



Scan to know paper details and
author's profile

Survival and Inactivation Kinetics of Escherichia Coli Atcc 8739 Crm by Electromagnetic Radiation

*Mendoza-Corvis, Fernando-Alonso, Álvarez-Badel, Beatriz-Elena
& Segura-Bermúdez, Mauricio-Gabriel*

Universidad de Córdoba

ABSTRACT

Microwave heating of food is an emerging treatment where the effect on the pathogenic microorganisms that may be present is unknown. This research evaluated the survival of Escherichia coli ATCC CRM 8739 inoculated in BHI broth as a function of microwave treatment at 300, 400, 500, 600 and 700 W for a process time of 20, 40, 60, 80 and 100 s, its inactivation kinetics and the best conditions to achieve its elimination in the matrix studied. The survival of E. coli ATCC CRM 8739 decreased as a function of the increase in microwave power and the treatment time to which it was subjected, achieving its elimination at a minimum power of 400 W during an exposure time of 80 s and using a minimum time of 60 s at 700 W, exhibiting inactivation kinetics adjusted to the Weibull model, presenting an increase in the sensitivity of the strains (parameter n) as the power of the microwave treatment increased. The best conditions to achieve inactivation by numerical optimization are achieved using a power of 660.79 W for a time of 73.15 s.

Keywords: inactivation kinetics; *e. coli*; microbial inactivation; food safety; predictive microbiology; microwaves; weibull model; electromagnetic radiation; microbial survival; kinetic parameters.

Classification: DDC Code: 615.954 LCC Code: QR117

Language: English



London
Journals Press

LJP Copyright ID: 925653
Print ISSN: 2631-8490
Online ISSN: 2631-8504

London Journal of Research in Science: Natural and Formal

Volume 22 | Issue 11 | Compilation 1.0



Survival and Inactivation Kinetics of *Escherichia Coli* Atcc 8739 Crm by Electromagnetic Radiation

Supervivencia Y Cinética De Inactivación De *Escherichia Coli* Atcc Crm 8739
Mediante Radiación Electromagnética*

Mendoza-Corvis, Fernando-Alonso^a, Álvarez-Badel, Beatriz-Elena^o
& Segura-Bermúdez Mauricio-Gabriel^p

RESUMEN

El calentamiento de los alimentos con microondas es un tratamiento emergente en donde se desconoce el efecto sobre los microorganismos patógenos que pueden estar presentes. Esta investigación permitió evaluar la supervivencia de la *Escherichia coli* ATCC CRM 8739 inoculada en caldo BHI en función del tratamiento con microondas con potencias de 300, 400, 500, 600 y 700 W durante un tiempo de proceso de 20, 40, 60, 80 y 100 s, su cinética de inactivación y las mejores condiciones para lograr su eliminación en la matriz estudiada. La supervivencia de la *E. coli* ATCC CRM 8739 disminuyó en función del incremento de la potencia del microondas y el tiempo de tratamiento a que fue sometida, logrando su eliminación a una potencia mínima de 400 W durante un tiempo de exposición de 80 s y empleando un tiempo mínimo de 60 s a 700 W, exhibiendo una cinética de inactivación ajustada al modelo de Weibull, presentando un incremento en la sensibilidad de las cepas (parámetro *n*) en la medida que aumentaba la potencia del tratamiento con microondas. Las mejores condiciones para lograr su inactivación mediante optimización numérica se logran empleando una potencia de 660,79 W durante un tiempo de 73,15 s.

Palabras Clave: cinética de inactivación; *e. coli*; inactivación microbiana; inocuidad; microbiología predictiva; microondas; modelo de weibull; radiación electromagnética; supervivencia microbiana; parámetros cinéticos.

ABSTRACT

Microwave heating of food is an emerging treatment where the effect on the pathogenic microorganisms that may be present is unknown. This research evaluated the survival of *Escherichia coli* ATCC CRM 8739 inoculated in BHI broth as a function of microwave treatment at 300, 400, 500, 600 and 700 W for a process time of 20, 40, 60, 80 and 100 s, its inactivation kinetics and the best conditions to achieve its elimination in the matrix studied. The survival of *E. coli* ATCC CRM 8739 decreased as a function of the increase in microwave power and the treatment time to which it was subjected, achieving its elimination at a minimum power of 400 W during an exposure time of 80 s and using a minimum time of 60 s at 700 W, exhibiting inactivation kinetics adjusted to the Weibull model, presenting an increase in the sensitivity of the strains (parameter *n*) as the power of the microwave treatment increased. The best conditions to achieve inactivation by numerical optimization are achieved using a power of 660.79 W for a time of 73.15 s.

Keywords: inactivation kinetics; *e. coli*; microbial inactivation; food safety; predictive microbiology; microwaves; weibull model; electromagnetic radiation; microbial survival; kinetic parameters.

Author's: Título del proyecto de origen: Evaluación la cinética de inactivación de *Escherichia coli* ATCC CRM 8739 por método de radiación electromagnética inoculado en caldo BHI (Microondas). Financiación: Universidad de Córdoba. Culminación: 20 de noviembre de 2016. Universidad de Córdoba, Facultad

de Ingeniería, Ingeniería de Alimentos, Grupo de Investigación en Procesos Agroindustriales (GIPAG). M.Sc. Ciencias Agroalimentarias. Ciénaga de Oro, Córdoba. <https://orcid.org/0000-0002-9631-9555>.

σ Universidad de Córdoba, Facultad de Ingeniería, Ingeniería de Alimentos, Grupo de Investigación en Procesos Agroindustriales (GIPAG). M.Sc. Ciencias Agroalimentarias. Ciénaga de Oro, Córdoba. <https://orcid.org/0000-0003-1692-1683>.

p Universidad de Córdoba, Facultad de Ingeniería, Ingeniería de Alimentos, Grupo de Investigación en Procesos Agroindustriales (GIPAG). Ingeniero de alimentos. Ciénaga de Oro, Córdoba. <https://orcid.org/0000-0002-5993-4022>

I. INTRODUCCION

El control de calidad en la producción de alimentos tiene como finalidad última suministrar productos inocuos, nutritivos y apetitosos, con una vida de anaquel adecuada, a un costo accesible para el consumidor (Walls *et al.*, 2019). Para este fin se han implementado muchos métodos de conservación entre otros está el empleo de microondas, el cual proporciona ventajas como un tiempo de proceso más corto y un calentamiento más uniforme en relación con las tecnologías convencionales (Hong *et al.*, 2021).

La inactivación por microondas en microorganismos presente en los alimentos es un tema estudiado ampliamente, muchos trabajos citan la reducción de microorganismos en diferentes alimentos como cárnicos, papa, alimentos congelados, estudiándose igualmente la capacidad de algunos microorganismos de presentar resistencia de este tipo de métodos como las bacterias *Salmonella*, *Listeria monocytogenes* y *E. coli* (Huang *et al.*, 2019; Portela *et al.*, 2019). Varios estudios relacionan que muchas veces la destrucción de los mismos depende del alimento teniendo en cuenta su humedad y cantidad de nutrientes y también la potencia del horno microondas (Laguerre and Hamoud-Agha, 2019). Se relaciona presencia de *E. coli* en los alimentos como productos de carne picada cruda o poco cocida y leche cruda. La contaminación fecal del agua y de otros alimentos, así como la contaminación cruzada durante la preparación de estos (con carne de vacuno y otros productos cárnicos, superficies y utensilios de

cocina contaminados) y alimentos de ventas callejeras (Xu *et al.*, 2019); debido a esto se hace necesario estudiar diferentes mecanismos de inactivación para mantener la inocuidad de los alimentos. Estudios realizados en diversos tipos de alimentos expuestos a microondas han demostrado reducciones significativas de *E. coli*. En leche se redujo entre 4 y 5 ciclos logarítmicos a 1200W con 15 y 20 s (Singh *et al.*, 2019; Thum *et al.*, 2019); en jugo de manzana redujeron 7 ciclos logarítmicos con 1800W y 25 s (Mendes-Oliveira *et al.*, 2020), en pimienta negra 6 ciclos logarítmicos con 800W en 5 min (Rifna *et al.*, 2019). Se ha encontrado también reducción de 4,4 ciclos logarítmicos de *E. coli*, sus toxinas y de los genes de resistencia bacteriana en el aire (Wang *et al.*, 2020).

En la microbiología existen ramas dedicadas al estudio del comportamiento de los microorganismos sometidos al estrés, que permiten anticipar el efecto del cambio de determinados factores ambientales en el crecimiento e inactivación de los microorganismos o cuando se someten bajo condiciones controladas, denominándose microbiología predictiva (González *et al.*, 2019), la cual está basada en el argumento de que las respuestas de poblaciones de microorganismos a factores medioambientales son reproducibles y que por lo tanto es posible, interpolando entre puntos, predecir el comportamiento de esos microorganismos para condiciones que no han sido ensayadas, teniendo en cuenta modelos de distribución que pueden describir el comportamiento del microorganismo estudiado, entre estos están Log lineal, Weibull, Colas pronunciadas y Gompertz (Hashemi *et al.*, 2019).

En este estudio se evaluó la resistencia de la cepa de *Escherichia coli* ATCC CRM 8739 al ser sometida a ondas electromagnéticas (Microondas) a diferentes potencias (300 – 700 W) y tiempos de proceso (20 – 100 s), empleando como matriz de trabajo el caldo BHI (Brain Heart Infusion), puesto que, en este, el microorganismo se encuentra en condiciones óptimas de crecimiento antes de ser sometido al tratamiento con microondas.

II. MÉTODO

2.1 Evaluación de la supervivencia de la *Escherichia coli* ATCC CRM 8739 en función de la potencia del tratamiento con microondas y el tiempo de proceso

Inicialmente se realizó la activación de la cepa *Escherichia coli* ATCC CRM 8739 adquirida en el laboratorio de Bacteriología de la Universidad de Córdoba (Colombia) mediante siembra en 100 mL de caldo BHI a 35°C durante 24 h. Al cabo de este período, con el fin de descartar la presencia de microorganismos contaminantes, se realizó la siembra del caldo inoculado en agar EMB, incubándolo a 35°C por 24 h, en el cual las cepas de *E. coli* crecen con un color característico verde brillante metálico (Dhara *et al.*, 2020).

2.2 Determinación de la supervivencia de la *E. coli* ATCC CRM 8739 en función a la potencia del tratamiento con microondas y el tiempo de proceso

Las cepas características de *E. coli* que crecieron en el agar EMB se transfirieron a 1 L de caldo

BHI, el cual se llevó a incubación a 35°C durante 24 h y luego refrigerando hasta alcanzar una temperatura promedio de $12 \pm 2^\circ\text{C}$. Al término de este tiempo se adicionaron 100 mL del caldo inoculado en frascos estériles, con una concentración inicial (N_0) mínimo de 10^9 ufc/mL, sometién dose a radiación mediante ondas electromagnéticas empleando un microondas marca HACEB Referencia AR HM-0,7 INOX a diferentes potencias (cuadro 1), realizando el recuento inicial (N_0) y final (N) del microorganismo al término de los tiempo de exposición de 20, 40, 60, 80 y 100 s, midiendo además la temperatura del caldo inoculado antes e inmediatamente después del tratamiento con ayuda de un termómetro, empleando como referencia los estudios realizados por Gomółka-Pawlicka (2013). El recuento se llevó a cabo similarmente en agar EMB incubando las muestras durante 24 h a 35°C. Una vez transcurrido este periodo de tiempo se procedió a realizar el recuento para determinar la cantidad de colonias viables que había en el medio dependiendo del tiempo y potencia a que había sido sometida la cepa.

El cálculo del porcentaje de supervivencia de la *E. coli* se llevó a cabo mediante la siguiente formula:

$$\% \text{ Supervivencia } E. coli = \frac{N}{N_0} \times 100 \quad (\text{Ec.1})$$

Donde N se refiere al recuento final al tiempo “t” y N_0 al recuento inicial.

El experimento se llevó a cabo mediante un diseño central compuesto, evaluando la supervivencia de la *E. coli* ATCC CRM 8739 empleando cinco niveles de potencia (300, 400, 500, 600 y 700 W) y cinco tiempos de proceso (20, 40, 60, 80 y 100 s), con cinco repeticiones del

punto central y tres de los puntos axiales para un total de 29 tratamientos (cuadro 2). El análisis estadístico de los datos se llevó a cabo mediante ANOVA a un nivel de significancia del 5% empleando el software Desing expert 8.0.

Cuadro 1: Tratamientos con microondas realizados en *E. coli* ATCCC CRM 8739

Nº	Potencia (w)	Tiempo (s)	Nº	Potencia (w)	Tiempo (s)	Nº	Potencia (w)	Tiempo (s)
1	600	80	11	500	60	21	500	60
2	400	80	12	500	60	22	400	40
3	600	40	13	500	20	23	300	60
4	600	40	14	500	100	24	600	80
5	500	20	15	500	60	25	600	80

6	500	100	16	600	40	26	300	60
7	500	100	17	500	20	27	400	80
8	700	60	18	700	60	28	400	40
9	700	60	19	300	60	29	400	40
10	400	80	20	500	60	-----	-----	-----

A partir de los datos obtenidos en los ensayos, se determinó la mejor relación entre potencia del microondas y el tiempo de proceso hasta obtener una reducción total del microorganismo

utilizando para ello el software Desing Expert 8.0 mediante optimización numérica y la función de deseabilidad contemplados en el mismo, empleando las restricciones del cuadro 2.

Cuadro 2: Restricciones para determinar las mejores condiciones para la inactivación de la *E. coli* mediante el tratamiento con microondas.

Variable	Restricción	Valor mínimo	Valor máximo
Potencia (watt)	En el rango	400	700
Tiempo (s)	En el rango	40	100
Supervivencia <i>E. coli</i> (%)	Meta	0	0
Temperatura (°C)	En el rango	70	98

2.3 Evaluación de la cinética de inactivación de la *Escherichia coli* ATCC CRM 8739 tratada con microondas

Teniendo en cuenta la concentración inicial (N_0) y final de células (N) obtenidas después de someter el caldo BHI que contenía la cepa de *Escherichia coli* ATCC CRM 8739 a distintas potencias de microondas (300, 400, 500, 600 y 700 W) y cinco tiempos de proceso (20, 40, 60, 80 y 100 s), se

procedió a evaluar la cinética de inactivación microbiana empleando los modelos Log-Lineal (Ec. 2), Weibull (Ec. 3), modelo de colas pronunciadas (Ec. 4) y modelo de Gompertz (Ec. 5) (Akkermans *et al.*, 2020). Para ello se empleó el método de mínimos cuadrados teniendo en cuenta el ajuste acorde al coeficiente de determinación obtenido.

$$\log_{10}\left(\frac{N}{N_0}\right) = -kt \quad (\text{Ec.2})$$

$$\log_{10}S(t) = \log_{10}\left(\frac{N(t)}{N_0}\right) = -bt^n \quad (\text{Ec.3})$$

$$\log_{10}S(t) = -\frac{k_1t}{k_2+t} \quad (\text{Ec.4})$$

$$\log_{10}S = -A \exp(-\exp(-B(t - C))) \quad (\text{Ec.5})$$

Donde $S(t)$ es la fracción de microorganismos sobrevivientes, $N(t)$ concentración de células al tiempo “t”, N_0 la concentración inicial de células, “k” es la constante de velocidad de inactivación, “b” y “n” se definen como la velocidad de inactivación y la sensibilidad de las células al

estímulo, en este caso al calor, k_1 hace referencia a la pendiente de la recta formada por los datos de los microorganismos más susceptibles al tratamiento, k_2 hace referencia a los más resistentes, A, B y C son coeficientes que varían según la temperatura.

III. RESULTADOS

3.1 Evaluación de la supervivencia de *Escherichia coli* ATCC CRM 8739 en función de la potencia del tratamiento con microondas y el tiempo de proceso

El análisis de varianza exhibió diferencia significativa en la supervivencia de la *Escherichia coli* ATCC CRM 8739 en función de la potencia del tratamiento con microondas (A) y del tiempo de proceso (B). Las interacciones AB, A² y B² no presentaron efecto significativo ($p < 0,05$) sobre el parámetro de estudio (Figuras 1 y 2). Al evaluar la

supervivencia de la *E. coli* ATCC CRM 8739 se observó el descenso de su población a medida que aumentaba el tiempo de irradiación y la potencia empleada en el proceso. Una potencia mínima de 400 W durante un tiempo de 60 segundos o superior fue suficiente para reducir la carga bacteriana en un 50%; no obstante, para lograr su inactivación se necesitaron de largos períodos de exposición al tratamiento con microondas, de hasta 100s a la potencia relacionada para llegar a eliminar completamente dicha bacteria, con excepción de la potencia más elevada (700W) en la cual se logró la inactivación de la *E. coli* al término de los 60 s de ensayo (cuadro 3).

Cuadro 3: Efecto del tratamiento con microondas en el porcentaje de supervivencia de la *E. coli* ATCC CRM 8739 en función de la potencia y tiempo de tratamiento

Tiempo del tratamiento (s)	Potencia del sistema con microondas (W)				
	300	400	500	600	700
20	100,0% ^a	90,2% ^{bc}	87,7% ^{bc}	75,3% ^{ef}	74,5% ^f
40	92,8% ^b	84,4% ^{cd}	72,6% ^{fg}	67,6% ^{gh}	34,0% ^j
60	80,4% ^{de}	49,3% ⁱ	46,4% ⁱ	22,7% ^k	0,0% ^m
80	72,2% ^{fg}	16,6% ^{kl}	15,2% ^l	0,0% ^m	0,0% ^m
100	60,8% ^h	0,0% ^m	0,0% ^m	0,0% ^m	0,0% ^m

Superíndice diferente en cada columna indica diferencia significativa entre los tiempos de ensayo.

La temperatura alcanzada al finalizar los tratamientos con microondas presentó diferencia significativa con respecto a la potencia y tiempo empleado en los ensayos ($p < 0,05$), evidenciándose su ascenso con el incremento de dichos factores, alcanzando un valor máximo promedio de $98 \pm 1,0^{\circ}\text{C}$, factor determinante igualmente en la inactivación microbiana. Sony *et al* (2020), relaciona que a medida que el tiempo de exposición a microondas aumenta también lo hace la temperatura del producto, elemento decisivo para la inactivación bacteriana y si bien también es cierto, que a mayor potencia empleada se elevará la temperatura en un menor tiempo (Kubo *et al.*, 2020). La temperatura del tratamiento es un componente fundamental en lo que a procesos bacterianos se refiere, ya que, si las condiciones óptimas de supervivencia del microorganismo persisten, la inactivación de estos será muy escasa o nula (Dhaulaniya *et al.*, 2019).

Se ha demostrado la efectividad del uso del calentamiento con microondas para reemplazar la esterilización UHT de la leche, inactivando *E. coli* entre otros microorganismos, toxina Shiga, y enzima alcalino fosfatasa, debido al calentamiento rápido y el poder de penetración más profundo. También se relaciona su aplicación en productos lácteos a granel o ya empacados, pero se pueden presentar variabilidad en la efectividad del tratamiento por las propiedades térmicas, eléctricas y mecánicas del material de empaque (Martins *et al.*, 2019). Las variaciones en los resultados del tratamiento se deben muchas veces a que la composición, volumen y masa de la matriz alimentaria utilizada en el estudio. Investigaciones realizadas con irradiación con microondas al aire y agua, revelaron reducciones en el recuento de *E. coli* en el aire de 4 ciclos logarítmicos con 20 s de tratamiento a 260 W, alcanzando temperaturas de 100°C . Se ha reportado mayor efectividad del tratamiento en el

aire que en el agua, en donde las reducciones son de 1 ciclo logarítmico a las mismas condiciones, demostraron que el tratamiento con microondas provoca una reducción importante en el número de microorganismos presentes, lo cual permite mejorar las condiciones ambientales según sea la dosis de irradiación utilizada y la matriz aplicada (Wanget al., 2019).

3.2 Determinación de las mejores condiciones para lograr la inactivación de la *Escherichia coli* ATCC CRM 8739 acorde a los tratamientos con microondas realizados

Teniendo en cuenta las restricciones planteadas en la metodología (cuadro 2), donde la potencia se

restringió entre 400 y 700 W debido a la poca eficiencia que presentaron los tratamientos realizados a bajas condiciones de la mismas (300 W), mientras que el tiempo se ajustó al necesario para lograr la inactivación del microorganismo a la potencia máxima (40 s'') y la temperatura a la mínima necesaria para lograr la inactivación térmica de la misma (70°C) según Ulusoy *et al.*, 2019.

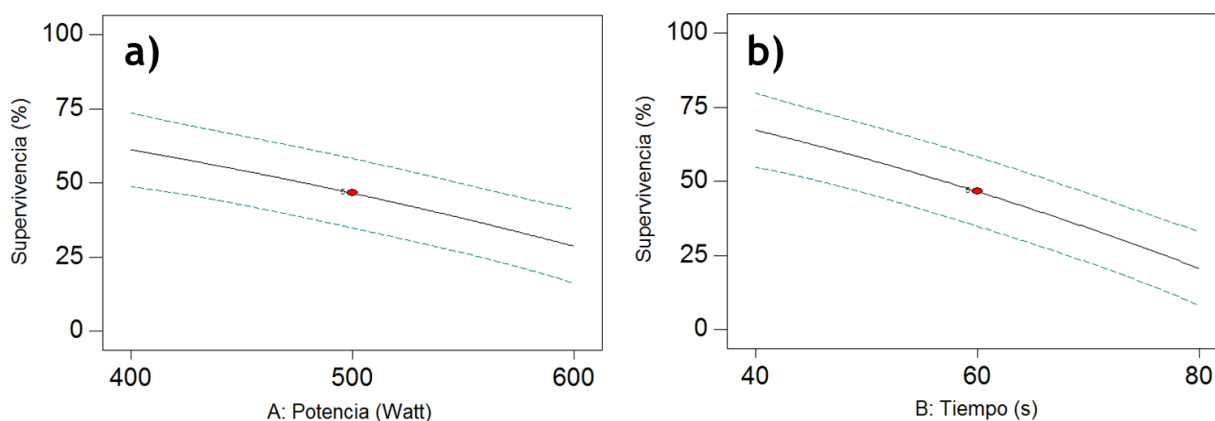


Figura 1: Supervivencia de la *E. coli* ATCC CRM 8739 en función del efecto individual de A) Potencia del microondas. B) Tiempo de proceso

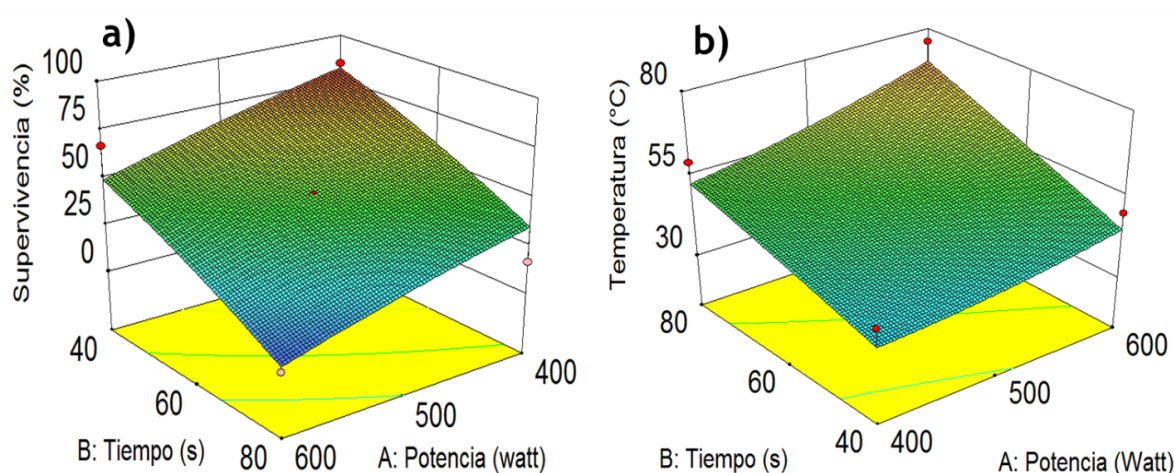


Figura 2: Supervivencia de la *E. coli* ATCC CRM 8739 y temperatura alcanzada durante los ensayos en función de las variables de proceso.

Por último la supervivencia de la *E. coli* se condicionó a un valor porcentual de cero (0) ya que es el resultado deseado en la investigación y en la industria de los alimentos, obteniéndose como resultado que las mejores condiciones para lograr la inactivación de la *E. coli* ATCC CRM 8739 eran empleando una potencia de 660,79 W durante un tiempo de 73,15 s, alcanzando una temperatura de 73°C. Resultados similares fueron reportados por Gomólka-Pawlicka et al en 2013, quienes lograron la inhibición del crecimiento de *E. coli* en hamburguesas a potencias de 760W durante tiempos de 30 segundos de tratamiento.

En el cuadro 3, igualmente se puede observar que es posible lograr la inactivación de la *E. coli* a diferentes condiciones de potencia y tiempo de proceso como lo son 400 W y 500 W durante 100 s, 600 W durante 80 s en adelante y 700 W con un tiempo de proceso mínimo de 60 s. Estas condiciones de tiempo y potencia son muy fáciles de implementar, ya que en la mayoría de equipos de microondas que existen en el mercado es posible graduar la potencia de trabajo y el tiempo de proceso de los productos a tratar, teniendo en cuenta las restricciones empleadas en la presente investigación y el tipo de matriz alimentaria a procesar.

3.3 Evaluación de la cinética de inactivación de *E. coli* ATCC CRM 8739 tratada con microondas

Una vez determinados los parámetros cinéticos y el coeficiente de determinación de los modelos, se evidenció que el de Weibull presentó el mejor ajuste al alcanzar los valores más elevados de R^2 (cuadro 4), mientras que los demás modelos (Log-Lineal, Colas pronunciadas y Gompertz) presentaron un ajuste menor con respecto a la inactivación de la *E. coli* ATCC CRM 8739 por microondas. En el modelo de Weibull (Ecuación 3), se observa que la sensibilidad de la *E. coli* al tratamiento realizado (parámetro n), presentó una tendencia marcada al incremento al aumentarse la potencia empleada durante el tratamiento con microondas, resultados que son concordantes con la disminución en la supervivencia de este microorganismo (cuadro 3).

Los valores de “ n ” hallados fueron superiores a uno (1), con un valor mínimo de 1,87 para la potencia de 400W y máximo de 5,2629 para 700W, corroborándose el incremento en la sensibilidad de la *E.coli* al tratamiento con microondas a medida que se aumenta la potencia de trabajo, lo cual puede deberse al incremento en la temperatura del medio e interna del microorganismo, provocando probablemente la desnaturalización de las proteínas enzimáticas esenciales; o por efectos no térmicos sobre viabilidad celular al inducir variaciones en la homeostasis iónica dentro de las célula, o cambios en la permeabilidad de la membrana al presentarse fugas de K^+ y Ca^{2+} y daños en el ADN o en el ARN, entre otros efectos (Wang et al., 2019).

El modelo de Weibull ha sido utilizado en diversas investigaciones para describir cinéticas de inactivación y parámetros cinéticos en diferentes microorganismos (Zhu et al., 2021), ya que este es uno de los que mejor se ajusta al comportamiento de estos. Mendes-Oliveira, et al 2020 describieron la cinética de inactivación de *Escherichia coli* O157: H7 y *Listeria monocytogenes* en jugo de manzana tratado con calentamiento por microondas a niveles de potencia 400, 600, 800 y 1000 W. Song y Kang (2016) estudiaron la inactivación de *Escherichia coli* O157: H7, *Salmonella Typhimurium* y *Listeria monocytogenes* en mantequilla de maní por calentamiento por microondas. Kernou et al., (2021) encontraron que el modelo de Weibull se ajustó a las curvas de supervivencia para describir la cinética de inactivación *Escherichia coli* ATCC 25922 en jugo de naranja tratado con microondas y / o ultrasonido.

Los autores aplicaron una relación logarítmica para describir la dependencia de la escala el parámetro b con la temperatura y usaron la ecuación para describir los tratamientos térmicos convencionales en un baño de agua caliente. Utilizando el perfil de temperatura de microondas y los parámetros Weibull ajustados para el calentamiento convencional, los autores utilizaron la forma integral del modelo no isotérmico de Peleg para predecir la relación de supervivencia

de *E. coli* y *L. monocytogenes*. Los resultados experimental y modelo de los datos de mostraron un buen acuerdo entre la descripción inactivación.

Cuadro 4: Cinética de inactivación de la *E. coli* ATCC CRM 8779 en función del tratamiento con microondas

Cinética de inactivación de la <i>E. coli</i> ATCC CRM 8739						
Potencia (Watt)	WEIBULL			COLAS PRONUNCIADAS		
	b	n	R ²	k ₁	k ₂	R ²
300	3,95x10 ⁻⁰⁵	1,8700	0,9907	4,74x10 ⁻⁰⁶	2,61x10 ⁻⁰⁹	0,8606
400	6,97x10 ⁻¹⁰	5,0610	0,9266	8,52x10 ⁻⁰⁶	1,62x10 ⁻⁰⁸	0,3782
500	4,90x10 ⁻¹⁰	5,1102	0,9268	8,02x10 ⁻⁰⁶	1,72x10 ⁻⁰⁸	0,3889
600	7,97x10 ⁻¹⁰	5,2392	0,9247	1,02x10 ⁻⁰⁷	1,29x10 ⁻⁰⁸	0,6617
700	4,06x10 ⁻⁰⁹	5,2629	0,9926	1,10x10 ⁻⁰⁷	1,06x10 ⁻⁰⁸	0,8061
Potencia (Watt)	LOG-LINEAL		GOMPERTZ			
	k	R ²	A	B	C	R ²
300	0,0018	0,8544	0,0969	1	1	0,0421
400	0,0512	0,3741	2,4330	1	1	0,0066
500	0,0464	0,3829	2,1213	1	1	0,0095
600	0,0788	0,6014	3,9187	1	1	0,1511
700	0,1036	0,7025	5,7655	1	1	0,3482

IV. CONCLUSIONES

La supervivencia de la *Escherichia coli* ATCC CRM 8739 disminuyó en función del incremento de la potencia del microondas y el tiempo de tratamiento a que fue sometida, logrando su inactivación a una potencia mínima de 400 W durante un tiempo de exposición de 80 s y empleando un tiempo mínimo de 60 s a 700 W. Las mejores condiciones para lograr la inactivación completa de la *E. coli* ATCC CRM 8739 mediante optimización numérica en base a la función de deseabilidad se logran empleando una potencia de microondas de 660,79 W durante un tiempo de exposición de 73,15 s. El modelo que mejor describió la inactivación de la *E. coli* ATCC CRM 8739 fue el modelo de Weibull, presentando un incremento en la sensibilidad de las cepas (parámetro n) en la medida que se aumentaba la potencia del tratamiento con microondas.

REFERENCIAS

1. Akkermans S., Smet C., Valdramidis V., Van Impe J. (2020) Microbial Inactivation Models for Thermal Processes. In: Demirci A., Feng H., Krishnamurthy K. (eds) Food Safety Engineering. Food Engineering Series. Springer, Cham.

2. Paghdar Dhara, Nayak Jitendra, Mathakiya R.A., Parmar B.C., Gida H.K., Bhavsar P.P

2020. Isolation and Molecular Characterization of Extended Spectrum Beta Lactamase Producing *Escherichia coli* from Milk. Journal of Animal Research. Volume : 10, Issue : 1. (143 - 148)

3. Dhaulaniya, A.S., Balan, B., kumar, M. et al. Cold survival strategies for bacteria, recent advancement and potential industrial applications. Arch Microbiol 201, 1–16 (2019). <https://doi.org/10.1007/s00203-018-1602-3>

4. M. Gomółka-Pawlicka, J. Uradziński, A. Migowska-Calik, and M. Pastuszczyk-Frąk. 2013. Effect of short-time microwave heating on survival of *Escherichia coli* O 157 in beef hamburgers. African Journal of Microbiology Research Vol. 7 (5), pp. 361-366, 29 January, DOI: 10.5897/AJMR12.1260.

5. Salvador Cubero González, Arícia Possas, Elena Carrasco, Antonio Valero, Araceli Bolívar, Guiomar Denisse Posada-Izquierdo, Rosa Maria García-Gimeno, Gonzalo Zurera, and Fernando Pérez-Rodríguez. 2019 ‘MicroHibro’: A software tool for predictive microbiology and microbial risk assessment in foods. International Journal of Food Microbiology Volume 290, 2 February 2019, Pages 226-236

6. Seyed Mohammad Bagher Hashemi, Reza Roohi, Mohammad Reza Mahmoudi, Daniel Granato. 2019. Modeling inactivation of

- Listeria monocytogenes*, *Shigella sonnei*, *Byssoschlamys fulva* and *Saccharomyces cerevisiae* and ascorbic acid and β -carotene degradation kinetics in tangerine juice by pulsed-thermosonication. LWT Volume 111, August 2019, Pages 612-621 <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.05.060>
7. Yoon-Ki Hong, Frank Liu, Zhongwei Tang, Patrick D. Pedrow, Shyam S. Sablani, Ren Yang, Juming Tang, A simplified approach to assist process development for microwave assisted pasteurization of packaged food products, Innovative Food Science & Emerging Technologies, Volume 68, 2021, 102628, ISSN 1466-8564, <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2021.102628>.
8. Lihan Huang, Cheng-An Hwang, and Ting Fang. 2019. Improved estimation of thermal resistance of *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella* spp., and *Listeria monocytogenes* in meat and poultry – The effect of temperature and fat and A global analysis. Food Control. Volume 96, February, Pages 29-38. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.08.026>
9. Ourdia-Nouara Kernou, Amine Belbahi, Akila Amir, Kenza Bedjaoui, Kamelia Kerdouche, Sofiane Dairi, Omar Aoun, Khodir Madani. Effect of sonication on microwave inactivation of *Escherichia coli* in an orange juice beverage. Journal Food Process Engineering 2021 <https://doi.org/10.1111/jfpe.13664>
10. Mirian TK Kubo, Érica SSiguemoto, Eduardo S Funcia, Pedro EDAugusto, SébastienCuret, Lionel Boillereaux, Sudhir KSastry, Jorge AWGut. 2020, Non-thermal effects of microwave and ohmic processing on microbial and enzyme inactivation: a critical review. Current Opinion in Food Science Volume 35, Pages 36-48. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.01.004>
11. Jean-Claude Laguerre and Mohamad Mazen Hamoud-Agha (January 25th 2019). Microwave Heating for Food Preservation, Food Preservation and Waste Exploitation, Sonia A. Socaci, Anca C. F?rca?, Thierry Aussenac and Jean-Claude Laguerre, IntechOpen, DOI: 10.5772/intechopen.82543. Available from: <https://www.intechopen.com/books/food-preservation-and-waste-exploitation/microwave-heating-for-food-preservati-on>.
12. Carolina P. C. Martins, RodrigoN.Cavalcanti, SilviaM.Couto, Jeremias Moraes, Erick A. Esmerino, Marcia Cristina Silva, Renata S. L. Raices, Jorge A. W. Gut , Hosahalli S. Ramaswamy, Carmen C. Tadini, and Adriano G.Cru. 2019. Microwave Processing: Current Background and Effects on the Physicochemical and Microbiological Aspects of Dairy Products. Vol.18,2019 Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. doi:10.1111/1541-4337.12409.
13. Gabriella Mendes-Oliveira, Amanda J. Deering, M. Fernanda San Martin-Gonzalez and Osvaldo H. Campanella. 2020. Microwave pasteurization of apple juice: Modeling the inactivation of *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella* Typhimurium at 80–90 °C. Food Microbiology, 87 (2020) 103382 <https://doi.org/10.1016/j.fm.2019.1033>
14. Jéssica B. Portela, Pablo T. Coimbra, Leandro P. Cappato, Verônica O. Alvarenga, Rodrigo B.A. Oliveira, Karen S. Pereira, Denise R.P. Azeredo, Anderson S. Sant'Ana, Janaina S. Nascimento, Adriano G. Cruz, Predictive model for inactivation of salmonella in infant formula during microwave heating processing, Food Control, Volume 104, 2019, Pages 308-312, ISSN 0956-7135, <https://doi.org/10.1016/j.foocont.2019.05.006>.
15. E. J. Rifna, Sushil Kumar Singh, Snehasis Chakraborty, Madhuresh Dwivedi. 2019. Effect of thermal and non-thermal techniques for microbial safety in food powder: Recent advances. Food Research International. 126 (1) 108654.
16. S.S. SINGH, S. MISHRA*, R.C. PRADHAN and K. VIVEK. (2019) Development of a microwave-assisted uv sterilization system for milk. Acta Alimentaria, Vol. 48 (1), pp. 9–17 DOI: 10.1556/066.2018.0004
17. Song y Kang (2016) Influence of water activity on inactivation of *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella* Typhimurium and *Listeria monocytogenes* in peanut butter by microwave heating. Food Microbiology. Volume 60,

- December 2016, Pages 104-111. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2016.06.010>
18. Aswathi Soni, Jeremy Smith, Abby Thompson, and Gale Brightwell (2020) Microwave-induced thermal sterilization- A review on history, technical progress, advantages and challenges as compared to the conventional methods. *Trends in Food Science & Technology*. 97 (1) 433-442.
19. Caroline Thum; Gulustan Ozturk; Warren C. McNabb; Nicole C. Roy; Juliana Maria Leite Nobrega de Moura Bell. 2019. Effects of microwave processing conditions on microbial safety and antimicrobial proteins in bovine milk. *Journal of Food Processing and Preservation* Volume 44, Issue 3. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14348>
20. Şafak Ulusoy, Didem Üçok Alakavuk, Sühendan Mol and Serap Coşansu. 2019 Effect of microwave cooking on foodborne pathogens in fish. *Journal of Food Processing and Preservation* Volume 43, Issue 8. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14045>
21. Helen Walls, Phillip Baker, Ephraim Chirwa, Benjamin Hawkins. 2019. Food security, food safety & healthy nutrition: are they compatible?. *Global Food Security*. Volume 21, June Pages 69-71. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2019.05.005>
22. Can Wang, Lu Songa, ZhiWei Zhanga, YiZhu Wanga, Xing Xie. (2020). Microwave-induced release and degradation of airborne antibiotic resistance genes (ARGs) from *Escherichia coli* bioaerosol based on microwave absorbing material *Journal of Hazardous Materials* 394 122535.
23. C.Wang, Z.W.Zhang and H.Liu. Microwave-induced release and degradation of airborne endotoxins from *Escherichia coli* bioaerosol. *Journal of Hazardous Materials*. Volume 366, 15 March 2019, Pages 27-33. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.11.088>.
24. Can Wang, Xurui Hu and Zhiwei Zhang. 2019. Airborne disinfection using microwave-based technology: Energy efficient and distinct inactivation mechanism compared with waterborne disinfection. *Journal of Aerosol Science*. Vol 137 105437. <https://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2019.105437>
25. Aixia Xu, O. Joseph Scullen, Shiowshuh Sheen, James R. Johnson, Christopher H. Sommersa. 2019. Inactivation of extraintestinal pathogenic *E. coli* clinical and food isolates suspended in ground chicken meat by gamma radiation.. *Food Microbiology* Volume 84, December, 103264 <https://doi.org/10.1016/j.fm.2019.103264>.
26. Si Zhu, Osvaldo Campanella, Guibing Chen, Estimation of parameters in the Weibull model from microbial survival data obtained under constant conditions with come-up times. *Journal of Food Engineering*, Volume 292, 2021, 110364, ISSN 0260-8774, <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110364>.