
Modelamiento de la cinética de desinfección superficial de tomates (*Lycopersicum esculentum*) frescos usando soluciones de cloro

Modeling surface disinfection kinetics of fresh tomato (*Lycopersicum esculentum*) using chlorine solutions

Miguel Ángel Solano Cornejo*

Departamento de Industrias Alimentarias, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Ciudad Universitaria Lambayeque, Avenida Juan XXIII, Lambayeque, Perú.

Recibido 12 noviembre 2019; aceptado 20 diciembre 2019

Resumen

Tomates frescos variedad italiana fueron sometidos a procesos de desinfección superficial utilizando soluciones de hipoclorito de calcio para determinar su eficiencia germicida y la cinética que gobierna el proceso de inactivación superficial en gérmenes aerobios mesófilos, levaduras y mohos. El cloro como desinfectante superficial fue eficaz contra bacterias aerobias mesófilas, levaduras y mohos en ese orden, la resistencia de los gérmenes aerobios mesófilos, de las levaduras y de los mohos expresados en sus valores Z_{cloro} fue de 455, 500 y 625 ppm respectivamente. Los gérmenes aerobios mesófilos presentes en la superficie del tomate muestran una mayor resistencia a la desinfección por cloro conforme el tiempo de contacto germen-cáscara es mayor, debido a una mayor adherencia a la cáscara lo que dificulta la acción de cloro sobre los gérmenes; este efecto no se presentó en el caso de levaduras ni de mohos. Los valores $D_{\text{cloro } 20^{\circ}\text{C}}$ experimentales y los valores $D_{\text{cloro } 20^{\circ}\text{C}}$ predichos por el Primer Modelo de Bigelow se ajustaron con una correlación de entre 0,91 y 0,99. Los valores Z_{cloro} experimentales y los valores Z_{cloro} predichos por el Segundo Modelo de Bigelow se ajustaron con una correlación de 0,72 a 0,86. La variabilidad en los valores Z_{cloro} se debió a que los gérmenes analizados para validar el modelo propuesto estuvieron compuestos por diversos géneros. Así, el Método de Bigelow aplicado a la cinética de inactivación superficial con cloro fue validado.

Palabras clave: desinfección química, tomate, cloro, modelamiento, Método de Bigelow, valor D, valor z.

Abstract

Fresh tomatoes Italian variety were subjected to surface disinfection processes using calcium hypochlorite solutions to determine their germicidal efficiency and kinetics that governs the surface inactivation process in aerobic mesophilic bacteria, yeasts and molds. Chlorine as surface disinfectant was effective against aerobic mesophilic bacteria, yeasts and molds in this order, the resistance of aerobic mesophilic bacteria, yeasts and molds of their values expressed in Z_{chlorine} was 455, 500 and 625 ppm respectively. Aerobic mesophilic bacteria present in the tomato surface show a higher resistance to chlorine disinfection according contact time germ-tomato skin is greater due to a better adherence to the tomato skin making it difficult for the action of chlorine on germs; this effect is not present in the case of yeasts or molds. Experimental $D_{\text{chlorine } 20^{\circ}\text{C}}$ values and $D_{\text{chlorine } 20^{\circ}\text{C}}$ values predicted by the First Bigelow's Model were fit with a correlation of between 0.91 and 0.99. The experimental Z_{chlorine} values and values Z_{chlorine} predicted by the Second Bigelow's Model were adjusted with a correlation of 0.72 to 0.86. The variability in the values Z_{chlorine} was because germs analyzed to validate the proposed model were composed of various genera. So, the Bigelow's Method applied to inactivation kinetics of surface chlorine was validated.

Keywords: disinfection chemistry, tomato, chlorine, modeling, Bigelow's Method, D value, z value.

* Autor para correspondencia

Email: msolanoayuda@hotmail.com (M. Solano)

1. Introducción

El consumo de frutas y verduras como parte de una dieta sana y equilibrada proporciona a las personas el contenido de fibra, nutrientes y antioxidantes de probados efectos en la prevención del cáncer (Vecchia *et al.*, 2001; Campbell *et al.*, 2004), enfermedades y accidentes cardiovasculares (Knekt *et al.*, 2004; Arts y Holman, 2005). Por ello el consumo de frutas y vegetales se ha incrementado de manera sustancial; sin embargo paralelo a este aumento, las enfermedades vehiculizadas por el consumo de frutas frescas se han incrementado casi 10 veces en los últimos años (Sivapalasingam *et al.*, 2004); así el consumo de tomates frescos han sido involucrados en algunos de los mayores brotes de salmonelosis en 14 años en Estados Unidos (CDC, 2005).

Las frutas y vegetales pueden estar expuestas a tierra, insectos, animales, agua y/o humanos durante su cultivo, cosecha y/o manipuleo; así los vegetales destinados al consumo fresco pueden estar en contacto con bacterias patógenas, parásitos y virus en forma separada o simultánea (Wei *et al.*, 1995); por lo que hallar métodos que reduzcan o eliminen patógenos en tomates es importante. Una práctica industrial en vegetales es el uso de tanques de inmersión con agua clorada a 150 a 200 ppm de cloro residual libre por corto tiempo antes de su empacado (Bartz *et al.*, 2001). Sin embargo, los estudios han reportado que la efectividad germicida del cloro varía de acuerdo a tipo de superficie a tratar; en superficies inertes el cloro es efectivo, logrando reducciones mayores a 3 log de ufc (Gronholm *et al.*, 1999) y mientras que en procesos de desinfección de alimentos sólidos el cloro se ha mostrado poco efectivo (reducciones menores a 2 log de ufc) (Brackett, 1999).

El efecto del cloro sobre los microorganismos está en función de su concentración, este efecto puede centrarse en la inhibición de la síntesis del DNA, inhibición de síntesis proteica y/o la ruptura de la membrana celular

(McDonnell y Russell, 1999); ello hace que la inactivación microbiana por cloro probablemente siga una cinética de reacción monomolecular o de primer orden que es representada en la ecuación de Arrhenius (Reichart, 1994), otro modelo de aproximación a esta cinética de inactivación es el originado de las observaciones de Bigelow, en la que la cinética de la inactivación es caracterizada por los valores D y z. (Mafart y Leguerine, 1998). Según Richardson (2004) el cálculo tradicional del número de gérmenes supervivientes de los procesos de reducción térmica microbiana siguen dos modelos: *Primer Modelo* en el que existe una relación lineal entre el número de supervivientes y el tiempo que una temperatura constante dada es aplicada. Este modelo genera una curva de supervivencia térmica y la inversa de la pendiente de esta curva se expresa como valor D (Heldman y Newsome, 2005). *Segundo Modelo* en el que existe una relación lineal entre la variación de los valores D y la temperatura que genera la inactivación de los microbios. Este modelo genera una curva de muerte térmica y la inversa de la pendiente genera el valor cinético denominado valor z (Toledo, 2007).

Así, para poder utilizar el Método de Bigelow se requiere cumplir ambos modelos. Si bien el uso de desinfectantes en la industria alimentaria ha sido documentado tanto en sus usos como en sus efectos (McDonnell, 1999); no existen estudios que modelen su cinética en procesos de inactivación superficial en alimento.

El objetivo del presente trabajo de investigación fue evaluar la letalidad de los tratamientos con cloro para la reducción de la población superficial en tomates para consumo fresco y proponer las ecuaciones basadas en el Modelo Bigelow que caractericen la inactivación microbiana superficial de tomates (*Lycopersicon esculentum*) por la aplicación de soluciones de cloro.

2. Material y Métodos

Materia Prima

Tomates de aproximadamente 1,5 pulgadas de longitud, frescos, sanos, firmes y maduros de la variedad tipo Roma fueron adquiridos en el Mercado de Moshoqueque (Lambayeque) entre los meses de noviembre y diciembre del 2011, y almacenados por no más de 2 días en bolsas plásticas tipo Ziploc® en refrigeración a 4°C. Los tomates a ensayar fueron retirados del refrigerador y mantenidos a temperatura ambiente por no menos de 2 horas antes de los ensayos.

Soluciones Desinfectantes

Las soluciones desinfectantes fueron preparadas en recipientes de acero inoxidable de 5 L con un máximo de 15 minutos antes de los ensayos por dilución de Hipoclorito de Calcio Grado Alimentario (Riedhel de Hagen®, Alemania) en una solución de buffer fosfato (pH 7,0) hasta la concentración requerida de cloro residual libre (CRL) (2,5, 25 y 250 ppm).

Las diluciones fueron evaluadas en su contenido de CRL utilizando un kit para cloro marca Aquatest®.

Tratamientos de Desinfección

Los tomates a ensayar fueron separados en 04 grupos (un grupo de control de tratamiento de 0 ppm de CRL y los tratamientos de 2,5, 25 y 250 ppm CRL) de 12 unidades cada uno y cada grupo fue utilizado para ensayar una concentración de cloro residual libre independiente.

Los tomates fueron analizados en su población inicial antes de empezar los ensayos de desinfección, y a continuación fueron colocados en los recipientes que contenían las soluciones de cloro a usar (0, 2,5, 25 y 250 ppm de CRL), por los tiempos a ensayar (7,5, 15, 22,5 y 30 minutos) a 20°C, durante este tiempo de inmersión los tomates fueron agitados suavemente de forma manual con un cucharón de acero desinfectado; al cumplirse los tiempos previstos los

tomates eran retirados de la solución a razón de 3 unidades por vez.

Los tomates retirados fueron lavados asépticamente con 50 ml de agua destilada estéril a temperatura ambiente por dos veces consecutivas para retirar la solución de cloro residual antes de ser evaluados microbiológicamente.

Evaluación Microbiológica

Los tomates control y los tomates sometidos a los tratamientos de desinfección fueron evaluados en su población microbiana retirando asépticamente dos (2) muestras rectangulares de piel y pulpa de 4 cm² de superficie y 1 cm de profundidad en lados opuestos de cada fruto.

Estas muestras fueron molidas con 95 ml de solución salina peptonada (AOAC, 1997) en una licuadora marca Oster® de tres velocidades a velocidad máxima por 2 minutos, después de lo cual se dejó reposar el licuado por 3 minutos antes de proceder a tomar la muestra inicial para realizar las diluciones seriadas necesarias en solución Salina Peptonada.

Las diluciones de la muestra fueron evaluadas en los siguientes géneros:

1. Aerobios Mesófilos Viables usando Agar Nutritivo (Difco®, USA) (FDA, 1998)
2. Mohos usando Agar Diclorán Rosa de Bengala Cloranfenicol (Difco®, USA) (FDA, 1998)
3. Levaduras usando Agar Diclorán Rosa de Bengala Cloranfenicol (Difco®, USA) (FDA, 1998).

Los resultados fueron presentados en logaritmos de unidades formadoras de colonia por centímetro cuadrado.

El efecto germicida de los tratamientos será evaluado en su letalidad; la letalidad de cada tratamiento (S) indica la reducción total de la población en estudio en ciclos logarítmicos (log ufc/cm²). El cálculo de la letalidad será con la siguiente ecuación:

$$S = \log P_i - \log P_f$$

Donde P_i es la población microbiana inicial (ufc/cm²) y P_f es la población microbiana al término del tratamiento más

prolongado ensayado expresada en ufc/cm² (Toledo, 2007).

Análisis Estadístico

Los promedios de las determinaciones de las poblaciones supervivientes de los tratamientos fueron ploteados semilogarítmicamente con respecto al tiempo para obtener valores $D_{\text{cloro}_20^\circ\text{C}}$; los valores z_{cloro} se obtuvieron al plotear los valores $D_{\text{cloro}_20^\circ\text{C}}$ con respecto a las concentraciones de CRL ensayadas. Las curvas obtenidas fueron analizadas usando el programa MS Excel (Microsoft®, USA), para obtener las ecuaciones de los modelos y los coeficientes de regresión.

3. Resultados y discusión

Los resultados de la aplicación de los tratamientos de desinfección sobre los gérmenes aerobios mesófilos viables, las levaduras y los mohos son mostrados en las tablas 1, 2 y 3.

Tabla 1

Población final de aerobios mesófilos viables (log ufc/cm²) por tratamientos de desinfección con cloro

Cloro Residual Libre (ppm)	Tiempo de contacto (min)					Letalidad (S)
	0	7,5	15	22,5	30	
2,5 ppm	5,21	4,90	4,85	4,50	4,50	0,71
25 ppm	5,21	4,80	4,35	3,60	3,40	1,81
250 ppm	5,21	4,05	3,30	2,20	1,60	3,61

Tabla 2

Población final de levaduras (log ufc/cm) por tratamientos de desinfección con cloro

Cloro Residual Libre (ppm)	Tiempo de contacto (min)					Letalidad (S)
	0	7,5	15	22,5	30	
2,5 ppm	3,45	3,33	3,10	3,01	2,75	0,70
25 ppm	3,45	3,10	2,70	2,50	1,95	1,50
250 ppm	3,45	2,70	2,10	1,10	0,75	2,70

Se observó que existe una relación inversamente proporcional entre la concentración de cloro y las poblaciones supervivientes de gérmenes aerobios mesófilos, levaduras y mohos; por lo que conforme se aumentaba la concentración de cloro en las soluciones de tratamiento para un mismo tiempo de contacto la letalidad final del tratamiento aumentaba.

Tabla 3

Población final de mohos (log ufc/cm²) por tratamientos de desinfección con cloro

Cloro Residual Libre (ppm)	Tiempo de contacto (min)					Letalidad (S)
	0	7,5	15	22,5	30	
2,5 ppm	2,52	2,48	2,30	2,10	1,95	0,57
25 ppm	2,52	2,38	2,06	1,78	1,58	0,94
250 ppm	2,52	2,14	1,55	1,11	0,78	1,74

Entre los géneros sometidos a los tratamientos de desinfección con cloro, las letalidades más altas se obtuvieron en los gérmenes aerobios mesófilos, seguidos de las levaduras, siendo los mohos los más resistentes al cloro (3,61, 2,70 y 1,74 respectivamente) en los tratamientos con 250 ppm de CRL.

El efecto germicida sobre los gérmenes aerobios fue de 1,16 log ufc a 250 ppm de CRL en un tiempo de contacto de 7,5 minutos y a 20°C; este nivel de desinfección es menor al presentado por Hyun-Gyun *et al.* (2005) que obtuvo una letalidad de 5,23 log ufc en una población de *Salmonella sp.* usando una solución de

200 ppm por 2 minutos sobre la superficie de tomates contaminada una hora antes. Por otro lado, los ensayos realizados obtuvieron una letalidad similar a la obtenida por Sapers y Jones (2006), quienes obtuvieron una letalidad de 1,16 log ufc de *Escherichia coli* con una solución de cloro de 200 ppm por 3 minutos a 20°C en tomates con 48 horas de contaminación (Figura 1).

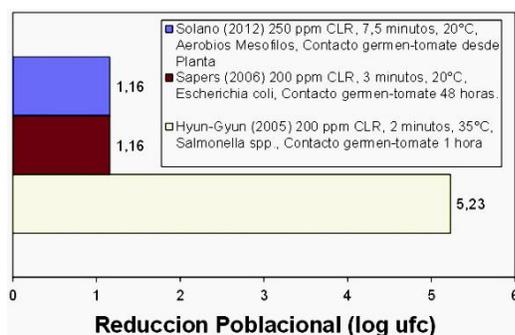


Figura 1. Efecto de tratamientos de desinfección superficial de tomate en gérmenes aerobios.

Estas diferencias en la Letalidad estuvieron centradas en los diferentes tiempos de contacto de los gérmenes con la superficie del tomate. Iturriaga *et al.* (2003) demostró que conforme el tiempo de contacto germen-superficie aumenta la adherencia superficial del germen se hace mayor. Por otro lado, Campos (2003) indica que conforme aumenta la adherencia de los gérmenes a una superficie, su resistencia a los desinfectantes aumenta; así mismo anota que las bacterias que sobreviven en condiciones límite, tanto desde el punto de vista de la escasez de alimento, de temperatura o concentración de tóxicos o incluso dañadas, presentan una mayor resistencia a los desinfectantes. Esta resistencia se debe a la síntesis inducida de proteínas específicas del estrés; por tal razón la inactivación de cepas de laboratorio es mayor que la de los mismos grupos naturales. Ello explicaría que los diferentes valores de Letalidad hallados tienen su origen en la adherencia desarrollada por el germen a la superficie del tomate y así mejorar su resistencia a la desinfección. Por otro lado, Burnett y Beuchat (2002) atribuyen esta mejora de resistencia al proceso de desinfección a la imposibilidad del Cloro de tomar contacto físico con la bacteria para inactivarla. Con referencia a las levaduras la Letalidad para desinfección con soluciones de 250 ppm, 7,5 minutos de contacto y 20°C fue de 0,75 log ufc, lo cual fue congruente con los resultados presentados por Gronholm *et*

al. (1999), que reportan una reducción de menos de 0,71 log ufc/cm² de *Saccharomyces cerevisiae* con un tratamiento de 250 ppm de CLR por 10 minutos en una superficie de acero inoxidable no higienizada. De ello se deduce que el tipo de superficie y el tiempo de contacto parecen no ejerce un efecto significativo en la resistencia de las levaduras al cloro.

En cuanto a los mohos, es de notar que los tomates antes de los tratamientos de desinfección no presentaron desarrollo micótico visible; así los mohos presentes en la superficie del tomate se hallaban en estado de esporas o presentaban desarrollo hifal.

En los ensayos de desinfección los mohos mostraron una menor letalidad, esto es consistente con las observaciones de Ito y Seeger (1980) quienes demostraron que los hongos son más resistentes que las células vegetativas de bacterias por la dificultad que tiene el cloro para atravesar la cubierta de la espora, aseveración confirmada por McDonnell (2007).

Estas diferencias en la respuesta a la desinfección por Cloro se vieron reflejadas en los valores Z_{cloro} que cada género presenta, así los géneros arreglados de mayor a menor resistencia al cloro son:

Mohos > Levaduras > Aerobios Mesófilos.

El Modelo Predictivo de las Curvas de Supervivencia en los procesos de inactivación química superficial por Cloro y los coeficientes de regresión de cada modelo son presentados en la Tabla 4. Se pudo observar que las curvas de supervivencia química de los géneros sometidos al proceso de desinfección superficial con cloro presentaron una forma lineal con referencia al tiempo. Esta linealidad ya fue mencionada por Heldman y Newsome (2005), quien sostiene que conforme los microbios son sometidos a un proceso de inactivación bajo la acción de un agente físico o químico, la inactivación presenta un comportamiento lineal con referencia al tiempo.

Tabla 4

Modelo predictivo de las curvas de supervivencia química en inactivación superficial de tomate (*Lycopersicon esculentum*) por cloro

Cloro Residual Libre (ppm)	Aerobios Mesófilos		Levaduras		Hongos	
	Modelo Predictivo	R ²	Modelo Predictivo	R ²	Modelo Predictivo	R ²
2,5	Pf = -0,0243 (T) + 5,156	0,919	Pf = -0,0229 (T) + 3,472	0,979	Pf = -0,0203 (T) + 2,566	0,968
25	Pf = -0,0643 (T) + 5,236	0,978	Pf = -0,048 (T) + 3,460	0,984	Pf = -0,0331 (T) + 2,560	0,988
250	Pf = -0,1209 (T) + 5,086	0,990	Pf = -0,0933 (T) + 3,420	0,985	Pf = -0,0601 (T) + 2,522	0,992

Pf: población final (log ufc/cm²); T: tiempo de contacto (min); R²: Coeficiente de correlación de la regresión lineal.

Sobre la base de los resultados de las curvas de supervivencia química se procedió a calcular los valores $D_{\text{cloro}_20^{\circ}\text{C}}$ para cada uno de los tratamientos de desinfección con cloro, tomándose para el cálculo la reciproca de la pendiente de la ecuación de la línea de regresión de la población en función al tiempo (Toledo, 2007). Los resultados son presentados en la Tabla 5.

Tabla 5

Valores $D_{\text{cloro}_20^{\circ}\text{C}}$ para los tratamientos de desinfección superficial de tomate

Cloro Residual Libre (ppm)	Valor $D_{\text{cloro}_20^{\circ}\text{C}}$ (minutos)		
	AMT	Levaduras	Hongos
2,5	41,2	43,7	49,3
25	15,6	20,8	30,2
250	8,3	10,7	16,6

Se observó que los valores $D_{\text{cloro}_20^{\circ}\text{C}}$ eran una función de la concentración de cloro utilizada, y que al incrementarse la concentración del cloro los valores $D_{\text{cloro}_20^{\circ}\text{C}}$ disminuían indicando un aumento de la velocidad de inactivación superficial. El Método de Bigelow; que inicialmente fue desarrollado para modelar la inactivación térmica de microorganismos, puede ser adaptado a la modelación de los procesos de inactivación superficial por medios químicos.

Diversos autores han usado los dos modelos base del Método de Bigelow propuesto; sea en forma separada (Mafart y Leguerinel, 1998; Tsujihata *et al.*, 1998; Mazzola *et al.*, 2003) o en forma simultánea (Beltrane *et al.*, 2012).

Para unificar estos usos en un método que permita modelar la cinética de inactivación

superficial por efecto de soluciones de cloro, es necesario que este método cumpla con los dos modelos base del Método de Bigelow. (a) En el primer modelo la inactivación superficial microbiana bajo el efecto de un agente biocida químico debe seguir una cinética de primer orden; la cual al ser graficada semilogarítmicamente (curva de supervivencia química) debe dar una línea recta. La reciproca de la pendiente de la curva de supervivencia química sería el valor $D_{\text{cloro}_20^{\circ}\text{C}}$ (Mazzola *et al.*, 2003; Beltrane *et al.*, 2012). (b) En el segundo modelo, si el primer postulado se cumple, las reciprocas de las pendientes de las curvas de supervivencia (valor D) deben ser una función logarítmica inversa de la concentración del agente biocida, que al ser graficadas generarán la curva de muerte química. Así cuando los valores $D_{\text{cloro}_20^{\circ}\text{C}}$ y los niveles de concentración de cloro sean graficados de manera semilogarítmica estos generarían una línea recta. La reciproca de esta curva sería el valor z_{cloro} (Beltrane *et al.*, 2012).

De esta manera el cumplimiento de estos dos modelos validará el Método de Bigelow en el cálculo de los niveles de desinfección superficial de tomate.

Como podemos ver en la Tabla 4 y las figuras 2 a 4, las curvas de supervivencia química al cloro de los diferentes géneros evaluados nos muestran que los datos experimentales tienen un comportamiento lineal, y que los coeficientes de correlación entre las poblaciones supervivientes halladas experimentalmente y los valores predichos por el modelo estuvo entre 0,919 y 0,992.

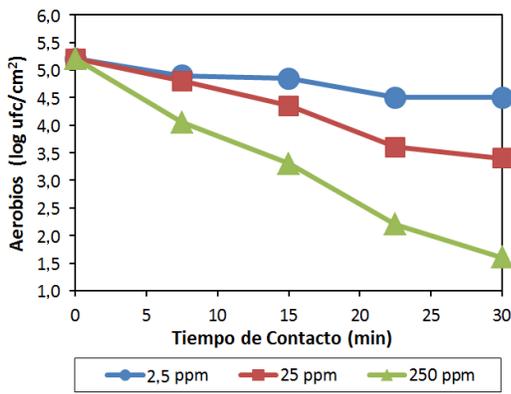


Figura 2. Curva de supervivencia de aerobios mesófilos en desinfección superficial de tomate con cloro.

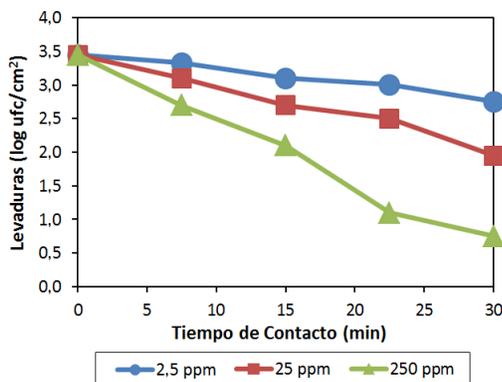


Figura 3. Curva de supervivencia de levaduras en desinfección superficial de tomate con cloro.

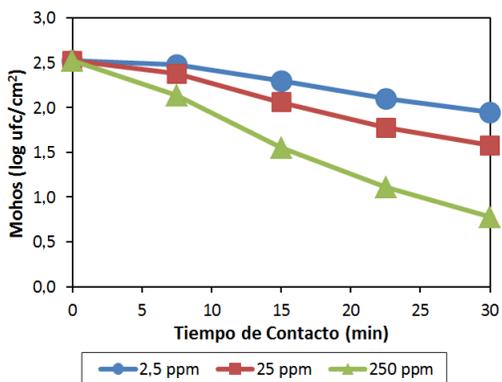


Figura 4. Curva de supervivencia de mohos en desinfección superficial de tomate con cloro.

Se puede observar que los valores más bajos de correlación para todos los géneros evaluados se hallan en los tratamientos con 2,5 ppm de CRL. Esta variabilidad parece

provenir de la presencia de materia orgánica. El efecto de la presencia de materia orgánica en la actividad del cloro ha sido indicado por Russell (2004), quien indica que la presencia de materia orgánica al reaccionar con el cloro libre reduce su presencia y por tanto su efectividad.

Esta variabilidad en la correlación se reduce en los tratamientos de 25 y 250 ppm (coeficiente de correlación entre 0,978 y 0,992), esto podría indicarnos que a esos niveles la demanda orgánica superficial de cloro ha sido satisfecha y que el restante cloro residual libre está actuando en los procesos de inactivación, con lo que el efecto materia orgánica desaparece y la inactivación toma una linealidad más acentuada.

De esta manera los datos experimentales confirman que la desinfección superficial de tomates usando cloro cumple el primer Modelo del Método de Bigelow.

Según el segundo modelo del método de Bigelow, adaptado para los casos de inactivación superficial a través del uso de soluciones de cloro, los valores $D_{\text{cloro}, 20^{\circ}\text{C}}$ deben variar logarítmicamente con referencia a la concentración del cloro usada. Los modelos predictivos de las curvas de muerte química por cloro se presentan en la Tabla 6.

Tabla 6

Ecuaciones de curva de muerte química en desinfección superficial de tomate con cloro

Géneros	R ²	Modelo Predictivo para $\log D_{\text{cloro } 20^{\circ}\text{C}}$	Valor Z_{cloro} (ppm)
Aerobios Mesófilos	0,715	$-0,0022 * \text{Cl} + 1,4418$	455
Levaduras	0,793	$-0,0020 * \text{Cl} + 1,5134$	500
Hongos	0,860	$-0,0016 * \text{Cl} + 1,6125$	625

Cl: Cloro en ppm.

Se pudo observar que la sensibilidad de los gérmenes al cloro era variable dependiendo del género sometido a desinfección superficial. La sensibilidad más alta al cloro fue hallada en los gérmenes aerobios mesófilos, seguida por

las levaduras y finalmente los menos sensibles fueron los mohos, esto fue establecido según su valor Z_{cloro} , siguiendo los criterios indicados por la FDA (2009). Se pudo observar que, aunque existieron diferencias entre los valores Z_{cloro} para cada género, las velocidades de los procesos de desinfección superficial de tomate con cloro pueden ser acelerado 10 veces al aumentar la concentración de cloro entre 455 y 625 ppm.

Así los resultados presentados en la Tabla 5 y graficados en la curva de muerte química por cloro (Figura 5), indicaron que existe una relación lineal entre ambos factores.

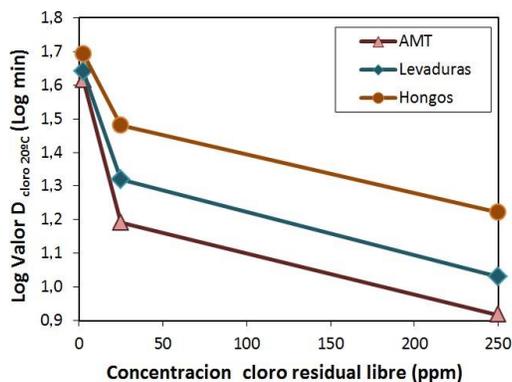


Figura 5. Curva de muerte química en desinfección superficial de tomate con cloro.

Los coeficientes de correlación para las ecuaciones de resistencia al cloro de cada género analizado estuvieron entre 0,715 y 0,860, tal como se muestra en la Tabla 6; estos valores difirieron de los valores hallados por Tsujihata *et al.* (1998) y por Beltrame *et al.* (2012) en determinación de parámetros cinéticos de muerte química que exhibieron coeficientes de regresión de 0,97 a 0,98; y de 0,887 a 0,974, respectivamente. Esta diferencia se debió a que Tsujihata trabajó con suspensiones de cultivos puros de *Escherichia coli* O157:H7, mientras que Beltrame *et al.* (2012) trabajó con suspensiones de cultivos puros de *Listeria monocytogenes* y ambos trabajados en situación de contaminación controlada. En este trabajo la desinfección fue aplicada a la flora

mixta del tomate presente en su superficie en forma natural.

De esta diferencia se pudo deducir que la forma y tiempo de contaminación superficial y la composición de la flora contaminante presente en el tomate al momento de la desinfección tuvo influencia sobre la capacidad predictiva de los modelos de desinfección propuestos.

Por lo expuesto podemos afirmar que la desinfección superficial de tomate usando cloro cumple con el segundo modelo del Método de Bigelow, lográndose validar la reducción de población microbiana durante los procesos de desinfección superficial química de tomate fresco utilizando soluciones de cloro.

4. Conclusiones

La eficacia del cloro para la desinfección superficial de tomate fresco fue demostrada. Esta eficacia estuvo influenciada por el grado de adherencia de los gérmenes aerobios mesófilos a la superficie del tomate; así conforme esta adherencia se hace mayor en el tiempo menos eficaz es el cloro en su efecto germicida superficial. Este efecto de adherencia y resistencia no se presentó en los ensayos con mohos o levaduras. El Método de Bigelow fue validado en sus dos modelos fundamentales para la predicción del efecto germicida de soluciones de cloro usadas en inactivación superficial de microorganismos en tomate fresco, obteniéndose los modelos que permiten obtener los valores cinéticos $D_{\text{cloro } 20^{\circ}\text{C}}$ y Z_{cloro} .

Referencias bibliográficas

- Association of Official Analytical Chemists. 1997. Official Methods of Analysis N° 966.23, 16th ed. AOAC, Arlington, VA.
- Arts, I.C.; Holman, P.C. 2005. Polyphenols and disease risk in epidemiologic studies, American Journal Clinical Nutrition 81: 317S – 325S.
- Bartz, J.A.; Eayre, C.G.; Mahovic, M.J.; Concelmo, D.E.; Brecht, J.K.; Sarnet, S.A. 2001. Chlorine concentration and the inoculation of tomato fruits in packinghouse dump tanks. Plant Disease 85: 885 – 889.
- Beltrame, C.A.; Kubiak, G.B.; Rottava, I.; Toniazzo, G.; Cansian, R.L.; Lerin, L.A.; de Oliveira, D.; Treichel, H. 2012. Comparative lethality kinetic curves and

- predictive models of F-value for *Listeria monocytogenes* using different sanitizers; Food Science & Nutrition 1: 27 – 31.
- Brackett, R.E. 1999. Incidence, contributing factors, and control of bacterial pathogens in produce. Postharvest Biology Technology 15: 305 – 311.
- Burnett, S.L.; Beuchat, L.R. 2002. Differentiation of viable and dead *Escherichia coli* O157:H7 cells on and in apple structures and tissue following chlorine treatment. Journal of Food Protection 66: 251 – 259.
- Campbell, J.K.; Canene-Adams, K.; Lindshield, B.L.; Boileau, T.W.; Clinton, S.K.; Erdman, J.W. 2004. Tomato phytochemicals and prostate cancer risk. Journal of Nutrition 134: 3486S – 3492S.
- Campos, C. 2003. Comportamiento de los indicadores de contaminación fecal en los diferentes sistemas de desinfección. Disponible en: <http://tierra.rediris.es/hidrored/ebooks/ripda/contenido/capitulo21.html> (Accesado el 30 marzo 2013).
- CDC. 2005. Outbreaks of *Salmonella* infections associated with eating Roma tomatoes-United State and Canada. MMWR 54: 325 – 328.
- Food and Drug Administration. 1998. Bacteriological Analytical Manual. Capítulos 1, 3 y 18. Disponible en <http://www.fda.gov/Food/FoodScienceResearch/LaboratoryMethods/BacteriologicalAnalyticalManualBAM/default.htm> (Accesado el 30 marzo 2013).
- Food and Drug Administration. 2009. Kinetics of Microbial Inactivation for Alternative Food Processing Technologies. Disponible en: <http://www.fda.gov/Food/FoodScienceResearch/SafePracticesforFoodProcesses/ucm100158.htm> (Accesado el 30 marzo 2013).
- Gronholm, L.; Wirtanen, G.; Ahlgren, K.; Nordström, K.; Sjöberg, A.M. 1999. Screening of antimicrobial activities of disinfectants and cleaning agents against foodborne spoilage microbes. Z Lebensm Unters Forsch A 208: 289 – 298.
- Heldman, D.R.; Newsome, R.L. 2005. Kinetics Models for Microbial Survival during Processing. Food Technology 57: 40 – 46.
- Hyun-Gyun, Y.; Bartz, J.; Schneider, K.R. 2005. Effectiveness of individual or combined sanitizer treatment for inactivating *Salmonella* sp. on smooth surface, stem scar, and wounds of tomatoes. Journal of Food Science 70: M409 – M414.
- Ito, K.A.; Seeger, M.L. 1980. Effect of germicides on microorganism in can cooling waters. Journal of Food Protection 43: 484 – 487.
- Iturriaga, M.H.; Escartin, E.F.; Beuchat, L.R.; Martínez-Peniche, R. 2003. Effect of inoculum size, relative humidity, storage temperature and ripening state on the attachment of *Salmonella montevideo* to tomatoes and tomatillos. Journal of Food Protection 66: 1756 – 1761.
- Knekt, P.; Ritz, J.; Pereira, M.A.; O'Reilly, E.J.; Augustsson, K.; Fraser, G.E.; et al. 2004. Antioxidants Vitamins and coronary heart disease risk: a pooled analysis of 9 cohorts. American Journal Clinical Nutrition 80: 1508 – 1520.
- McDonnell, G.; Russell, A.D. 1999. Antiseptics and Disinfectants: Activity, Action and Resistance. Clinical Microbiology Reviews 12: 47 – 179.
- McDonnell, G. 2007. Antisepsis, Disinfection and Sterilization: Types, Action and Resistance. Editorial ASM Press, Washington DC, 361 pp.
- Mafart, P.; Leguerinel, I. 1998. Modeling combined effects of temperature and pH on heat resistance of spores by a Linear – Bigelow Equation. Journal of Food Science 63: 6 – 8.
- Mazzola, P.G.; da Silva, A.M.; Vessoni, T.Ch. 2003. Determination of decimal reduction time (D-Value) of chemical agents used in hospital disinfection. Brazilian Journal of Microbiology 34: S33-S34.
- Reichert, O. 1994. Modeling the destruction of *Escherichia coli* on the base of reaction kinetics. International Journal of Food Microbiology 23: 449 – 465.
- Richardson, P. 2004. Improving the thermal processing of Foods, Editorial Woodhead Publishing Limited, Primera Edición, Cambridge, England, 493 pp.
- Russell, A.D. 2004. Factors influencing the efficacy of antimicrobial agents. In: Principles and Practice of Disinfection, Sterilization and Preservation. A. Fraiese, P. Lambert y J.Y. Maillard (Edts). Cap. 3: 98 – 128. Edit. Blackwell Publishing Ltd., Massachusetts, USA.
- Sapers, G.M.; Jones, D.M. 2006. Improved sanitizing treatments for fresh tomatoes. Journal of Food Science 71: M252 – M256.
- Sivapalasingam, S.; Friedman, C.R.; Cohen, L.; Tauxe R.V. 2004. Fresh produce: a growing cause of outbreak of foodborne illness in United State, 1973 through 1997. Journal Food Protection 67: 2342 – 2353.
- Toledo, R.T. 2007. Fundamentals of Food Process Engineering, Tercera Edición, Editorial Springer Science+Business Media LLC, New York, USA, pags 301 – 378.
- Tsujihata, Sh.; Entami, E.; Asai, M.; Tsukamoto, Y.; Ohta M. 1998. Mathematical modeling to predict the bactericidal effect of processed vinegar on *Escherichia coli* O157:H7. International Journal of Food Microbiology 43: 135 – 138.
- Vecchia, C.L.; Altieri, C.L.; Tavani, A. 2001. Vegetables, fruits, antioxidants and cancer: A Review of Italian Studies. European Journal Nutrition 40: 261 – 267.
- Wei, C.I.; Huang, T.S.; Kim, J.M.; Tamplin, M.I.; Bartz, J.A. 1995. Growth and survival of *Salmonella montevideo* on tomatoes and disinfection with chlorinated water. Journal Food Protection 58: 829 – 836.