



La Microbiología Predictiva en la Industria Cárnica

Alejandro Hernández González

Universidad de La Laguna
Departamento de Microbiología
Máster en Seguridad y Calidad de los alimentos
Septiembre 2017



La Microbiología Predictiva en la Industria Cárnica

Alejandro Hernández González

Tutor: D. Fernando Perestelo Rodríguez

Profesor del departamento de Bioquímica, Microbiología, Biol. Celular y Genética.

La Laguna, a 4 de septiembre de 2017.

Índice.

Abstract.....	3
Resumen.	3
1. Introducción.....	4
2. Modelos predictivos.....	5
2.1. Modelos primarios.	5
2.2. Modelos secundarios.	7
2.3. Modelos terciarios.	8
3. La Microbiología Predictiva en la Industria Cárnica.....	8
3.2. Aplicación de la microbiología predictiva en la industria cárnica.....	12
3.2.1. Análisis del crecimiento de los microorganismos	12
3.2.3 Análisis de peligros y punto de control crítico (APPCC).	15
3.2.4 Evaluación del riesgo microbiológico.	17
4. Microorganismos más importantes en la industria cárnica.	18
5. Legislación.....	19
6. Conclusiones.	20
Bibliografía.....	21

Abstract.

The predictive microbiology, is a tool used in the meat industry, with the purpose of to improve the quality and safety of meat products.

While is it true that food safety it has increased in the last years thanks to the advances in food tecnology, production and conservation techniques, microbiology, etc., periodically published data from agencies such us, OMS, FAO, or regional bulletins in Spain, make us rethink, the necessity of finding new methods that to assure an adequate food security.

This models, have been applied with succes in the meat industry, allowing us to easily determinate, the usefull life of meat products, upgrade the safety during, procesing, elaboration and packaging of the meat through the application of HACCP.

In summary, the predictive microbiology, has become an important tool in the in the research of preventacion and action given the risk associated with certain microbiological hazards in the meat industry.

Resumen.

La microbiología predictiva, es una herramienta usada en la industria cárnica, con el fin de mejorar la calidad y seguridad de los productos cárnicos.

Si bien es cierto que la inocuidad de los alimentos se ha incrementado en los últimos años gracias a los avances en tecnología de los alimentos, técnicas de producción y conservación, microbiología, etc., los datos publicados periódicamente por organismos como la OMS, la FAO, o los boletines regionales en España, hacen replantearnos la necesidad de encontrar nuevos métodos que garanticen una adecuada seguridad alimentaria.

Estos modelos, se han aplicado con éxito en la industria cárnica, permitiéndonos determinar con mayor facilidad parámetros como, la vida útil de los productos cárnicos, mejorar la seguridad durante el procesado, elaboración y empaquetamiento de las carnes, mediante la aplicación de los APPCC, etc.

Dicho esto, la microbiología predictiva, se ha convertido en una herramienta muy útil en el campo de prevención y actuación ante el riesgo asociado a determinados peligros de origen microbiológico en la industria cárnica.

1. Introducción.

La microbiología predictiva, es un área de investigación que trata de proporcionar modelos matemáticos para predecir el comportamiento microbiano, así como, la proliferación de estos organismos en los alimentos. Aunque los primeros modelos predictivos se desarrollaron a principios del siglo XX, sus mayores avances se produjeron a principios de los 90, gracias al desarrollo de la informática lo cual permitió un mejor desarrollo y estudio de estos modelos. Como tal, la microbiología predictiva puede ser considerada una poderosa herramienta para investigar y resumir los efectos de diversas condiciones por ejemplo, la formulación y el procesado de los alimentos), en la ecología microbiana **(Pérez-Rodríguez y Valero, 2012)**.

Los diferentes tipos de modelos predictivos nos permiten predecir el crecimiento, la inactivación y la probabilidad de crecimiento de las bacterias en alimentos, bajo diferentes condiciones ambientales y, además, nos permite tener en cuenta ciertos factores tales como, el estado fisiológico de las células o la interacción con otros microorganismos. Hoy en día, estos modelos se han convertido en una herramienta útil y necesaria para tomar decisiones concernientes a la seguridad y calidad de los alimentos, ya que nos pueden proporcionar respuestas rápidas a diversas incógnitas. Además, las políticas tanto nacionales como internacionales referentes a la inocuidad de los alimentos se basan en el desarrollo de estudios cuantitativos de evaluación de riesgos microbianos, los cuales se apoyan en la aplicación de modelos predictivos **(Pérez-Rodríguez y Valero, 2012)**.

La microbiología predictiva es, por tanto, la rama de la Microbiología de los Alimentos que estudia las relaciones entre el comportamiento de los microorganismos y los factores exógenos y endógenos que les afectan, teniendo como objetivo cuantificar dichas relaciones y elaborar ecuaciones matemáticas que nos permitan predecir comportamientos futuros **(FAO, 2016)**. Convirtiéndose así en una importante herramienta para la mejora de la seguridad y la calidad de los alimentos **(Cedrón, 2016)**.

Hoy en día, la seguridad y calidad de los alimentos ha adquirido una gran importancia en la industria alimentaria, como consecuencia de las crecientes exigencias por parte de los consumidores para acceder a alimentos lo más inocuos posible. Como no puede ser de otra

manera, también la industria cárnica ha tenido que desarrollar métodos alternativos para el tratamiento de sus derivados, entre ellos la microbiología predictiva.

2. Modelos predictivos.

En la microbiología predictiva, es importante conocer el comportamiento de los microorganismos en los alimentos bajo condiciones previsibles. Para ello, es necesario un control exhaustivo de las condiciones fisicoquímicas que pueden influenciar en el crecimiento microbiano (como la temperatura, pH, salinidad, etc), así como, el conocimiento de las características biológicas de los microorganismos en estudio. (**Forsythe, 2002; Baranyi, 1994**).

Las premisas que sustentan la microbiología predictiva, se basan en que las respuestas de los microorganismos en los alimentos pueden ser reproducidas frente a factores extrínsecos o intrínsecos. Este comportamiento puede trasladarse a varios modelos matemáticos que pueden estimar el crecimiento microbiano, su inactivación, producción de toxinas, probabilidad de crecimiento, etc. (**Forsythe, 2002; Baranyi, 1994**). Con el objetivo de realizar estudios comparativos, varios autores sugieren diferentes clasificaciones de modelos predictivos basados en el propósito final del estudio, el tipo de microorganismo estudiado, y de su impacto en la calidad y seguridad de los alimentos. Básicamente, los modelos predictivos se dividen en 3 grupos, modelos primarios, secundarios y terciarios. (**Forsythe, 2002; Baranyi, 1994**).

2.1. Modelos primarios.

Los modelos matemáticos, que describen la evolución del número de unidades formadoras de colonias viables en función del tiempo (crecimiento, supervivencia e inactivación) en cada una de las condiciones experimentales, son llamados modelos primarios. El objetivo de este tipo de modelos, es describir la cinética de crecimiento del microorganismo en un proceso determinado, con el menor número posible de parámetros sin perder exactitud al momento de describir las etapas de crecimiento. (**Salvador, 2013**).

Los modelos primarios son empleados para explicar las curvas de crecimiento (o supervivencia) y luego estimar los parámetros cinéticos. Esto genera información específica del microorganismo tal como tiempo de generación (tg), duración de la fase latencia (LDP), la

velocidad de crecimiento (μ_{max}) y la población máxima (N_{max}). Según Whiting, 1995; Whiting y Buchanan, 1993, 1994 y citados por **(Sun, 2012)**.

El crecimiento de los microorganismos se ve afectado por las condiciones ambientales, la composición del alimento y por el estado fisiológico de las células; sin embargo, éstas no son las únicas fuentes de variación, dado que diferentes cepas pueden crecer de modo diferente en las mismas condiciones intrínsecas y extrínsecas **(Baranyi y Pin, 2001)**.

Por tanto, se hace necesario ajustar, desarrollar y validar modelos versátiles que representen el comportamiento de los microorganismos en cada matriz. Entre los modelos más ampliamente utilizados se encuentra la ecuación de Gompertz modificada y el modelo de crecimiento de Baranyi **(Figura 1)**. **(Grijspeerdt y Vanrolleghem, 1999; Baranyi y Pin, 2001)**:

Ecuación de Gompertz modificada. $y = A + C \exp\{-\exp[-B(t - M)]\}$

Donde:

Log N: Recuento final (Log de UFC/g), variable dependiente.

t: Tiempo transcurrido (variable independiente).

A: Log10 UFC/g iniciales (Inoculo).

D: Log10 la diferencia entre el número inicial y el número final de microorganismos en la fase estacionaria (cantidad de ciclos logarítmicos).

B: Representa la pendiente de la curva y describe la velocidad o tasa de crecimiento.

M: Representa el tiempo en el cual se alcanza la tasa de crecimiento más alta.

El modelo de crecimiento de Baranyi.

Donde: $y(t) = y_0 + \mu_{max} A(t) - \ln \left(1 + \frac{e^{\mu_{max} A(t)} - 1}{e^{(Y_{max} + y_0)}} \right)$

y(t): Concentración de celular a tiempo t
(log UFC/g).

y₀: Logaritmo natural de la concentración celular a t = 0.

Y_{max}: Logaritmo natural de la máxima concentración de celular.

μ_{max} : Velocidad máxima específica de crecimiento (d-1).

A(t): Retraso gradual del crecimiento en el tiempo, tiene en cuenta el estado fisiológico y se calcula mediante la ecuación.

Figura 1: Ecuacion de Gompertz modificada y modelo de crecimiento de Baranyi. (Buelvas, 2013).

2.2. Modelos secundarios.

Los modelos secundarios nos permiten prever el comportamiento de la población microbiana (parámetros cinéticos de crecimiento), y los factores ambientales propios del producto (pH, actividad de agua, concentración de sales, etc.) y las condiciones de almacenamiento (temperatura, humedad relativa, atmosfera, etc.). (Vega, 2012; McMeekin, 2007). Dentro de este tipo, los modelos más usados son, el modelo de Arrhenius (McMeekin, 2000) y el modelo de Belehradek o de raíz cuadrada, (Adams et al., 1991). (Figura 2).

Modelo de Arrhenius.

$$\ln \mu = \ln A \cdot \left(\frac{E_a}{RT} \right)$$

Donde:

μ : Velocidad de crecimiento.

A: Factor pre exponencial de la ecuación.

E_a : Energía de activación.

R: Constante de los gases.

T: Temperatura absoluta.

Modelo de Belehradek o de raíz cuadrada.

$$\sqrt{\mu_{max}} = b \cdot (T - T_{min}) \cdot \sqrt{(a_w - a_{w_{min}})} \cdot \sqrt{(pH - pH_{min})}$$

Donde:

μ : Velocidad de crecimiento

T: Temperatura.

a_w : Actividad de agua.

pH.

Figura 2: Modelo de Arrhenius y modelo de Belehradek. (Buelvas, 2013).

2.3. Modelos terciarios.

Los modelos terciarios son expresiones matemáticas, paquetes de software o sistemas expertos, que usan la información de los modelos primarios y secundarios para calcular y mostrar gráficos, predicciones y comparaciones deseadas. En este nivel, el usuario no necesita conocer a profundidad los modelos matemáticos primarios y secundarios, lo que permite su uso con facilidad en las industrias de alimentos. Los paquetes de software de la microbiología predictiva, basados sobre 2 principales pilares: la base de datos (Bioinformática) y los modelos matemáticos (Biomatemática), proveen una interfaz entre el modelo matemático y el usuario, permitiendo que las estimaciones a ser observadas se muestren de forma fácil a través de salidas gráficas simplificadas, de esta manera los programas informáticos han mejorado marcadamente el uso de los modelos microbianos por la industria de alimentos, evaluadores de riesgo y por los microbiólogos de alimentos (**Ramos, 2014**). Algunos software más usados se muestran en la **Figura 3**.

Software	Enlace	institución
PMP (Pathogen Modelling Program)	http://www.arserrc.gov/mfs/pathogen.htm	Departamento de Agricultura de EEUU
Growth Predictor	http://www.ifr.ac.uk/	Institute of Food Research UK
ComBase	http://www.combase.cc	Institute of Food Research UK

Figura 3: Ejemplos de software usados en modelos terciarios. (Ramos, 2014)

3. La Microbiología Predictiva en la Industria Cárnica

3.1.Importancia de la industria cárnica.

La carne es un producto altamente perecedero, es decir, dada su calidad nutricional (elevado contenido en proteínas, grasas, vitaminas y minerales), a menos que sea correctamente conservado, procesado y distribuido, puede descomponerse rápidamente y convertirse en un alimento peligroso debido al crecimiento microbiano **(FAO, 2014)**.

Las carnes y sus productos derivados, son consumidos a diario por millones de personas en todo el mundo, tanto es así que según la FAO se producen al año más de 300 millones de toneladas de carne en el mundo (cantidad que irá aumentando debido al crecimiento demográfico), lo que le proporciona a este sector una gran importancia **(FAO, 2014)**.

Tabla 1: Consumo Per cápita. (Gobierno de España, 2016).

	TOTAL CARNE	CARNE FRESCA	CARNE CONGELADA	CARNE TRANSFORMADA
CONSUMO PER CÁPITA (Kg/persona/año)	50,13	37,11	1,25	11,77

Concretamente, en nuestro país, el consumo de carne en el año 2016 alcanzó las 2.200.464,15 toneladas, de acuerdo con los datos del Ministerio de Alimentación y Medio Ambiente, con la distribución que se recoge en la **tabla 1**. De ellos, el 74% corresponde a carne fresca (37,11 Kg), el 23,5% a carne transformada (11,77 Kg) (jamón curado y paleta, lomo embuchado normal e ibérico, chorizos, salchichón y salami, fuet y longanizas, jamón cocido, paleta cocida y fiambres), y el 2,5% (1,25 Kg) restante, a carne congelada **(Gobierno de España, 2016)**. Esta información queda recogida en la **tabla 2**.

Tabla 2: Consumo per cápita de carne fresca. (Gobierno de España, 2016).

	CARNE FRESCA	CARNE VACUNO	CARNE POLLO	CARNE CONEJO	CARNE OVINO/CAPRINO	CARNE CERDO	CARNE DESPOJOS	OTRAS CARNES FRESCAS
CONSUMO PER CÁPITA (Kg/persona/año)	37,11	5,61	13,87	1,28	1,65	10,68	0,92	3,11

Como podemos observar en la **tabla 3**, el consumo per cápita de carne procesada durante el año 2016 fue de 8,23 kilos por persona y año, el de fiambres en 2,58 kilos/persona/año, seguido de jamón curado y paleta con un consumo per cápita de 2,05 kilos/persona/año y jamón cocido con 1,49 kilos/persona/año (**Gobierno de España, 2016**).

Tabla 3: Consumo per cápita de carne procesada. (Gobierno de España, 2016).

	CARNE PROCESAD	JAMON Y PALETA CURADOS	LOMO EMBUCHADO N+IB	CHORIZOS	SALCHICHÓN SALAMI
CONSUMO PER CÁPITA (Kg/persona/año)	8,23	2,05	0,25	0,98	0,42
	FIAMBRES	FUET LONGANIZAS	JAMON COCIDO	PALETA COCIDA	JAMON / PALETA IBERICA
CONSUMO PER CÁPITA (Kg/persona/año)	2,58	0,67	1,49	0,06	0,36

Sobre la carne congelada no hay datos más precisos dado que su consumo es bajo. (**Gobierno de España, 2016**).

Estos productos pueden contaminarse con mayor o menor facilidad, dependiendo de cómo sean las condiciones de los animales antes del sacrificio, las prácticas del matadero, el grado de manipulación y las condiciones de almacenamiento. Obviamente, toda la carne cruda puede presentar un cierto nivel de contaminación microbiana de manera normal, si bien, solo si algunos microorganismos descomponedores como *Brochothrix thermosphacta*, *Pseudomonas* spp., y las bacterias lácticas, si se les permite crecer de forma abundante, pueden conducir al deterioro de este alimento, imposibilitando su consumo. Dependiendo de las especies y si éstas se encuentran presentes, patógenos tales como

Listeria monocytogenes, *Salmonella* spp y *E.coli* 0157:H7 pueden crecer y causar enfermedades por la ingesta tanto de células bacterianas como de las toxinas que producen (McDonald y Sun, 1999). Como consecuencia de ello, no es recomendable la presencia de cantidades bajas de patógenos en alimentos, ya que son la causa más importante de enfermedades gastrointestinales en todo el mundo.

Dentro de la industria alimentaria, garantizar la seguridad y calidad de la carne es de suma importancia. Los enfoques tradicionales sobre la seguridad y calidad de la carne se han basado en gran medida en inspecciones y muestreos. Sin embargo, estos sistemas no pueden garantizar protección al consumidor. Las propiedades de las carnes crudas tales como, la actividad de agua ($W_a > 0,98$), el pH (5,5-6,5) y sus fuentes de energía como el carbono y otros nutrientes, hacen de estos productos un medio de crecimiento ideal para los microorganismos (Entrup, 2006).

Los factores más importantes que influyen en el crecimiento microbiano son la temperatura y otros factores extrínsecos. Esto se hace evidente realizando análisis de puntos de control crítico (APPCC) como, por ejemplo, en la preparación de carne fría cocinada, en la que la refrigeración se hace justo después de la cocción. Los gobiernos suelen proporcionar reglamentos para regular la temperatura y el tiempo de tales operaciones (McDonald y Sun, 1999).

La gran variedad de productos cárnicos con diversos métodos de procesamiento, envasado, almacenamiento y distribución implica que haya varios métodos para detectar microorganismos en la carne. Los modelos predictivos que integran el comportamiento en los productos cárnicos nos ayudan a identificar los componentes que afectan en mayor o menor medida a los microorganismos en la carne. Por ejemplo, se pueden usar test en los que se presentan diversas variables, como pH, acidez, actividad hídrica y temperatura y como afectan al crecimiento bacteriano, a la fermentación de los productos cárnicos, etc. Esto puede facilitar la optimización de los procesos en términos de coste y calidad. Este enfoque permite garantizar la seguridad de la carne mientras se mantiene un producto aceptable para el consumidor (McDonald y Sun, 1999).

A pesar de que las recientes mejoras en la producción de carne, los casos por intoxicación alimentaria siguen sucediendo en todo el mundo (McMeekin et al., 2013). Aun

así, el uso de modelos matemáticos ayuda a mejorar los procesos de producción de los productos cárnicos y a prevenir brotes por intoxicaciones alimentarias, ya que ayudan a evitar el deterioro del producto, controlando así la proliferación de microorganismos.

En consecuencia, podemos considerar a la microbiología predictiva como una herramienta moderna que nos permite mantener bajo control los riesgos microbiológicos a los que están expuestas la industria cárnica con el fin de proteger la salud del consumidor, garantizando la seguridad de las carnes y sus productos derivados durante la preparación, manipulado y almacenamiento (**Perez-Rodriguez y Zwietering, 2012**).

3.2. Aplicación de la microbiología predictiva en la industria cárnica.

Como hemos mencionado anteriormente, la microbiología predictiva es hoy en día una herramienta valiosa para el sector alimentario, ya que nos permite obtener resultados en menor tiempo minimizando el uso de materiales de laboratorio y de mano de obra, reduciendo así los costes. Dicho esto, la microbiología predictiva dentro de la industria cárnica puede usarse de diferentes formas para mejorar la calidad de los productos o sus procesos de elaboración. Algunos ejemplos de estas aplicaciones son:

3.2.1. Análisis del crecimiento de los microorganismos.

Como ya hemos mencionado, los modelos matemáticos que describen la evolución del número de unidades formadoras de colonias viables en función del tiempo, (crecimiento, supervivencia e inactivación) en cada una de las condiciones experimentales, son llamados modelos primarios. El objetivo de este tipo de modelos, es describir la cinética de crecimiento del microorganismo en un proceso; con el menor número posible de parámetros sin perder exactitud al momento de describir las etapas de crecimiento (**Salgado et al., 2013**).

Los modelos primarios son empleados para poner a prueba la capacidad del mismo para explicar las curvas de crecimiento (o supervivencia) y luego estimar los parámetros cinéticos. Esto genera información específica del microorganismo tal como tiempo de generación (t_g), duración de la fase latencia (LDP), la velocidad de crecimiento (μ_{max}) y la población máxima (N_{max}) (**Salgado et al., 2013**).

Por tanto, se hace necesario ajustar, desarrollar y validar modelos versátiles que representen el comportamiento de los microorganismos en cada matriz. Un ejemplo de

aplicación de este tipo de modelo es determinar el crecimiento de *Leuconostoc mesenteroides* en jamón procesado envasado al vacío.

El *Leuconostoc mesenteroides*, es considerado como un microorganismo responsable de la alteración de diversos productos cárnicos tales como jamón cocido, salami, etc. Siendo responsable del abombamiento de los empaques, cambios de color, limo superficial y aparición de lechosidad, provocando así, rechazo por parte de los consumidores de estos productos. En este ensayo se estudia el crecimiento del *L. mesenteroides* en función de la temperatura de almacenamiento (refrigeración) y la concentración de sal (NaCl) en condiciones de aerobiosis y anaerobiosis (Salgado et al., 2013).

El efecto de estos factores se determinó, calculando los parámetros cinéticos de crecimiento y ajustando a los modelos de Gompertz y logística sigmoideal (Figura 4).

La ecuación de Gompertz.

$$\text{Log } N_t = a + d \cdot e^{-e^{-B(t-M)}}$$

Logística sigmoideal

$$\text{Log } N(t) = A + \frac{D}{1 + \exp(-Bx(t-M))}$$

Figura 4: Ecuación de Gompertz y logística sigmoideal. (Salgado et al., 2013).

Tras aplicar estos modelos, se desarrolló y validó un modelo predictivo de la velocidad de crecimiento del *L. mesenteroides* en función del tiempo. En cuanto a la fase de adaptación, el modelo estimado presentó dificultades para explicar el comportamiento de las células, por ello las predicciones de este parámetro deben ser interpretadas con prudencia. Aun así, fue posible, predecir la velocidad de crecimiento del *L. mesenteroides* y de esta manera estimar como las condiciones de almacenamiento influyen sobre la población microbiana (Salgado et al., 2013).

3.2.2 Determinación de la vida útil.

El codex alimentarius (1998), define a los alimentos perecederos como aquellos que tienen un tipo o condición tales que pueden deteriorarse, entendiéndose aquellos que permitan el crecimiento progresivo de microorganismos que puedan causar envenenamiento u otras enfermedades.

La vida útil o caducidad de un alimento también puede definirse como “ el período de tiempo después de la elaboración y/o envasado y bajo determinadas condiciones de almacenamiento en el que el alimento sigue siendo seguro y apropiado para su consumo” **(Dominic, 2004; Labuza, 1994).**

Según el reglamento (CE) 2073/2005, la vida útil de un alimento se define como el período anterior a la fecha de duración mínima o a la fecha de caducidad tal como definen, respectivamente, en los artículos 9 y 10 de la Directiva 2000/13/CE. La predicción de la vida útil debe considerar todas las etapas en la producción de un alimento, es decir, deben obtenerse datos exactos de acerca de las materias primas utilizadas, la formulación de los productos, su montaje, condiciones de higiene, etc. Este tipo de estudios puede implicar el uso de una gran cantidad de recursos tecnológicos y financieros, sin embargo, el desarrollo de estos modelos a la larga permiten reducir los costes y mejorar el tiempo de utilización **(Cabeza, 2013)**. En estos casos, se aplican modelos secundarios ya que se necesita analizar varios parámetros a la vez.

La seguridad alimentaria en relación con la vida útil de los alimentos, ha adquirido gran importancia, toda vez que, el manejo de la cadena de frío es, normalmente, deficiente y existe un escaso conocimiento por parte de las pequeñas y medianas empresas sobre el deterioro de este tipo de productos envasados al vacío. Una vez más, es la microbiología predictiva se presenta como una herramienta útil mediante la cual pueden obtenerse respuestas del comportamiento microbiano frente a los principales parámetros de control, como por ejemplo, la temperatura. Una aplicación práctica de esta estrategia se recoge a continuación, para el caso de la determinación de la vida útil de un producto (tipo mortadela), elaborado a base de carne de caprino: Para ello, 10 muestras del producto y se sometieron a diferentes análisis físico-químicos y otros a análisis sensoriales del producto, durante 6 semanas. Los datos obtenidos fueron tratados de acuerdo con los modelos de Monod-Hinshelwood y

Arrhenius y comparados para determinar su uso en la determinación de la vida útil (**Figura 5**) (**Herrera, 2013**).

Modelo de Monod-Hinshelwood

$$t_s = \frac{\log N_s - \log N_0}{\log 2} \times T_g$$

Modelo de Arrhenius

$$\ln \mu_{\max} = \frac{C_1}{T} + \frac{C_2}{T^2} + C_3 a_w + C_4 a_w^2$$

Figura 5: Modelo de Monod-Hinshelwood y modelo de Arrhenius. (Herrera, 2013).

La aplicación de ambos modelos permitió concluir que el modelo Monod-Hinshelwood no mostraba datos coherentes en relación con la vida útil, debido a que no modela bien al trabajar con bajas temperaturas, ni con el tiempo de incubación usado en este caso. Por su parte, la aplicación del modelo de Arrhenius, sí que se aproximó a las pruebas de caducidad, tanto de tipo sensorial como fisicoquímico. Por consiguiente, podemos deducir que según la aplicación de que modelos, es posible obtener información fiable de una manera más rápida y económica (**Ninco y López-Molinello, 2016**).

3.2.3 Análisis de peligros y punto de control crítico (APPCC).

Los sistemas de APPCC son una serie de pautas que nos permiten establecer un sistema de control en determinados puntos de las cadenas de producción, procesado y empaquetado de las carnes y sus derivados, permitiéndonos de esta forma establecer sistemas de prevención, identificar peligros y qué medidas adoptar en caso de que sucedan. Como consecuencia de ello, se podrían reducir los elementos y prácticas que pudieran alterar las propiedades de los productos, aumentando así, su seguridad y calidad (**Raman, et al 2016**).

Hoy en día, estos sistemas se siguen evaluando y mejorando con la integración de nuevas normas ISO (Organización internacional para la estandarización). La norma ISO 22000:2005, implanta una serie de normas en los sistemas de gestión de seguridad alimentaria, estructurando, controlando y actualizando, los diferentes procesos de la cadena alimentaria generando así sistemas más eficaces. Un sistema APPCC analiza toda la cadena

de producción, desde el cultivo y/o crecimiento del producto en cuestión, hasta el su consumo final. Estos puntos se pueden resumir de la siguiente manera:

- Descripción del producto e identificación de su uso.
- Describir y desarrollar un diagrama de flujo de los procesos de producción.
- Realizar análisis de los peligros e identificar las medidas preventivas en cada etapa del proceso.
- Determinar los procesos de control crítico.
- Establecer límites críticos.
- Implantar un sistema de control para monitorear los procesos de control crítico.
- Elaborar las acciones correctivas cuando alguno de los puntos no esté bajo control.
- Generar documentación para todos los procedimientos y registros realizados.

(Raman, et al 2016).

La microbiología predictiva es crucial en etapas como la realización de análisis de peligro microbiológicos, ya que ayuda a determinar si ciertos alimentos benefician el crecimiento microbiano y la velocidad con que lo hace, permitiéndonos el establecimiento de límites críticos, identificar puntos críticos de control de peligros biológicos, y conocer la influencia de los factores cinéticos el crecimiento microbiano, con el fin de aumentar la seguridad del producto **(Raman, et al 2016)**.

Por último, los modelos predictivos facilitan la elaboración de medidas correctoras, ya que permiten *a priori* conocer el comportamiento de determinados microorganismos, eliminando o reduciendo significativamente su peligro, controlando la magnitud de contaminación y permitiendo la modificación de parámetros del proceso. Además, ayuda a la reducción de costes, priorizando actividades dentro de las cadenas de producción, en definitiva, generando procesos más rápidos y eficientes. **(D.W. y Ross, 1999)**.

3.2.4 Evaluación del riesgo microbiológico.

La necesidad de garantizar una alimentación sana y la incapacidad de los métodos convencionales para asegurar de forma eficiente la seguridad microbiológica de los alimentos, han sido unas las razones de peso por las que se han desarrollado nuevas estrategias y perspectivas en el ámbito de la seguridad alimentaria. Entre ellas, el Análisis del Riesgo Microbiológico y el uso de la Microbiología Predictiva desempeñan un papel muy importante (**Rodríguez, 2012**).

El Análisis del Riesgo Microbiológico (ARM) se realiza sobre la base de tres aspectos fundamentales como la Evaluación de riesgos, la Gestión de riesgos y la Comunicación de riesgos cuyo objetivo primordial es el de garantizar la protección de la salud pública (**Codex Alimentarius, 1999**):

- Evaluación del riesgo: es un proceso iterativo de carácter científico que consiste en el desarrollo de cuatro etapas: Identificación del Peligro, Caracterización del Peligro, Evaluación de la Exposición y Caracterización del Riesgo.
- Gestión del riesgo: es el proceso de selección de alternativas en función de los resultados obtenidos en la Evaluación del Riesgo, y en su caso, de implementación de medidas o acciones correctoras.
- Comunicación del riesgo: es el proceso interactivo de intercambio de información y opiniones concernientes a la gestión del riesgo entre diferentes asesores de riesgo, gestores, consumidores y otros partidos interesados.

Concretamente, la Evaluación del Riesgo es el elemento clave dentro del ARM para asegurar el empleo de conocimientos científicos sólidos a efectos de establecer normas, directrices y otras recomendaciones en relación con la inocuidad alimentaria. Lo que se traduce, en la estimación del riesgo microbiológico asociado al consumo de productos alimenticios que puedan conducir a la aparición de toxiinfecciones alimentarias, a través del examen de datos cuantitativos y el uso de información científica (**Rodríguez, 2012**).

En un sistema tan complejo como el de la producción y el consumo de alimentos, son muchos los factores que están involucrados con el riesgo de contaminación microbiana y en ocasiones la información disponible de alguno de ellos es escasa. Por tanto, para una gestión efectiva de la seguridad alimentaria es necesario examinar dichos factores de forma

exhaustiva. En el marco de trabajo de la Evaluación cuantitativa del riesgo microbiológico, la microbiología predictiva ocupa un lugar muy importante en el desarrollo de modelos matemáticos que permiten estimar la frecuencia de consumo de alimentos contaminados, el número de bacterias presentes en un alimento o la probabilidad de contraer una enfermedad basada en un grupo de factores de riesgo, etc. (Rodríguez, 2012).

4. Microorganismos más importantes en la industria cárnica.

La carne además de ser altamente susceptible a deterioro, también puede constituir un vehículo para la propagación de enfermedades transmitidas por alimentos (ETAs). Durante el sacrificio y procesamiento, todos los tejidos potencialmente comestibles pueden estar sujetos a contaminación por diversas fuentes, ya sea interna o externa al animal (Heredia et al., 2014).

Los microorganismos patógenos que históricamente se han asociado a brotes por el consumo de carne, incluyen *Salmonella*, *Escherichia coli* O157:H7 y no-O157 productoras de toxina shiga (STEC), *Listeria*, *Campylobacter*, *Clostridium perfringens* y *Yersinia*, además de otros como *L. monocytogenes*, *S. aureus* y *Clostridium spp.* (Heredia et al., 2014).

Según la OMS, en las carnes pueden encontrarse mohos de diferentes géneros, llegan a la superficie de la carne y se desarrollan sobre ella. Son especialmente interesante las especies de los géneros *Cladosporium*, *Sporotrichum*, *Geotrichum*, *Thamnidium*, *Mucor*, *Penicillium*, *Alternaria* y *Monilia*. A menudo se encuentran levaduras, especialmente no esporuladas (OMS, 2016).

Las carnes también pueden producir infecciones víricas si se consume carne infectada por ellos, aunque normalmente se le atribuyen a la higiene personal deficiente o por aguas contaminadas. Los virus asociados a la transmisión por alimentos son la *hepatitis A y E*, *el virus Norwalk* y los rotavirus (OMS, 2016).

Aunque suele ser más habitual en animales de caza o de ganadería rural (sin control de calidad), también puede darse de casos de parasitismo en personas que hayan consumido carnes provenientes de animales infectados, tales como, *Trichinella spiralis*, *toxoplasma gondii*, *cryptosporidium parvum*, *Giardia lamblia*, *Ascaris lumbricoides*, *Trichuris trichura*, *Entamoeba histolytica*, *Taenia sp* y *Fasciola hepática* (OMS, 2016).

Por último, se encuentran los priones los cuales aunque producen infecciones con una frecuencia muy baja, pueden producir enfermedades muy graves tales como la enfermedad de Creutzfeld-Jakob (variante nvCJD, la cual afecta a humanos) (OMS, 2016).

5. Legislación.

Desde el año 2005, existen una serie de normativas europeas que establecen los criterios microbiológicos para determinados microorganismos, así como las normas de aplicación que deben cumplir los explotadores de empresas alimentarias al aplicar las medidas de higiene generales y específicas en la industria cárnica.

C.E. Nº 2073/2005: establece que los productos alimenticios no deben contener microorganismos ni sus toxinas o metabolitos en cantidades que supongan un riesgo inaceptable para la salud humana. Para ello, se establecen requisitos generales de seguridad alimentaria, en virtud de los cuales no se comercializarán alimentos que no sean seguros. Además, los explotadores de las empresas alimentarias tienen la obligación de retirar del mercado alimentario los alimentos que no sean seguros.

Los criterios microbiológicos sirven también de orientación sobre la aceptabilidad de los productos alimenticios y sus procesos de fabricación, manipulación y distribución (BOE, 2005).

C. E. Nº 1441/2007: En este reglamento se modifican algunos de los criterios microbiológicos expuestos en la normativa anterior, entre ellos el muestreo de *salmonella* canales de bovinos, porcinos, ovinos, caprinos y equinos (BOE, 2007).

C. E. Nº 365/2010: Este reglamento deroga entre otros criterios, los relativos a *salmonella* aplicados a la carne picada y preparados de carne a base de carne de aves de corral destinados a ser consumidos cocinados, y a los productos cárnicos hechos a base de carne de aves de corral, destinados a ser consumidos cocinados (BOE, 2010).

C. E. Nº 1086/2011: Según el punto 1 de la parte E del anexo II del Reglamento (CE) no 2160/2003 se establece que, a partir del 12 de diciembre de 2010, la carne fresca de las aves de corral indicadas en el anexo I solo se podrá poner en el mercado para consumo humano si cumple el criterio «*Salmonella*: ausencia en 25 gramos». Dicho Reglamento

contempla también el establecimiento de normas detalladas para el mencionado criterio, en las que se especifiquen, en particular, planes de muestreo y métodos analíticos.

Por lo que respecta a la carne fresca de aves de corral, deben adoptarse disposiciones para asegurarse de que las normas detalladas relativas al criterio de la salmonela en la carne de aves de corral ofrezcan una garantía razonable de que dicha carne está libre de salmonela y de que una aplicación armonizada permite una competencia leal y unas condiciones de comercialización similares **(BOE, 2011)**.

C.E N° 217/2014: El 3 de octubre de 2011, la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA) adoptó un dictamen científico sobre los peligros para la salud pública que debe cubrir la inspección de la carne de porcino, en el que se señala a la Salmonella como un elevado riesgo para la salud pública. La EFSA recomienda, entre otras medidas, reforzar el criterio de higiene del proceso relativo a la Salmonella en las canales de porcinos.

A fin de reducir la prevalencia de la Salmonella en las canales de porcinos, el control de la higiene durante el sacrificio debe reforzarse **(BOE, 2014)**.

6. Conclusiones.

La microbiología predictiva, es una herramienta que ha demostrado ser muy útil en la industria cárnica, dado que nos permite establecer y evaluar diferentes parámetros tales como, puntos de control crítico, vida útil de los productos cárnicos y sus derivados, etc, mediante el uso de diferentes modelos matemáticos y software. Lo cual no solo ha permitido mejorar la calidad y fiabilidad de los alimentos, sino que también ha permitido a las industrias agilizar procedimientos necesarios para obtener dichos parámetros, así como reducir los gastos necesarios para obtenerlos.

Dicho esto, hay que tener en cuenta que a pesar de que estos modelos son cada vez más usados, también pueden ser inexactos en ciertas ocasiones debido tanto a la falta de conocimiento de las propiedades químicas, físicas o microbiológicas del alimento, como al empleo de modelos que no se adapten completamente a los parámetros estudiados, por lo que en ciertos casos es necesario realizar pruebas de laboratorio para validar los modelos empleados.

Por lo tanto, la microbiología predictiva pese a estar presente en la industria alimentaria, requiere de una mayor reglamentación que permita su desarrollo y aceptación en este sector, mediante el establecimiento de criterio de validación concretos y universales, que sirvan como base metodológica para todos los modelos predictivos, traducándose en una mejora tanto de la seguridad como de la calidad alimentaria.

Bibliografía.

Adams, M.R., C.L. Little, y M.C. Easter. (1991). Modelling the effect of pH, acidulant and temperature on the growth rate of *Yersinia enterocolitica*. Journal of app. Microbiology Vol. 71, Pág. 65-71.

Baranyi, J., & Pin, C. (2001). Modelling microbiological safety. In Woodhead publishing Pág. 1-19.

Buelvas, G. (2013). Desarrollo de un modelo predictivo del crecimiento *Leuconostoc mesenteroides* para estimar vida útil de jamones cocidos lonchados empacados al vacío. Tesis Doctoral. Universidad de Colombia.

Cabeza, E. (2014). Aplicaciones de la microbiología predictiva para la determinación de la vida útil de los alimentos. Universidad de Pamplona. Colombia.
<http://sites.google.com/site/enalcahe>

Cedron, J. (2016). El Modelo de Gompertz y su aplicación en Seguridad Alimentaria. Tesis Doctoral Pág 1-43.

Entrup, M. L. (2006). Advanced planning in fresh food industries. Edit. Physica Nerlas. Berlín. Alemania.

Garcés Vega, F. J. (2003). Modelamiento del efecto de la temperatura y el ph en el crecimiento y producción de sustancias inhibitorias de bacterias del lactobacillus acidophilus. Universidad de la Sabana - Bogota.

Grijpspeerd, K., & Vanrolleghem, P. (1999). Estimating the parameters of the Baranyi model for bacterial growth. Food microbiology, Vol. 16(Peleg 1997), Pág. 593–605. Javier Cedron Castro. (2016).

Heredia, N., Dávila-Aviña, J. E., Solís, I., García, S. (2014). Productos cárnicos: principales patógenos y estrategias no térmicas de control Vol 8 (1), Pág. 1-23.

Magdevis Rodríguez. (2012). Evaluación de las condiciones higiénico-sanitarias y seguridad microbiológica de establecimientos de restauración colectiva y de platos de ensalada y cárnicos cocidos destinados a poblaciones de riesgo de Andalucía. Universidad de Córdoba.

McDonald, K., & Sun, D. W. (1999). Predictive food microbiology for the meat industry: a review. *International journal of food microbiology*, Vol. 52(1-2), Pág. 1–27.

McMeekin, T. A. (2007). Predictive microbiology: Quantitative science delivering quantifiable benefits to the meat industry and other food industries. *Meat science*, Vol. 77(1), Pág. 17–27.

McMeekin, T.A., Presser, k., Ratkowsky, D., Ross, T., Salter, M., and Tienungoon, S. (2000). Quantifying the hurdle concept by modelling the bacterial growth/ no growth interface. *International Journal of Food Microbiology* Vol. 55 (3). Pág. 93-98.

Miles, D. W. and Ross, T., identifying and quantifying risks in the food production chain, *Food Australia* Vol. 51 (7) pp. 298-303. ISSN 1032-5298 (1999).

Ninco, A., Alfredo L-M. (2016). Predictive microbiology to determine the expiry date of a goat meat product low in fat Vol. 52 (2), Pág. 1-57.

Perez-Rodriguez, F., Valero, A. (2012). Predictive microbiology in food. Part of the SpringerBriefs in Food, Health, and Nutrition book series (BRIEFSFOOD, volume 5).

Pérez-Rodríguez F, Zwietering, M.H. (2012). Application of the Central Limit Theorem in microbial risk assessment: high number of servings reduces the Coefficient of Variation of food-borne burden-of-illness. *International Journal of Food Microbiology* Vol. 53 (3), Pág. 413-419.

Ramos, F. (2014). Modelamiento del deterioro de la bebida isotónica sabor a mandarina causado por *Fusarium oxysporum*, usando el modelo logístico de la microbiología predictiva. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Pág. 61-67.

Salvador, J. (2013). Variabilidad de la inactivación microbiana y de la fase de latencia de los microorganismos supervivientes a diferentes tratamientos conservantes de alimentos. Tesis doctoral Pág 1-26.

Soman, R., Raman, M., (2016). HACCP system – hazard analysis and assessment, based on ISO 22000:2005 methodology. Food Control Vol 69, Pág. 191-195.

Sun, D. wen. (2012). Handbook of Food Safety Engineering (Pág. 1 – 855). Wiley Blackwell Online Library. <http://www.fao.org/ag/againfo/themes/es/meat/background.html>

http://www.mapama.gob.es/es/alimentacion/temas/consumo-y-comercializacion-y-distribucion-alimentaria/informeanualconsumo2016_tcm7-455729.pdf

http://www.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=10838%3A2015-peligros-biologicos&catid=7678%3Ahaccp&Itemid=41432&lang=es

<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2005-82539>

<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2007-82244>

<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2010-80710>

<https://www.boe.es/doue/2011/281/L00007-00011.pdf>

<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2014-80431>