

UNA APROXIMACION MATEMATICA AL PROCESO DE CONGELACION POR AIRE FORZADO DE LA COJINOA (*Caranx crysos*)

A MATHEMATICAL APPROACH TO THE FORCED AIR FREEZING PROCESS OF COJINOA (*Caranx crysos*)

***Pimienta Rodríguez Lina Marcela¹, García Monsalvo Lian Karla¹, Espeleta Alvaro¹**

¹Universidad del Magdalena. Kra 2° 18- 37, Taganga Santa Marta, Colombia. Correo electrónico:
linamarcelapimienta@gmail.com *, lian1able@gmail.com

Recibido: Mayo 28 de 2019; Aprobado: Agosto 25 de 2019

RESUMEN

El agua pura tiene un punto de fusión de 0 °C. Las sales, proteínas y grasas disueltas en el agua que contienen los alimentos hacen que en esta su punto de congelación dependa de la concentración de esta solución que variará en la medida que se vaya congelando. El presente trabajo evalúa la velocidad de congelación en un sistema de aire forzado estableciendo un modelo matemático para cada uno de los sectores del proceso de congelación de un alimento fresco (enfriamiento, congelación y sub-congelación). Las muestras se obtuvieron en las pescaderías del mercado

público de la ciudad; con un peso promedio 500 g, se utilizó un equipo de enfriamiento por aire forzado con una temperatura de operación de $-27\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Las muestras poseían tres (3) presentaciones: sin empaque, con empaque y glaseado, en tres (3) cortes: Entero eviscerado, Filetes y Postas. Se establecieron ecuaciones lineales para cada una de las etapas en el proceso de congelación por aire forzado con el fin de estimar los tiempos parciales y totales de congelación de cada una de las presentaciones y comparar las velocidades de congelación.

Autor de correspondencia Pimienta
Rodríguez Lina Marcela *correo de
contacto:
linamarcelapimienta@gmail.com

Palabras Claves: Congelación por aire forzado, cojinoa, curvas de congelación

ABSTRACT

Pure water has a melting point of $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. The salts, proteins and fats dissolved in the water contained in the food cause that in this its freezing point depends on the concentration of this solution that will vary as it freezes. The present work evaluates the freezing speed in a forced air system establishing a mathematical model for each one of the sectors of the freezing process of a fresh food (cooling, freezing and sub-freezing). The samples were obtained in the fishmongers of the public market of the city; with an average weight of 500 g, forced air cooling equipment with an operating temperature of $-27\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ was used. The samples had three (3) presentations: without packaging, with packaging and glaze, in three (3) cuts: Whole eviscerated, Fillets and posts. Linear equations were established for each of the stages in the forced air freezing process in order to estimate the partial and total freezing times of each of the presentations and compare the freezing speeds

Key Words: Forced air freezing, Cojinoa, Freezing curves.

INTRODUCCIÓN

El uso de herramientas para la conservación de los alimentos se remonta a épocas primitivas en la evolución del hombre. Con el paso de los años, el desarrollo de procesos tecnológicos ha facilitado este trabajo, mediante la aplicación de distintas técnicas, que permiten extender la vida útil de los alimentos. El auge de la industria de los alimentos inicio en el siglo XIX y logro su punto cúspide en el siglo XX, con la automatización en los procesos de elaboración de alimentos, entre los que se destacan principalmente, aquellos relacionados con la transformación, conservación de productos agrarios (Santamaria, 2010).

La creciente tendencia por productos mínimamente procesados, hacen que el desafío del profesional de los alimentos se vea dirigido a la comprensión y utilización de tecnologías discontinuas derivadas de innovaciones radicales, así como tecnologías más evolucionadas formadas a partir de la convergencia de ramas de investigación antes separadas con el fin de obtener alimentos que conserven en gran medida sus características nutricionales y organolépticas y al mismo tiempo desarrollar técnicas de conservación más

eficientes, con el objetivo de alargar la vida útil de los alimentos de consumo diario (Herrero & Romero, 2006; Colette et al., 2015; Garcia et al., 2016; Seijas y Pabón , 2017; Torrenegra-Alarcon, 2019). De otra parte contemplar aspectos relacionados con la exportación de productos pequeños como el atún, que se ha visto afectado con la fluctuación del dólar (Mercado, 2018), siendo un tema de análisis en varios países, los mecanismos de promoción de exportación de especies acuícolas: camarones (*palaemon serratus*) (Rivero et al., 2016).

Las técnicas más destacadas dentro de este campo son aquellas que han conseguido reducir la proliferación de microorganismos sin un incremento abrupto de la temperatura en el alimento. De esta manera, estos procesos no térmicos, no afectan las propiedades del alimento o lo hacen mínimamente, manteniendo durante todo el proceso la temperatura por debajo de la que normalmente se utilizaría en el proceso convencional (Garcia, 2007; Barbosa & Bermudez, 2010).

Los animales y las plantas están constituidos principalmente por agua, que representa un 80 % a 90 % de su peso

corporal. Por consiguiente, el agua es el componente principal de los alimentos frescos. Cuando se congela un alimento el proceso que se realiza consiste en retirar calor de este sometiéndolo a la acción de un medio que se encuentra a temperaturas por debajo de $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ consiguiéndose solidificar gran parte del agua de composición.

Este proceso causa un fuerte cambio en cuanto a la estructura de los alimentos, su tiempo de conservación estará ligada a la temperatura final del proceso y a la duración total del proceso de enfriamiento. (Plank, 1977). El agua pura tiene un punto de fusión o congelación de 0°C , mientras que el agua contenida en los alimentos, que contiene sales, proteínas, y grasas disueltas, no es meramente pura por lo tanto, su congelación o cambio de estado dependerá de la concentración de esta solución que variará en la medida que se vaya congelando.

La carne, el pescado, las frutas y verduras contienen una gran cantidad de agua y sus puntos de congelación oscilan entre 0°C y $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$, esta zona se le conoce como zona máxima de formación de cristales. (Cox,

1987). Finalmente, el producto alcanza, en su punto más caliente, la temperatura final de congelación ($-18\text{ }^{\circ}\text{C}$). De la velocidad con que se realice este enfriamiento total dependerá la clasificación en la que se ubique el tipo de congelación a la que se sometió el producto. Tiempos inferiores a una hora se catalogarán como congelación ultrarrápida o flash, tiempos mayores de una hora, pero menores de 8 se anotarán para velocidades de congelación rápida; tiempos entre 8 y 16 horas entregarán velocidades moderadas y tiempos mayores de 16 horas caracterizarán velocidades de congelación lentas.

La velocidad a la cual se efectúe el proceso de congelación incidirá en el tamaño de los cristales formados lo que a su vez afectará en forma directa la calidad final del producto congelado. (Cox, 1987). El presente trabajo evalúa la velocidad de congelación estableciendo un modelo matemático para cada uno de los sectores del proceso de congelación (enfriamiento, congelación y sub-congelación), otros autores han empleado los modelos matemáticos como herramienta de predicción (González *et al.*, 2016).

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se realizó en el laboratorio de Refrigeración de la Planta

Piloto Pesquera de Taganga de la Universidad del Magdalena, Santa Marta,

Colombia. Las muestras se obtuvieron en las pescaderías del mercado público de la ciudad; con un peso promedio 500 g, se utilizó un equipo de enfriamiento por aire forzado con una temperatura de operación de -27 °C a -30 °C. Las muestras poseían tres (3) presentaciones: sin empaque, con empaque y glaseado, en tres (3) cortes: Entero eviscerado, Filetes y postas. La especie estudiada fue la cojinoa (Caranx

Crysos), especie marina, salobre; asociado al arrecife; con un rango de profundidad entre 0 m y 100 m (Smith-Vaniz, 1986), Los adultos se alimentan de peces, camarones y otros invertebrados. Se reproducen fuera de la costa de enero a agosto. (Smith, 1997).

Se tomaron mediciones biométricas: Longitud total, altura y espesor. Para la

obtención de datos se usaron cuatro termómetros marca testo, tres de ellos modelo 108, con un rango de temperatura de -50 a 300 °C, y otro modelo 915-1 con un rango de temperatura de -50 a 200 °C. Se procede introduciendo cada una de las sondas hasta centro térmico del pescado y otro utilizado para la medición de temperatura ambiente dentro del equipo, el proceso inicio justo al momento de encender el dispositivo de enfriamiento, haciendo toma de datos cada tres minutos.

Observando los cambios de temperatura que ocurre desde la etapa de enfriamiento, hasta la de sub-congelación. Se procesan los datos para obtener ecuaciones de cada una de las zonas: enfriamiento, congelación y sub-congelación; y a partir de estos datos se obtienen tiempos y velocidades de congelación para su análisis y conclusiones.

RESULTADOS Y DISCUSION

En el análisis de datos las curvas se dividen en tres secciones: enfriamiento, congelación y sub-congelación. Cada una obedece a una ecuación de una línea recta, cuyos

interceptos y pendientes se encuentran en la tabla 1.

Tabla 1. Estimación de los tiempos de congelación parcial y total.

Presentación	Zonas	Intercepto	Pendiente	R ²	t Total	t Zona 2	Velocidad °C/min	Velocidad cm/h
Entero SE	1	21,917	-0,624	0,9758	2:06:54	51,8	0,31	0,69
	2	2,8039	-0,0694	0,7204				
	3	28,3	-0,03648	0,9997				
Entero B	1	22,042	-0,4798	0,973	2:44:48	59,1	0,24	0,62
	2	5,4881	-0,0992	0,9158				
	3	17,231	-0,2136	0,9918				
Entero G	1	15,145	-0,2837	0,9616	3:13:54	60,8	0,17	0,56
	2	5,4674	-0,0822	0,8828				
	3	15,085	-0,1706	0,996				
Filete SE	1	25,669	-0,5172	0,9857	2:25:12	63,4	0,30	0,66
	2	-0,0613	-0,0115	0,473				
	3	60,081	-0,5379	0,9971				
Filete B	1	26,021	-0,6487	0,9723	2:17:12	54,3	0,32	0,68
	2	3,5474	-0,0746	0,7739				
	3	27,619	-0,3324	0,9965				
Filete G	1	18,778	-0,284	0,9278	3:59:24	156,3	0,15	0,43
	2	1,1013	-0,0134	0,6447				
	3	199,7	-0,9095	0,9749				
Postas SE	1	23,434	-0,7143	0,9434	1:40:18	35,7	0,41	1,05
	2	4,0791	-0,1104	0,7967				
	3	27,036	-0,4492	0,9996				
Postas B	1	27,059	-0,4153	0,9883	3:30:42	111,3	0,21	0,41
	2	1,2284	-0,0227	0,5626				
	3	77,33	-0,4524	0,9966				
Postas G	1	15,416	-0,2467	0,9495	4:02:30	118,8	0,14	0,42
	2	3,2094	-0,0388	0,8655				
	3	35,431	-0,2203	0,9968				

A partir de las curvas de congelación por aire forzado para las tres presentaciones se encuentran los interceptos de cada una de

las secciones con lo cual se encuentra el tiempo gastado en atravesar cada una de ellas (ver figura 1).

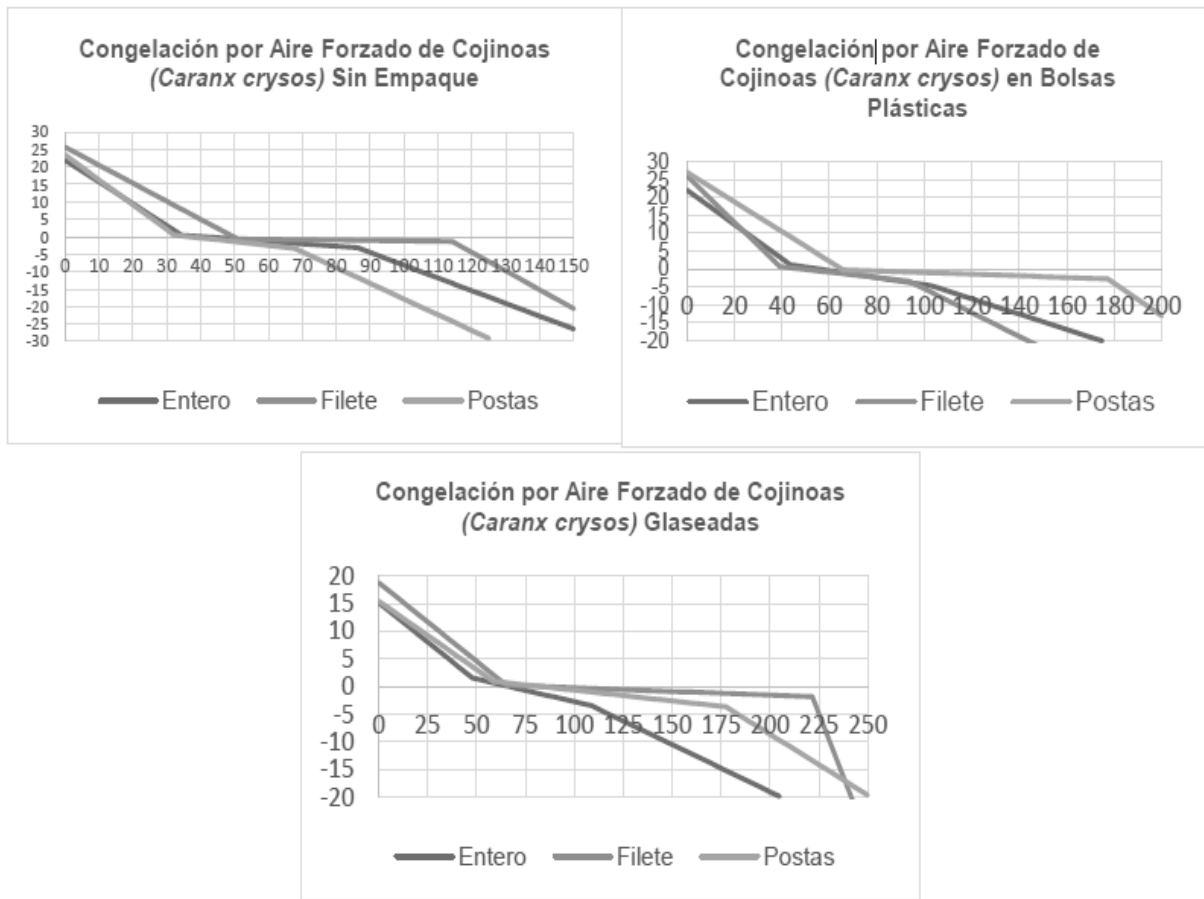


Figura 1. Curvas de congelación por aire forzado para tres presentaciones.

Con los datos obtenidos se estiman los tiempos que demora el producto en atravesar cada una de las zonas y que pueden apreciarse en la figura 2.



Figura 2. Tiempos de congelación de cada una de las muestras

Tabla 2. Velocidades Avance del frente Frío (-18 °C), en cm/h, y de Congelación, en °C/min, de la Cojinoa (Caranx crysos) en Aire Forzado.

Velocidades del frente frío (-18°C) cm/h				
Producto	Altura (cm)	Long (cm)	Espesor (cm)	Velocidad Total
Entero SE	7,80	31,70	2,90	0,69
Entero B	7,30	30,50	3,40	0,62
Entero G	7,10	30,40	3,60	0,56
Postas SE	8,10	33,30	3,50	1,05
Postas B	7,70	32,60	2,90	0,41
Postas G	7,60	33,00	3,40	0,42
Filetes SE	7,80	31,00	3,20	0,66
Filetes B	7,70	31,00	3,10	0,68
Filetes G	7,10	30,80	3,40	0,43
Velocidades °C/min				
Producto	Zona Enfriamiento	Zona Congelación	Zona de Subcongelación	TOTAL
Entero SE	0,6234	0,0695	0,3648	0,3146
Entero B	0,4798	0,0992	0,2140	0,2430
Entero G	0,2839	0,0822	0,1706	0,1709
Postas SE	0,7132	0,1104	0,4492	0,4131
Postas B	0,4153	0,0226	0,4527	0,2139
Postas G	0,2468	0,0388	0,2203	0,1378
Filetes SE	0,5159	0,0123	0,5379	0,3007
Filetes B	0,6494	0,0746	0,3329	0,3209
Filetes G	0,2840	0,0133	0,9073	0,1536

En la tabla 2 se muestran los resultados obtenidos de la velocidad del frente frío donde se evidencia la duración en tiempo que tarda en llegar la temperatura de - 18 °C al centro térmico.

Se puede observar en la figura 3, que la presentación de postas sin empaque es la más rápida en llegar a dicha temperatura y la más lenta es la de postas en bolsas.

Al revisar los datos obtenidos en cada uno de los cortes, se evidencia que para alcanzar esta temperatura en las demás presentaciones el orden fue: Entero sin empaque, entero glaseado; postas sin empaque, postas en bolsas; filetes en bolsas y filete glaseado.

En la figura 3 se muestran las velocidades de congelación en cm/h y °C/min.

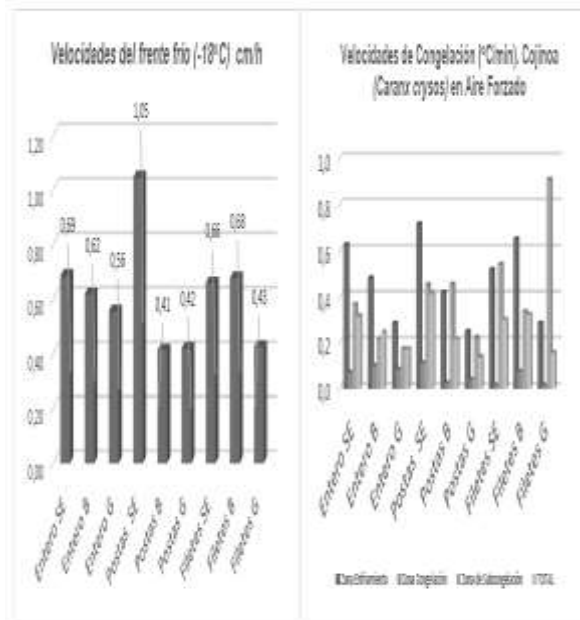


Figura 3. Velocidades de congelación en cm/h y °C/min.

Al analizar la zona 2 (Congelación o zona de formación máxima de cristales) se puede observar que todas con excepción del filete glaseado (Tiempo igual a 156,3 minutos o 2:36:18) no cumplen con el parámetro técnico de atravesar esta zona en un tiempo inferior a 2 horas.

Para el análisis de los datos obtenidos se recurrió a la estandarización de algunas variables a fin de minimizar su incidencia en los resultados obtenidos.

Los ejemplares tomados como muestras de procesamiento tenían todos pesos promedio cercanos a los 500 g, tamaño que es

considerado como el más común para su comercialización en fresco y para la obtención de filetes y postas.

Tecnológicamente el análisis del punto final de la temperatura de congelación se tomó como la isoterma de -18°C, temperatura a la cual se considera que más del 90 % del agua de composición del pescado se encuentra en estado sólido.

Tabla 3. Ecuaciones para cada uno de los tramos en cada una de las presentaciones durante el proceso de congelación de la Cojinoa (*Caranx Crysos*) en Aire Forzado.

Presentación	Zonas	Ecuaciones
Entero SE	1	$T = 21,917 - 0,624t$
	2	$T = t$
	3	$T = t$
Entero B	1	$T = t$
	2	$T = t$
	3	$T =$
Entero G	1	$T =$
	2	$T =$
	3	$T =$
Filete SE	1	$T =$
	2	$T = t$
	3	$T =$
Filete B	1	$T =$
	2	$T =$
	3	$T =$
Filete G	1	$T = 18,778 - 0,284t$
	2	$T =$
	3	$T =$
Postas SE	1	$T =$
	2	$T =$
	3	$T =$
Postas B	1	$T =$
	2	$T =$
	3	$T =$
Postas G	1	$T =$
	2	$T = -0,0388t$
	3	$T =$

Las ecuaciones obtenidas con sus respectivos coeficientes de correlación fueron las siguientes:

$$T^{\circ} = \text{Intercepto} + \text{Pendiente} * \text{Tiempo}$$

En la tabla 4 se puede observar que los tiempos de congelación son más prolongados al emplear empaque alcanzado en postas hasta 3:30 horas y al ser glaseado el producto se incrementó 30 minutos alcanzando 4: 02 horas de congelación a una temperatura de -18 °C.

Tabla 4. Tiempos de Congelación de la Cojinoa (*Caranx crysos*) en Aire Forzado.

Tiempos Hasta -18 °C (min)		
Entero D	Filete	Postas
SIN EMPAQUE		
126,9	145,2	100,3
2:06:54	2:25:12	1:40:18
EMPACADO EN BOLSAS		
164,9	137,2	210,7
2:44:54	2:17:12	3:30:42
GLASEADO		
193,9	239,4	242,5
3:13:54	3:59:24	4:02:30

CONCLUSIONES

Cada proceso de congelación presentó claramente definidas las tres fases del proceso de congelación de un alimento fresco: zona de enfriamiento, zona de congelación y zona de sub-congelación. De acuerdo con los tiempos totales

determinados para las presentaciones, todas están dentro del rango máximo permitido para alcanzar la congelación, siendo valores menores de 6 horas. Las postas glaseadas fue la que mayor tiempo requirió dentro de todo el proceso.

AGRADECIMIENTOS

Agradecimiento a Dios, quien es el que permite cada triunfo alcanzado en nuestras vidas, a nuestros padres que continuamente nos motivan alcanzar cada uno de nuestros sueños, siendo un apoyo fundamental y un pilar en la obtención de estos. Y por último, al docente Álvaro Emiro Espeleta Maya, por

la dedicación y apoyo que ha brindado a este trabajo, por el respeto a nuestras sugerencias e ideas y por la dirección y el rigor que ha facilitado a las mismas, gracias por la confianza ofrecida desde que iniciamos en este proceso.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcaide, R. (10 de Mayo de 2017). *Cocelang*. Obtenido de Cocelang: <https://cocelang.com/blog/historia-de-los-congelados/historia-congelacion/>
- Barbosa-Canovas G., & Bermúdez-Aguirre D. (2010). Procesamiento no térmico de alimentos. *Scientia Agropecuaria*, 81 - 93. Recuperado de <http://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/3365/gvbc.pdf;jsessionid=A661946874B7CE4799F3CCF14E9CD418?sequence=1>
- Casp, A. y. (1999). *Procesos de Conservación de Alimentos*. Madrid: Ediciones y Ediciones.
- Colette J., Koutchma T., Margas E., Leadley C., & Ros V. (2015). Mapping trends in novel and emerging food processing technologies around the world. *Innovate Food Science & Emerging Technologies*. 31: 14-27
- Cox, P. M. (1987). *Ultracongelación de alimentos*. Zaragoza: Acribia.
- Fikiin, K. (2003). *Novelties of food freezing research in Europe and beyond*. Paris (France). Institut National de la Recherche Agronomique..
- García B., Yulieth P., Caballero P. Luz A. y Maldonado O. Yohana. (2016). Evaluación del color en el tostado de Haba (*Vicia faba*). *Revista @limentech, Ciencia y Tecnología Alimentaria*. ISSN 1692-7125. Volumen 14, N° 2, p. 53 -66.
- García-Casal M. (2007). La alimentación del futuro: Nuevas tecnologías y su importancia en la nutrición de la población. *Anales Venezolanos de Nutrición*, 20 (2): 108-114.
- González C., Rafael E., Pérez, Jaime M. Tarón, Arnulfo D. (2016). Desarrollo y validación de un modelo matemático para describir el crecimiento de *Lactobacillus acidophilus* microencapsulado en un sistema binario compuesto por goma gelana. *Revista @limentech, Ciencia y Tecnología Alimentaria*. ISSN 1692-7125. Volumen 14 N° 1. Pp: 74 – 83.
- Herrero A., & Romero-de Ávila M. (2006). Innovaciones en el proceso de alimentos: Tecnologías no térmicas. *Revista de medicina*, 50(4): 71-74.
- Mercado León, L. (2018). Impacto de la revaluación del peso frente al dólar en las exportaciones de atún por el puerto de Cartagena de Indias en el periodo 2008-2012. *Conocimiento Global*, 3 (1), 30-49.

- Recuperado a partir de <http://conocimientoglobal.org/revista/index.php/cglobal/article/view/6>
- Muñoz, J. C. (2006). Preparación y almacenamiento de productos congelados. Chile: Universidad Austral de Chile.
- Placzek, W. J. (1978). *Conservación de la carne por el frio*. Zaragoza: Acribia.
- Plank, R. (1977). *El empleo del frio en la industria de la alimentación*. Barcelona: Reverté, S.A.
- Rahman Ed. Smith, C. 1. (1997). *National Audubon Society field guide to tropical marine fishes of the Caribbean, the Gulf of Mexico, Florida, the Bahamas, and Bermuda*. New York: Alfred A. Knopf, Inc.
- Rahman, M. S.-R. (2007). Food Preservation by Freezing. In Handbook of Food Preservation. En M. S.-R. Rahman, *Food Preservation by Freezing. In Handbook of Food Preservation* (págs. 635-665). USA.: M.S.
- Rivero, F., y Vivas, F. (2016). Análisis de los mecanismos de promoción de exportación de especies acuícolas: camarones (*palaemon serratus*) en la República Bolivariana de Venezuela durante el periodo 2005-2009. *Conocimiento Global*, 1(1), 55-77. Recuperado a partir de <http://conocimientoglobal.org/revista/index.php/cglobal/article/view/24>
- Santamaría M. (2010). *Industria alimentaria. Tecnologías emergentes*, 1era Ed. Catalunya: Universidad Politécnica de Catalunya.
- Seijas Ch., Héctor y Pabón M., Carolina. (2017). Coeficiente de difusión y pérdida de humedad durante el proceso de pre-fritura de la arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*). *Revista @limentech, Ciencia y Tecnología Alimentaria*. ISSN:1692-7125. Volumen 15 N°1. Pp. 17 – 27.
- Smith-Vaniz, W. (1986). Fishes of the north-eastern Atlantic and the Mediterranean. En W. Smith- Vaniz, *Fishes of the north-eastern Atlantic and the Mediterranean* (págs. 815-844). Paris: UNESCO.
- Torrenegra-Alarcon, Miladys, Granados-Conde, Clemente, Leon-Mendez, Glicerio, Arrieta Pineda, Yurica, Villalobos-Lagares, Oscar y Castellar-Abello, Ernesto. (2019). Pasteurización mediante microondas una novedosa alternativa a los procesos tradicionales. *Revista @limentech, Ciencia y Tecnología Alimentaria*. ISSN 1692-7125. Volumen 17 N° 1. Pp: 76 - 87.
- Vélez-Ruiz, K. M.-V. (2018). Estudio de propiedades físicas de alimentos. Mexicanos. *Revista Mexicana De Ingeniería Química*, 14.