools to evaluate the effect of E-beam irradiation on ready-to-eat food. *Journal of Food Composition and Analysis: An Official Publication of the United Nations University, International Network of Food Data Systems*, *24*(3), 456–464.
- Güney, S., & Atasoy, A. (2015). Study of fish species discrimination via electronic nose. *Computers and Electronics in Agriculture*, *119*, 83–91.
- Hassoun, A., Sahar, A., Lakhal, L., & Aït-Kaddour, A. (2019). Fluorescence spectroscopy as a rapid and non-destructive method for monitoring quality and authenticity of fish and meat products: Impact of different preservation conditions. In *LWT* (Vol. 103, pp. 279–292). <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.01.021>
- Hernández-Martínez, M., Gallardo-Velázquez, T., Osorio-Revilla, G., Almaraz-Abarca, N., & Castañeda-Pérez, E. (2014). Application of MIR-FTIR spectroscopy and chemometrics to the rapid prediction of fish fillet quality. In *CyTA - Journal of Food* (Vol. 12, Issue 4, pp. 369–377). <https://doi.org/10.1080/19476337.2014.889213>

- Kimiya, T., Sivertsen, A. H., & Heia, K. (2013). VIS/NIR spectroscopy for non-destructive freshness assessment of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) fillets. In *Journal of Food Engineering* (Vol. 116, Issue 3, pp. 758–764). <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.01.008>
- Kitchenham, B., Pearl Brereton, O., Budgen, D., Turner, M., Bailey, J., & Linkman, S. (2009). Systematic literature reviews in software engineering – A systematic literature review. *Information and Software Technology*, 51(1), 7–15.
- Lage, S., & Gentili, F. G. (2018). Quantification and characterisation of fatty acid methyl esters in microalgae: Comparison of pretreatment and purification methods. *Bioresource Technology*, 257, 121–128.
- Lalabadi, H. M., Sadeghi, M., & Mireei, S. A. (2020). Fish freshness categorization from eyes and gills color features using multi-class artificial neural network and support vector machines. In *Aquacultural Engineering* (Vol. 90, p. 102076). <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2020.102076>
- Liu, S., Jiang, Z., Wu, Y., Zhang, J., Arbi, I., Ye, F., Huang, X., & Macreadie, P. I. (2017). Effects of nutrient load on microbial activities within a seagrass-dominated ecosystem: Implications of changes in seagrass blue carbon. *Marine Pollution Bulletin*, 117(1-2), 214–221.
- Minovski, N., Saçan, M. T., Eminoğlu, E. M., Erdem, S. S., & Novič, M. (2019). Revisiting fish toxicity of active pharmaceutical ingredients: Mechanistic insights from integrated ligand-/structure-based assessments on acetylcholinesterase. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 170, 548–558.

- Mokrani, D., Oumouna, M., & Cuesta, A. (2018). Fish farming conditions affect to European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) quality and shelf life during storage in ice. *Aquaculture* , 490, 120–124.
- Monakhova, Y. B., Zailer, E., & Diehl, B. W. K. (2018). Quality Control of Krill Oil by Nuclear Magnetic Resonance (NMR) Spectroscopy: Composition and Detection of Foreign Species. In *Analytical Letters* (Vol. 51, Issue 16, pp. 2551–2562). <https://doi.org/10.1080/00032719.2018.1440402>
- Nakano, M., Sagane, Y., Koizumi, R., Nakazawa, Y., Yamazaki, M., Watanabe, T., Takano, K., & Sato, H. (2018). Data on volatile compounds in fermented materials used for salmon fish sauce production. *Data in Brief*, 16, 154–156.
- Ponce-Corona, E., Sanchez, M. G., Fajardo-Delgado, D., Castro, W., De-la-Torre, M., & Avila-George, H. (2019). Detection of Vegetation Using Unmanned Aerial Vehicles Images: A Systematic Review. In *2019 8th International Conference On Software Process Improvement (CIMPS)*. <https://doi.org/10.1109/cimps49236.2019.9082434>
- Rahman, A., Kondo, N., Ogawa, Y., Suzuki, T., Shirataki, Y., & Wakita, Y. (2015a). Prediction of K value for fish flesh based on ultraviolet–visible spectroscopy of fish eye fluid using partial least squares regression. In *Computers and Electronics in Agriculture* (Vol. 117, pp. 149–153). <https://doi.org/10.1016/j.compag.2015.07.018>
- Rahman, A., Kondo, N., Ogawa, Y., Suzuki, T., Shirataki, Y., & Wakita, Y. (2016b). Classification of fresh and spoiled Japanese dace ( *Tribolodon hakonensis* ) fish using ultraviolet–visible spectra of eye fluid with multivariate analysis. In *Engineering in Agriculture, Environment and Food* (Vol. 9, Issue 1, pp. 64–69). <https://doi.org/10.1016/j.eaef.2015.06.004>

- Ramasami Sundhar Baabu, P., Srinivasan, P., Kulandaisamy, A. J., Robinson, J., Geevaretnam, J., & Rayappan, J. B. B. (2020). A non-enzymatic electrochemical biosensor for the detection of formalin levels in fishes: Realization of a novel comparator effect based on electrolyte. *Analytica Chimica Acta*, *1139*, 50–58.
- Reis, M. M., Martínez, E., Saitua, E., Rodríguez, R., Pérez, I., & Olabarrieta, I. (2017). Non-invasive differentiation between fresh and frozen/thawed tuna fillets using near infrared spectroscopy (Vis-NIRS). In *LWT* (Vol. 78, pp. 129–137). <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.12.014>
- Rimmer, A. E., Becker, J. A., Tweedie, A., & Whittington, R. J. (2012). Development of a quantitative polymerase chain reaction (qPCR) assay for the detection of dwarf gourami iridovirus (DGIV) and other megalocytiviruses and comparison with the Office International des Epizooties (OIE) reference PCR protocol. *Aquaculture*, *358-359*, 155–163.
- Sanaeifar, A., Jafari, A., & Golmakani, M.-T. (2018). Fusion of dielectric spectroscopy and computer vision for quality characterization of olive oil during storage. In *Computers and Electronics in Agriculture* (Vol. 145, pp. 142–152). <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.12.035>
- Sivertsen, A. H., Kimiya, T., & Heia, K. (2011). Automatic freshness assessment of cod (*Gadus morhua*) fillets by Vis/Nir spectroscopy. In *Journal of Food Engineering* (Vol. 103, Issue 3, pp. 317–323). <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.10.030>
- Skalli, A., Castillo, M., Andree, K. B., Tort, L., Furones, D., & Gisbert, E. (2013). The LPS derived from the cell walls of the Gram-negative bacteria *Pantoea agglomerans* stimulates growth and immune status of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) juveniles. *Aquaculture*, *416-417*, 272–279.

- Soares, J. M., Gomes, J. M., Reis, G. C. L., Hoyos, D. C. M., Custódio, F. B., & Gloria, M. B. A. (2021). Biogenic amines in amazonian fish and their health effects are affected by species and season of capture. In *Food Control* (Vol. 123, p. 107773). <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107773>
- Sogn-Grundvåg, G., Zhang, D., Henriksen, E., Joensen, S., Bendiksen, B.-I., & Hermansen, Ø. (2021). Fish quality and market performance: The case of the coastal fishery for Atlantic cod in Norway. In *Marine Policy* (Vol. 127, p. 104449). <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2021.104449>
- Sosa-Morales, M. E., Valerio-Junco, L., López-Malo, A., & García, H. S. (2010). Dielectric properties of foods: Reported data in the 21st Century and their potential applications. In *LWT - Food Science and Technology* (Vol. 43, Issue 8, pp. 1169–1179). <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.03.017>
- Sultana, S., Hossain, M. A. M., Azlan, A., Johan, M. R., Chowdhury, Z. Z., & Ali, M. E. (2020). TaqMan probe based multiplex quantitative PCR assay for determination of bovine, porcine and fish DNA in gelatin admixture, food products and dietary supplements. *Food Chemistry*, 325, 126756.
- Tan, C., Huang, Y., Feng, J., Li, Z., & Cai, S. (2018). Freshness assessment of intact fish via 2D 1H J-resolved NMR spectroscopy combined with pattern recognition methods. In *Sensors and Actuators B: Chemical* (Vol. 255, pp. 348–356). <https://doi.org/10.1016/j.snb.2017.08.060>
- Trabelsi, S., Roelvink, J., & Russell, R. B. (2014). Investigating the influence of aging on radiofrequency dielectric properties of chicken meat. *The Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy: A Publication of the International Microwave Power Institute*, 48(4), 215–220.



- Traffano-Schiffo, M. V., Castro-Giraldez, M., Colom, R. J., & Fito, P. J. (2018a). Innovative photonic system in radiofrequency and microwave range to determine chicken meat quality. *Journal of Food Engineering*, *239*, 1–7.
- Traffano-Schiffo, M. V., Castro-Giraldez, M., Colom, R. J., Talens, P., & Fito, P. J. (2021b). New methodology to analyze the dielectric properties in radiofrequency and microwave ranges in chicken meat during postmortem time. In *Journal of Food Engineering* (Vol. 292, p. 110350). <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110350>
- Vásquez, N., Magán, C., Oblitas, J., Chuquizuta, T., Avila-George, H., & Castro, W. (2018). Comparison between artificial neural network and partial least squares regression models for hardness modeling during the ripening process of Swiss-type cheese using spectral profiles. *Journal of Food Engineering*, *219*, 8–15.
- Velioğlu, H. M., Temiz, H. T., & Boyaci, I. H. (2015). Differentiation of fresh and frozen-thawed fish samples using Raman spectroscopy coupled with chemometric analysis. *Food Chemistry*, *172*, 283–290.
- Wohlin, C. (2014). Guidelines for snowballing in systematic literature studies and a replication in software engineering. *Proceedings of the 18th International Conference on*. <https://dl.acm.org/doi/pdf/10.1145/2601248.2601268>
- Yang, L., Qiu, W., Yin, Y., Row, K. H., Cheng, Y., & Jin, Y. (2017). Dielectric properties of Antarctic krill (*Euphausia superba*) and white shrimp (*Penaeus vannamei*) during microwave thawing and heating. *The Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy: A Publication of the International Microwave Power Institute*, *51*(1), 3–30.
- Yu, E., Fu, B., Wang, G., Li, Z., Ye, D., Jiang, Y., Ji, H., Wang, X., Yu, D., Ehsan, H., Gong, W., Zhang, K., Tian, J., Yu, L., Hu, Z., Xie, J., & Kaneko, G. (2020). Proteomic and

- metabolomic basis for improved textural quality in crisp grass carp (*Ctenopharyngodon idellus* C.et V) fed with a natural dietary pro-oxidant. *Food Chemistry*, 325, 126906.
- Zhang, L., Wang, J., & Duan, Q. (2020). Estimation for fish mass using image analysis and neural network. In *Computers and Electronics in Agriculture* (Vol. 173, p. 105439). <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105439>
- Zhang, Q., Ding, Y., Gu, S., Zhu, S., Zhou, X., & Ding, Y. (2020). Identification of changes in volatile compounds in dry-cured fish during storage using HS-GC-IMS. *Food Research International* , 137, 109339.
- Zhong, N., Li, Y. P., Li, X. Z., Guo, C. X., & Wu, T. (2021). Accurate prediction of salmon storage time using improved Raman spectroscopy. In *Journal of Food Engineering* (Vol. 293, p. 110378). <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110378>
- Zhou, J., Wu, X., Chen, Z., You, J., & Xiong, S. (2019). Evaluation of freshness in freshwater fish based on near infrared reflectance spectroscopy and chemometrics. In *LWT* (Vol. 106, pp. 145–150). <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.01.056>