

DEPÓSITO LEGAL ppi 201502ZU4666
*Esta publicación científica en formato digital
es continuidad de la revista impresa*
ISSN 0041-8811
DEPÓSITO LEGAL pp 76-654

Revista de la Universidad del Zulia

Fundada en 1947
por el Dr. Jesús Enrique Lossada



Ciencias

Exactas

Naturales

y de la Salud

Año 11 N° 30
Mayo - Agosto 2020
Tercera Época
Maracaibo-Venezuela

Simplificación del cálculo del volumen de activación y el valor zP para los modelos lineales de inactivación microbiana, enzimática o retención nutricional

William Rolando Miranda Zamora *
Manuel Jesús Sánchez Chero **
José Antonio Sánchez Chero ***
Karina Gutiérrez Valverde ****

RESUMEN

Los cálculos de procesos de alta presión hidrostática implican cinéticas de reacción de primer orden las cuales han sido comúnmente descritas por el método del tiempo de muerte de presión en el campo de la ingeniería de los alimentos. El objetivo de esta investigación fue revisar un análisis de varios ejemplos recogidos de la literatura científica de la metodología de simplificación. Los datos para obtener las constantes de volumen de activación (V_a) y las constantes de resistencia a la presión (zP) han sido recuperados de la literatura y clasificados en microorganismos, enzimas y nutrientes. La mayoría de los datos están disponibles en la forma de ecuaciones por lo que ha sido necesario escoger literatura que cuenta con los datos para poder volver a calcular con el nuevo planteamiento la constante de volumen de activación (V_a) y la constante de resistencia a la presión (zP). Los resultados de las ecuaciones con el nuevo procedimiento predicen tan igual que las de la literatura, pero éstas permiten el fácil manejo de los datos cinéticos con solamente un ajuste, como se muestran hasta ocho (8) maneras de poder determinar las constantes de V_a y valor zP , que son resumidas en tablas.

PALABRAS CLAVE: Volumen de activación; valor zP ; alta presión hidrostática; reacción de primer orden.

* Docente Asociado. Universidad Nacional de Frontera. Perú. <https://orcid.org/0000-0002-0829-2568>.

** Docente Investigador. Universidad Señor de Sipán S.A.C., Perú. <https://orcid.org/0000-0003-1646-3037>. E-mail: manuel Sanchez chero@gmail.com

*** Docente. Universidad César Vallejo. Perú. <https://orcid.org/0000-0002-3157-8935>

**** Docente. Universidad Nacional de Frontera. Perú. <https://orcid.org/0000-0001-8079-8371>

Recibido: 30/04/2020

Aceptado: 25/06/2020

Simplification of the calculation of the activation volume and the zP value for the linear models of microbial, enzymatic, or nutritional retention

ABSTRACT

Calculations of high hydrostatic pressure processes involve first order reaction kinetics which have been commonly described by the pressure death time method in the field of food engineering. The aim of this research was to review an analysis of several examples collected from the scientific literature of the simplification methodology. The data to obtain the activation volume constants (V_a) and the pressure resistance constants (zP) have been recovered from the literature and classified into microorganisms, enzymes and nutrients. Most of the data are available in the form of equations so it has been necessary to choose literature that has the data in order to recalculate the activation volume constant (V_a) and the pressure resistance constant (zP) with the new approach. The results of the equations with the new procedure predict as well as those of the literature, but they allow the easy handling of the kinetic data with only one adjustment, as shown up to eight (8) ways to be able to determine the constants of V_a and zP value, which are summarized in tables.

KEYWORDS: Activation volume; zP value; high hydrostatic pressure; first order reaction.

Introducción

El proceso de pascalización (como un homenaje a Blaise Pascal) (Jay et al., 2005), bridgmanización, (como un homenaje a Percy Williams Bridgman Nobel de física en 1946 por su trabajo de la física de las altas presiones) (Leake, 2018), alta presión (HP por sus siglas en inglés) (Evrendilek, 2018; Parekh et al., 2017), ultra alta presión (UHP por sus siglas en inglés) (Lin et al., 2017), alta presión (Calzada, 2015; Barboza-Cánovas y Bermudez-Aguirre, 2010) o alta presión hidrostática (HHP por sus siglas en inglés) (Ruiz, 2017, Andrés, 2016, Toledo et al., 2015) es un método para conservar los alimentos. El procesamiento con alta presión hidrostática ha sido considerado una tecnología innovadora en el procesamiento de alimentos debido a su procesamiento mínimo de las características técnicas de los productos alimentarios (Jia et al., 2019). El proceso de alta presión hidrostática, como un proceso no térmico, puede usarse para inactivar microorganismos mientras se minimizan las reacciones químicas (color, sabor y nutrición), conservando así la frescura de los alimentos (Huang et al. 2014). La alta presión hidrostática permite procesar

alimentos seguros de alta calidad. La determinación de los parámetros de la velocidad de inactivación microbiana, enzimática o retención tales como los valores DP y zP se da para caracterizar la reducción microbiana o la retención de nutrientes bajo presión hidrostática. La alta presión hidrostática para alimentos se aplica desde 100 MPa a más (Yamamoto, 2017) a temperatura ambiente o calor moderado (Jia et al., 2019).

Este artículo presenta una metodología para manejar datos de prueba utilizando curvas de tipo semilogarítmico para determinar a partir de la pendiente de una sola curva tanto el V_a como el valor zP. Las curvas de tipo semilogarítmico son útiles para verificar la unicidad de la solución.

El efecto de la presión en las reacciones alimentarias se explica a través de la teoría del estado de transición (Eyring, 1935), el cual considera al volumen de activación (Eyring y Magee, 1942; Stearn y Eyring, 1941), en el estado de transición de la reacción. En el estado de transición de la reacción (Hernalsteens y Pereira, 2019), la dependencia de la temperatura de una constante de velocidad k sobre la presión P se puede expresar como:

$$\left(\frac{\partial \ln k}{\partial P} \right)_T = - \frac{V_a}{RT} \quad (1)$$

Siendo: P = presión (MPa), k = constante de velocidad de reacción (min^{-1}), R = constante de los gases ($8,3144 \text{ m}^3 \text{ MPa (mol K)}^{-1}$ en el sistema internacional de unidades), T = temperatura absoluta (K en el sistema internacional de unidades), V_a = volumen de activación (m^3/mol).

Los efectos de presión correspondientes en los valores de E_a son los mostrados en la Tabla 1.

Tabla 1. Efectos de la presión sobre la E_a .

V_a	E_a
< 0 (negativo)	Disminuye
= 0	sin cambio
> 0 (positivo)	Aumenta

Los efectos de presión correspondientes en la velocidad de reacción se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Efectos de la presión sobre la velocidad de reacción.

Va	Velocidad de reacción
< 0 (negativo)	Aumenta
= 0	sin cambio
> 0 (positivo)	Disminuye

Cuanto mayor es la magnitud del V_a (positiva o negativa), mayor es la sensibilidad de una reacción química a la presión, mientras que las reacciones con $V_a = 0$ son independientes de la presión (Valdez-Fragoso et al., 2011; Mussa y Ramaswamy, 1997).

Para el caso de un nutriente, un volumen de activación negativo ($V_a < 0$) indica que la degradación del nutriente aumenta con un aumento de la presión (Tola y Ramaswamy, 2015).

El principio de Henri-Louis Le Châtelier (Le Châtelier, 1884, Le Châtelier, 1888) o denominado el principio de Le Châtelier-Braun (De Heer, 1957; Ehrenfest, 1911; Braun, 1887; Braun, 1888) en honor a Karl Ferdinand Braun (Süsskind, 1980) establece que “un sistema químico en condiciones de equilibrio experimentaría un cambio de reacción, acompañado de una disminución en el volumen cuando aumenta la presión y viceversa” (Jaeger et al., 2012; Yordanov y Angelova, 2010; Butz y Tauscher, 1998). Según este principio, cuando se altera el equilibrio de un sistema, el sistema responde para minimizar la perturbación acelerando las reacciones asociadas con la reducción de volumen y suprimiendo las reacciones que conducen a un aumento en el volumen (Anandharamakrishnan & Ishwarya, 2019).

La dependencia de la presión del valor DP se expresa mediante el valor zP a temperatura constante, por ejemplo, cuando un incremento de 200 MPa en la presión del proceso cambia el valor D de 20 a 2 min, el valor zP es 200 MPa (Farkas y Hoover, 2000) y de manera viceversa la dependencia de la temperatura del valor DT se expresa mediante el valor zT a presión constante (Miranda-Zamora y Heldman, 2018) (Tabla 3).

Existen muchas formas de encontrar el volumen de activación, V_a y el valor zP a partir de los datos de las constantes de velocidad de reacción, si fueran los años en los que Hite (1899) usó la alta presión hidrostática para procesar leche se usaría el papel semilogarítmico, que tiene un eje en una escala logarítmica y el otro en una escala lineal, para encontrar la pendiente entre las constantes de activación, k y la presión a una

temperatura constante, T, tal como se aprecia en la Figura 1. Es común su uso en la literatura científica.

Tabla 3. Constantes de tiempo de reducción decimal y de resistencia a la temperatura y presión.

Valor	a temperatura constante	a presión constante
DT		Tiempo de reducción decimal. Se calcula a partir de curvas de sobrevivientes o retenciones de concentración trazadas.
DP	Tiempo de reducción decimal. Se calcula a partir de curvas de sobrevivientes o retenciones de concentración trazadas.	
zP	Resistencia a la presión. La presión requerida para reducir el valor DP en un 90%.	
zT	Resistencia térmica. La temperatura requerida para reducir el valor DT en un 90% o en un factor de 10 .	

Fuente: Adaptado de Tola y Ramaswamy (2015), Patazca et al. (2006), Mussa y Ramaswamy (1997).

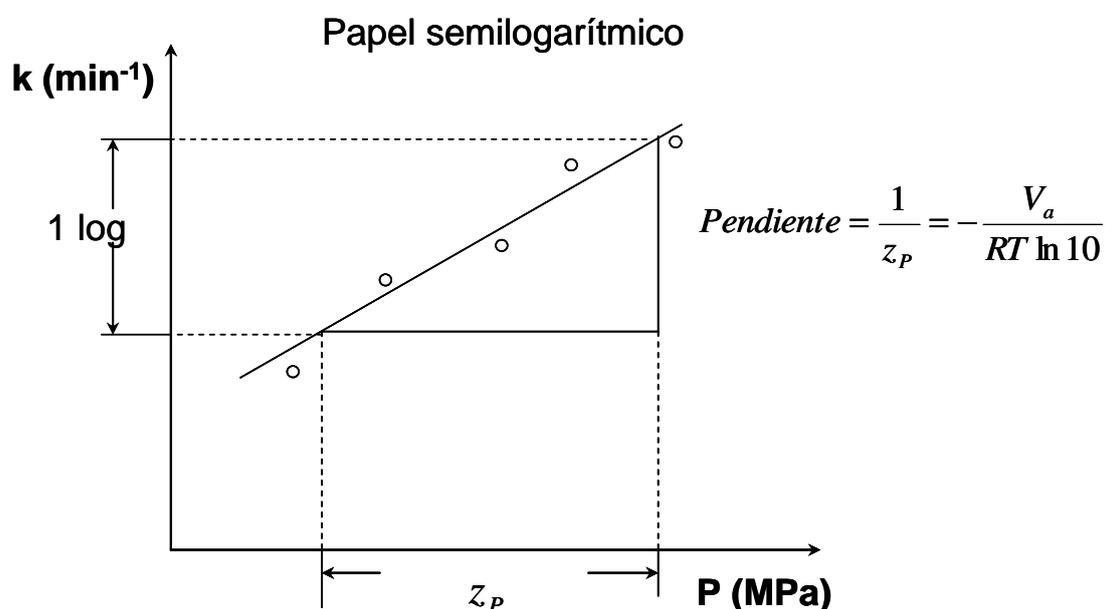


Figura 1. Determinación gráfica del valor zP y del volumen de activación. Gráfica entre la constante de activación, k y la presión.

La pendiente del ajuste lineal nos permite encontrar el volumen de activación, V_a y el valor z_P .

La segunda forma de encontrar el volumen de activación y el valor z_P usando el papel semilogarítmico es graficando el $1/k$ versus la presión, a una temperatura constante, T , tal como se aprecia en la Figura 2.

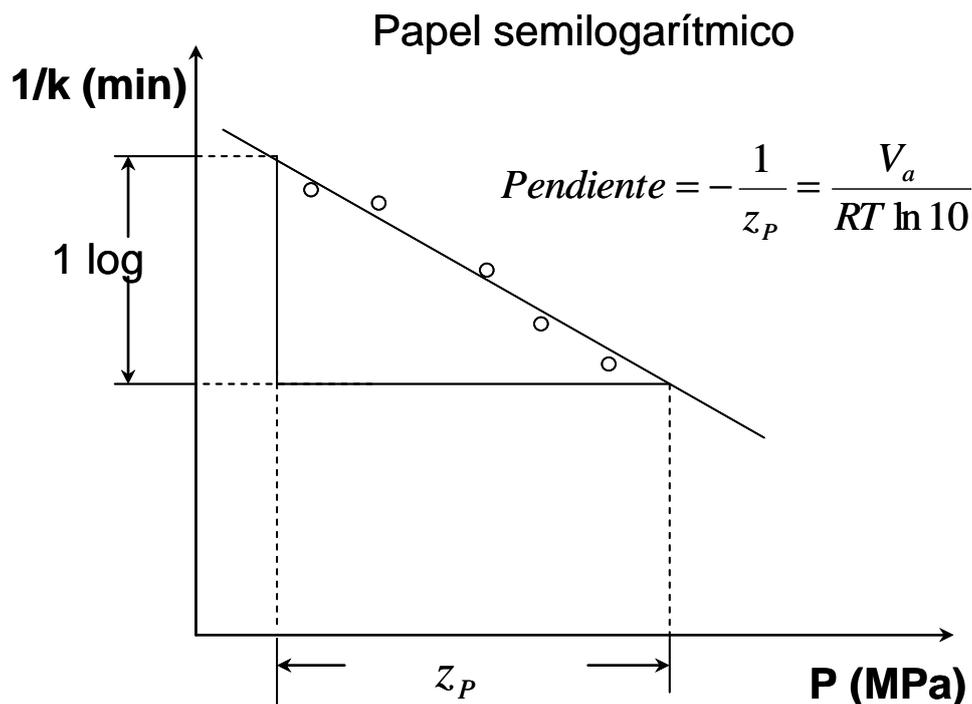


Figura 2. Determinación gráfica del valor z_P y del volumen de activación. Gráfica entre el inverso de la constante de activación, $1/k$ y la presión. Se plantea su uso.

Una tercera forma de encontrar el volumen de activación y el valor z_P usando el papel semilogarítmico es graficando el valor DP versus la presión, a una temperatura constante, T , tal como se aprecia en la Figura 3. Es común su uso en la literatura científica.

Una cuarta forma de encontrar el volumen de activación y el valor z_P usando el papel semilogarítmico es graficando el valor $1/DP$ versus la presión, a una temperatura constante, T , tal como se aprecia en la Figura 4.

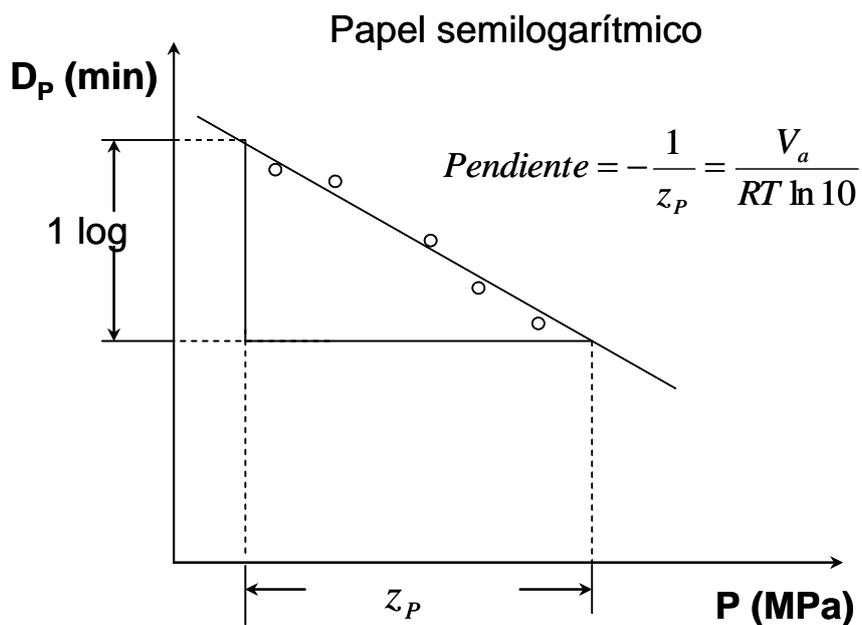


Figura 3. Determinación gráfica del valor z_P y del volumen de activación. Gráfica entre el valor D_P y la presión.

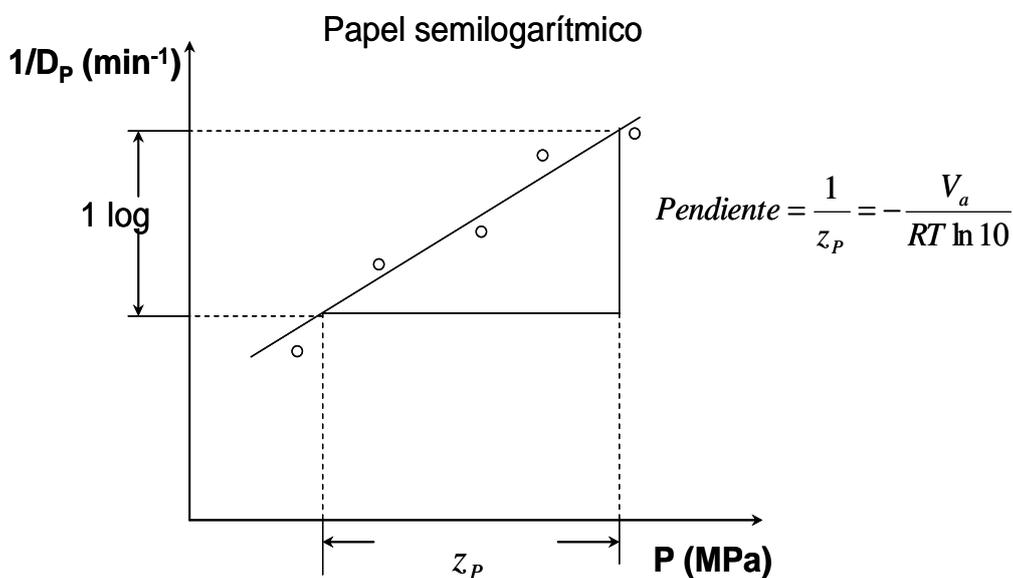


Figura 4. Determinación gráfica del valor z_P y del volumen de activación. Gráfica entre el valor $1/D_P$ y la presión. Se plantea su uso.

El papel gráfico semilogarítmico (Theodore y Behan, 2018; Roe et al., 2018; Turgeon, 2015; Yang, 2015; Onur y Palabiyik, 2015) facilita el trazado los procesos exponenciales ya que se asumen líneas rectas.

Al no encontrarnos en los años que vivió Hite (1866-1921) (Leake, 2018) tenemos que utilizar las herramientas computacionales como las hojas de cálculo: VisiCalc (Parsons, 2017), SuperCalc (Gassner, 1985), Lotus 1-2-3 (Sachs, 2007) y en la actualidad Excel de Microsoft (Poli, 2019; Guerrero, 2019; Alexander y Kusleika, 2019; Tiziano, 2019; Alexander y Kusleika, 2018; Quirk, 2013). El Excel es una herramienta utilizada en ingeniería de alimentos (Toledo et al., 2018; Singh y Heldman, 2013) para resolver diferentes tipos de análisis, como por ejemplo el ajuste por mínimos cuadrados para el análisis de regresión (Kato et al., 2019; Sreehari y Ghantasala, 2019; Paoella, 2019; Kavuncuoglu et al., 2018; Li et al., 2015; Ramsundar y Zadeh, 2018).

Para resolver tal como están los datos sin hacer ninguna aplicación de logaritmos podemos usar el análisis de regresión exponencial (Prataviera et al., 2019; Henriquez y Oxenham, 2018; Braide y Diema, 2018).

1. Metodología

La metodología de simplificación se ha logrado tras el análisis de varios ejemplos recogidos de la literatura científica (Kaushik et al., 2014; Salvi et al., 2017; Tola y Ramaswamy, 2015; Kaushik et al., 2014; Fachin et al., 2004; Fachin et al. 2003; Nienaber y Shellhammer, 2001; Van den Broeck et al., 2000).

La simplificación permite los cálculos y el manejo de datos de una manera ágil y sencilla usando una hoja de cálculo de Excel para poder determinar el valor z_P y el volumen de activación.

2. Resultados y Discusión

El análisis de regresión exponencial pertenece a la regresión no lineal, el Excel trae incorporada esta herramienta (Bisht y Soni, 2019) que se puede usar para ajustar los datos de constantes de velocidad de reacción, k versus presión y poder luego encontrar z_P y el V_a . El Excel tiene muchas funciones y herramientas incorporadas que podemos usar (McFedries, 2019; Bluttman, 2019) para encontrar las constantes de resistencia a la presión y el volumen de activación.

Se muestran en el presente trabajo hasta ocho (8) maneras de poder determinar las constantes de V_a y valor z_P , que son resumidas en la Tabla 4.

Tabla 4. Formas para determinar el valor zP y él Va.

Graficar	zP	Va
log k versus P	1/Pendiente	-Pendiente x R x T x ln10
log 1/k versus P	-1/Pendiente	Pendiente x R x T x ln10
ln k versus P	ln10/Pendiente	-Pendiente x R x T
ln 1/k versus P	-ln10/Pendiente	Pendiente x R x T
log DP versus P	-1/Pendiente	Pendiente x R x T x ln10
log 1/DP versus P	1/Pendiente	-Pendiente x R x T x ln10
ln DP versus P	-ln10/Pendiente	Pendiente x R x T
ln 1/DP versus P	ln10/Pendiente	-Pendiente x R x T

Si se tuviera una hoja de cálculo de Excel los datos de la presión y la velocidad de reacción ordenados de la manera que se observa en la Figura 5.

	A	B	C
1	Presión, P (MPa)	Velocidad de reacción, k (min⁻¹)	
2	.	.	
3	.	.	
4	.	.	
5	Pendiente	=PENDIENTE(LOG(B2:B4);A2:A4)	
6			

Figura 5. Datos de presión y velocidad de reacción en una hoja de Excel.

En la Tabla 5 se resumen las formas más sencillas de encontrar la pendiente en una hoja de cálculo de Excel para luego proceder a encontrar el valor zP y él Va de acuerdo a las Figuras 5 y 6.

Tabla 5. Resumen de las maneras de encontrar la pendiente de acuerdo a las Figuras 5 y 6.

Graficar	Pendiente
log k versus P	=PENDIENTE(LOG(B2:B4);A2:A4)
log 1/k versus P	=PENDIENTE(LOG(1/(B2:B4));A2:A4)
ln k versus P	=PENDIENTE(LN(B2:B4);A2:A4)
ln 1/k versus P	=PENDIENTE(LN(1/(B2:B4));A2:A4)
log DP versus P	=PENDIENTE(LOG(D2:D4);C2:C4)
log 1/DP versus P	=PENDIENTE(LOG(1/(D2:D4));C2:C4)
ln DP versus P	=PENDIENTE(LN(D2:D4);C2:C4)
ln 1/DP versus P	=PENDIENTE(LN(1/(D2:D4));C2:C4)

	C	D	E
1	Presión, P (MPa)	Valor D_p (min⁻¹)	
2	.	.	
3	.	.	
4	.	.	
5	Pendiente	=PENDIENTE(LOG(D2:D4);C2:C4)	
6			

Figura 6. Datos de presión y valor DP en una hoja de Excel.

A partir de la revisión de la literatura científica, por ejemplo, Kaushik et al. (2014), trabajan con la inactivación de un grupo de microorganismos (mesófilos aerobios, levaduras y mohos, coliformes, bacterias ácido lácticas y psicrotrofos) en pulpa de mango calculando la pendiente de las curvas log DP versus la presión y ln k versus la presión haciendo uso de dos ecuaciones, cuando se puede simplificar, y a partir de una de las dos curvas se puede obtener tanto el Va como el valor zP, tal como se plantea en la Tabla 4.

Conclusiones

Se ha presentado un análisis de la constante de volumen de activación y la constante de resistencia a la presión (zP) para el manejo de datos cinéticos.

Un procedimiento, con cuatro nuevas ecuaciones son presentadas y permiten predecir (constante de volumen de activación y la constante de resistencia a la presión) en un solo paso.

Referencias

- Alexander, M., Kusleika, R. (2018). Excel 2019 bible. Wiley.
- Alexander, M., Kusleika, R. (2019). Excel 2019 power programming with VBA. John Wiley & Sons.
- Anandharamakrishnan, C.; Ishwarya, S.P. (2019). Essentials and applications of food engineering. CRC Press.
- Andrés, V. (2016). Efecto del tratamiento de altas presiones hidrostáticas y del almacenamiento sobre la seguridad y la calidad nutricional, sensorial y funcional de

smoothies como alternativa a las bebidas mixtas comerciales. Tesis doctoral. Universidad Complutense de Madrid. Facultad de Farmacia. Departamento de Nutrición y Bromatología II. Bromatología. Madrid-España.

Barboza-Cánovas, G.V.; Bermudez-Aguirre, D. (2010). Procesamiento no térmico de alimentos. *Scientae Agropecuaria*, 1: 81-93.

Bisht, A.S., Soni, U. (2019). Application of linear regression modeling on continuous and categorical data using R programming scripts. *International Journal of Applied Engineering Research*, 14 (4): 965-976.

Bluttman, K. (2019). *Excel® formulas & functions for dummies®*. 5th Edition. John Wiley & Sons.

Braide, S.L., Diema, E.J. (2018). Analysis of Least Square and Exponential Regression Techniques for Energy Demand Requirement (2013-2032). *American Journal of Electrical and Electronic Engineering*, 6(2), 38-59.

Braun, F. (1887). Untersuchungen über die Löslichkeit fester Körper und die den Vorgang der Lösung begleitenden Volum- und Energieänderungen. *Zeitschrift Für Physikalische Chemie*, 1U(1).

Braun, F. (1888). Ueber einen allgemeinen qualitativen Satz für Zustandsänderungen nebst einigen sich anschliessenden Bemerkungen, insbesondere über nicht eindeutige Systeme. *Annalen Der Physik Und Chemie*, 269(2), 337-353.

Butz, P., Tauscher, B. (1998). Food chemistry under high hydrostatic pressure. *High Pressure Food Science, Bioscience and Chemistry*, 133-144.

Calzada, J. (2015). Prevención de la sobremaduración y de la formación de aminas biógenas en quesos mediante tratamientos de altas presiones. Tesis Doctoral. Facultad de Veterinaria. Departamento de Nutrición, Bromatología y Tecnología de los Alimentos. Universidad Complutense de Madrid. Madrid-España.

De Heer, J. (1957). The principle of Le Châtelier and Braun. *Journal of Chemical Education*, 34(8), 375.

Ehrenfest, P. (1911). Das Prinzip von Le Chatelier-Braun und die reziprozitätssätze der thermodynamic. *Zeitschrift für physikalische Chemie*, 227-244.

Evrendilek, G.A. (2018). Effects of high pressure processing on bioavailability of food components. *Journal of Nutrition & Food Sciences*, 8 (2): 676.

Eyring, H. (1935). The Activated Complex in Chemical Reactions. *The Journal of Chemical Physics*, 3(2), 107-115.

Eyring, H.; Magee, J.L. (1942). Application of the theory of absolute reaction rates to bacterial luminescence. *Journal of Cellular and Comparative Physiology*, 20(2), 169-177.

Fachin, D., Smout, C., Verlent, I., Ly Nguyen, B., Van Loey, A.M., Hendrickx, M.E. (2004). Inactivation Kinetics of Purified Tomato Polygalacturonase by Thermal and High-Pressure Processing. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(9), 2697–2703.

Fachin, D., Van Loey, A.M., Nguyen, B.L., Verlent, I., Indrawati, Hendrickx, M.E. (2003). Inactivation kinetics of polygalacturonase in tomato juice. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 4(2), 135–142.

Farkas, D.F.; Hoover, D.G. (2000). High pressure processing. *Journal of Food Science*, 65, 47–64.

Gassner, F. (1985). *Bankkunden-beratung mit SuperCalc auf Osborne – und allen CP/M-betriebssystemen*. Springer Fachmedien Wiesbaden.

Guerrero, H. (2019). *Excel data analysis: modeling and simulation*. Springer.

Henriquez, A.C., Oxenham, M.F. (2018). New distance-based exponential regression method and equations for estimating the chronology of linear enamel hypoplasia (LEH) defects on the anterior dentition. *American Journal of Physical Anthropology*.

Hernalsteens, S.; Pereira, C.G. (2019). Thermodynamics of Reactions in Food Systems. *Thermodynamics of Phase Equilibria in Food Engineering*, 593–631.

Hite, B.H. (1899). The effect of pressure in the preservation of milk. *West Virginia University. Agricultural Experiment Station*, 58, 15-35.

Huang, H.-W.; Lung, H.-M.; Yang, B.B.; Wang, C.-Y. (2014). Responses of microorganisms to high hydrostatic pressure processing. *Food Control* 40: 250–259.

Jaeger, H.; Reineke, K.; Schoessler, K.; Knorr, D. (2012). Effects of emerging processing technologies on food material properties. *Food Materials Science and Engineering*, 222–262.

Jay, J.M.; Loessner, M.J.; Golden, D.A. (2005). *Modern Food Microbiology*. 7 ed. Springer.

Jia, J.; Liu, D.; Ma, H. (2019). *Advances in food processing technology*. Springer Singapore.

Kato, T., Kobayashi, A., Oishi, W., Kadoya, S., Okabe, S., Ohta, N., Amarasiri, M., Sano, D. (2019). Sign-constrained linear regression for prediction of microbe concentration based on water quality datasets. *Journal of Water and Health*, 17(3), 404–415.

Kaushik, N., Kaur, B.P., Rao, P.S., Mishra, H.N. (2014). Effect of high pressure processing on color, biochemical and microbiological characteristics of mango pulp (*Mangifera indica* cv. Amrapali). *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 22, 40–50.

Kavuncuoglu, H., Kavuncuoglu, E., Karatas, S.M., Benli, B., Sagdic, O., Yalcin, H. (2018). Prediction of the antimicrobial activity of walnut (*Juglans regia* L.) kernel aqueous extracts

using artificial neural network and multiple linear regression. *Journal of Microbiological Methods*, 148, 78–86.

Le Châtelier, H.L. (1884). A general statement of the laws of chemical equilibrium. *Comptes Rendus* 99: 786–789.

Le Châtelier, H.L. (1888). *Recherches expérimentales et théoriques sur les équilibres chimiques*. Dunod, Paris.

Leake, L.L. (2018). HPP: A ‘cool’ innovation in food packaging. *Food Quality & Safety*, 25(4). Wiley.

Li, Z., Cao, X., Ding, X., Chen, H. (2015). Prediction Model of Multiple Linear Regression Analysis in Grain Production. 5th International Conference on Information Engineering for Mechanics and Materials (ICIMM) 1290-1293.

Lin, Y.H.; Li, C.H.; Lin, C.H.; Yan, Y.Z.; Chuang, Y.Y.; Chen, G.W. (2017). Application and development status of an ultra-high pressure processing technique in aquatic food. *Haidayu* 47, 17-32.

McFedries, P. (2019). *Microsoft Excel 2019 formulas and functions*. Pearson education.

Miranda-Zamora, W.R.; Heldman, D.R. (2018). *Diseño de procesos térmicos y alta presión de alimentos*. AMV ediciones.

Mussa, D.M.; Ramaswamy, H.S. (1997). Ultra high pressure pasteurization of milk: kinetics of microbial destruction and changes in physico-chemical characteristics. *LWT - Food Science and Technology*, 30(6), 551–557.

Nienaber, U., Shellhammer, T.H. (2001). High-Pressure Processing of Orange Juice: Kinetics of Pectinmethylesterase Inactivation. *Journal of Food Science*, 66(2), 328–331.

Onur, M., Palabiyik, Y. (2015). Nonlinear parameter estimation based on history matching of temperature measurements for single-phase liquid-water geothermal reservoirs. *Proceedings World Geothermal Congress 2015, Melbourne, Australia*, 19-25.

Paoletta, M.S. (2019). *Linear models and time-series analysis: regression, ANOVA, ARMA and GARCH*. John Wiley & Sons.

Parekh, S.L., Aparnathi, K.D., Sreeja, V. (2017). High Pressure Processing: A potential technology for processing and preservation of dairy foods. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(12): 3526-3535.

Parsons, J.J. (2017). *New perspectives on computer concepts 2018: comprehensive*. Edition 20. Cengage Learning.

Patazca, E., Koutchma, T., Ramaswamy, H.S. (2006). Inactivation kinetics of *Geobacillus stearothermophilus* spores in water using high-pressure processing at elevated temperatures. *Journal of Food Science*, 71(3), M110–M116.

Poli, P. (2019). *Excel 2019: formule e analisi dei dati*. Hoepli.

Prataviera, F., Vasconcelos, J.C.S., Cordeiro, G.M., Hashimoto, E.M., Ortega, E.M.M. (2019). The exponentiated power exponential regression model with different regression structures: application in nursing data. *Journal of Applied Statistics*, 1–30.

Quirk, T.J. (2013). *Excel 2013 for engineering statistics: a guide to solving practical problems*. Springer International Publishing.

Ramsundar, B., Zadeh, R.B. (2018). *Tensorflow for deep learning: from linear regression to reinforcement learning*. O'Reilly Media.

Roe, J., deForest, R., Jamshidi, S. (2018). *Mathematics for sustainability*. Springer.

Ruiz, P. (2017). *Conservación de alimentos por altas presiones hidrostáticas*. Trabajo de fin de grado. Universidad Complutense. Madrid-España.

Sachs, J. (2007). Recollections: developing Lotus 1-2-3. *IEEE Annals of the History of Computing*, 29(3), 41–48.

Salvi, D., Arserim, E., Karwe, M. (2017). Innovative Processing Technologies for Mango Products. *Handbook of Mango Fruit*, 169–193.

Singh, R.P., Heldman, D.R. (2013). *Introduction to food engineering*. Fifth edition. Academic Press.

Sreehari, E., Ghantasala, P.G.S. (2019). Climate changes prediction using simple linear regression. *Journal of Computational and Theoretical Nanoscience*, 16(2), 655–658.

Stearn, A.E., Eyring, H. (1941). Pressure and Rate Processes. *Chemical Reviews*, 29(3), 509–523.

Süsskind, C. (1980). Ferdinand Braun: Forgotten Forefather. *Advances in Electronics and Electron Physics*, 241–260.

Theodore, L., Behan, K. (2018). *Introduction to optimization for environmental and chemical engineers*. CRC Press.

Tiziano, B. (2019). *How to model and validate expected credit losses for IFRS9 and CECL: a practical guide with examples worked in Excel, R, and SAS*. Elsevier Science & Technology.

Tola, B.; Ramaswamy, H. (2015). Temperature and high pressure stability of lycopene and vitamin C of watermelon Juice. *African Journal of Food Science*. 9. 351-358.

Toledo, J.; Grande, M.J.; Lucas, R.; Gálvez, A.; Pérez Pulido, R. (2015). Inactivación de patógenos en vegetales mediante el uso de altas presiones hidrostáticas. *Biosaia: Revista de los másteres de Biotecnología Sanitaria y Biotecnología Ambiental, Industrial y Alimentaria*, 1(4).

Toledo, R.T., Singh, R.K, Kong, F. (2018). *Fundamentals of food process engineering*. Fourth edition. Springer.

Turgeon, M.L. (2015). *Linne & Ringsrud's clinical laboratory science: concepts, procedures, and clinical applications*. Seventh edition. Elsevier, Mosby.

Valdez-Fragoso, A.; Mújica-Paz, H.; Welti-Chanes, J.; Torres, J.A. (2011). Reaction kinetics at high pressure and temperature: effects on milk flavor volatiles and on chemical compounds with nutritional and safety importance in several foods. *Food and Bioprocess Technology*, 4(6), 986–995.

Van den Broeck, I., Ludikhuyze, L.R., Van Loey, A.M., Hendrickx, M.E. (2000). Inactivation of orange pectinesterase by combined high-pressure and -temperature treatments: a kinetic study. *Journal of agricultural and food chemistry*, 48(5), 1960–1970.

Yamamoto, K. (2017). Food processing by high hydrostatic pressure. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 81(4), 672–679.

Yang, W. (2015). Effect of chlorine dioxide gas treatment on bacterial inactivation inoculated on spinach leaves and on pigment content. Master of Science, Ohio State University, Food, Agricultural and Biological Engineering.

Yordanov, D.G.; Angelova, G.V. (2010). High pressure processing for foods preserving. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 24(3), 1940–1945.