



PRODUCCIÓN DE AGUA ELECTROLIZADA PARA ELIMINACIÓN DE MICROORGANISMOS EN LECHUGA

Gustavo Adolfo Chaves; Iván Darío Medina Rojas; Beatriz Galvis De Colmenares;
Marcela Mercado; Ana Karina Carrascal

Carrera de Microbiología Industrial, Facultad de Ciencias Pontificia Universidad Javeriana,
Cr 7 # 40 – 62 Bogotá,
acarrasc@javeriana.edu.co

RESUMEN

Se llevó a cabo la construcción de una celda electrolítica para la producción de agua electrolizada oxidante (EO), observando constantemente su pH y contenido de cloro residual. La eficacia del agua EO (14ppm de cloro residual y pH 2.7 ± 0.2) fue evaluada con la cepa de *Escherichia coli* ATCC 25922 (Experimentos “*in vitro*”) y carga microbiana de lechuga (recuento de bacterias mesófilas aeróbios, NMP coliformes y coliformes termotolerantes, hongos y levaduras).

Después de obtener un inóculo de *E. coli* de 9 horas (fase estacionaria, 63×10^{11} UFC/ml), este fue sometido a tratamiento con agua EO en diferentes tiempos de exposición (0, 2, 5, 10, 15, 20min) para luego hacer recuentos en placa. Para el análisis microbiológico *in vivo* se sumergieron 10 gramos de lechuga en 200ml de agua EO a diferentes tiempos de acción (0, 2, 5, 10, 15, 20min). Posterior a esto se realizaron pruebas microbiológicas de estos ensayos (Recuento de mesófilos aeróbios, número mas probable de coliformes totales, coliformes termotolerantes y recuento de hongos y levaduras).

Los ensayos *in vitro* arrojaron datos que comprueban la acción microbicida del agua EO sobre el inoculo sometido a tratamiento durante 20 minutos, reduciendo en 11.34 Unidades Logarítmicas (UL) los recuentos de *E. coli*.

La experimentación con la lechuga mostró reducciones en el NMP de coliformes totales y termotolerantes que pasaron de >2400 NMP a <3 NMP, descenso de 4.16 UL para los recuentos de mesófilos aeróbios (Recuento inicial de 57×10^5 UFC/g) y 3.95 UL para los de hongos y levaduras (recuento inicial de 89×10^3); luego del tratamiento con agua EO durante 20 min.

Se demostró que la utilización de agua EO sobre lechuga contaminada tiene efecto microbicida estadísticamente significativo ($p=0.0001$), permitiendo de esta manera utilizar esta agua para el proceso de lavado y desinfección de las lechugas.

Palabras clave: Celda electrolítica, agua EO, cloro residual, microbicida, pH, lechuga.

ABSTRACT

We carried out the building of one electrolytic cell for production of electrolysed oxidizing (EO) water. We frequently tested pH and available chlorine (residual chlorine). The efficacy of EO water (14 ppm available chlorine and pH 2.7 ± 0.2) was evaluated with the strain *E.coli* ATCC 25999 (experiment *in vitro*). After, to obtain the culture in stationary phase (9 hours) this was subdue to water EO treatment under different exposition times (0, 2, 5, 10, 15 and 20 minutes). The maximum log reduction (11,3 Log 10 CFU/ml) occurred with 20 minutes of exposition. We used lettuce for experiment “*In vivo*”, we took 10 grams of lettuce and it were submerged in 200 ml EO water during 20 minutes. We did counts mesophilics bacterial, total coliforms, faecal coliforms and moulds and yeast. The results indicated one total elimination of coliforms faecal and total, one log reduction (4.16 Log 10 CFU/ml) for mesophilics bacterial and log reduction (3.15 Log 10 CFU/ml) for moulds and yeast.

We probed that the utilization of water EO over contaminated lettuce has microbiocidal effect significant statistically ($p:0.0001$). We believe that the use this EO water could be a really good option for the clean and disinfections process over vegetables.

INTRODUCCIÓN

Una diversidad de desinfectantes químicos han sido usados para reducir las poblaciones de patógenos en productos frescos. El cloro esta entre los desinfectantes químicos más usados en el lavado de hortalizas; sin embargo, otros químicos, incluyendo el dióxido de cloro, peróxido de hidrógeno, ácidos orgánicos, fosfato trisódico y ozono han sido evaluados y en algunas instancias usados. Sin embargo, muchos de los químicos evaluados presentan mínimos efectos en inactivación de patógenos en vegetales debido a esto, son necesarios tratamientos eficaces para inactivar patógenos.

El agua Electrolizada oxidante (EO) es el producto de un nuevo concepto desarrollado en el Japón. Experimentalmente se ha determinado que el agua EO es un tratamiento efectivo en limpieza y desinfección de superficies de cocina, eliminación de patógenos de los alimentos en condiciones "in vitro" y ha sido usada experimentalmente en Japón por profesionales médicos y dentales para el tratamiento de heridas o para la desinfección de equipo médico (Venkitanarayanan et al., 1999, Rutala 2002).

El objetivo de este trabajo, fue diseñar una celda electrolítica capaz de producir agua EO con cualidades específicas como un bajo pH, y altas cantidades de cloro residual o libre. Con este proyecto se buscó dar aplicabilidad a esta metodología en el área de microbiología de los alimentos ya que posee muchos beneficios dentro de los cuales está la economía de la anterior, refutando la tesis de su elevado costo debido a que su producción se puede realizar con materiales económicos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Diseño de la celda electrolítica

Para la construcción de la celda se seleccionaron materiales inertes que no sufren

corrosión con sustancias como el NaOH y el HClO que se esperaba estuvieran presentes durante la electrolisis. Se diseñó una celda de producción cúbica, con un volumen de 3.37 dm³, elaborada en vidrio. Para los electrodos se seleccionó el grafito. Estos electrodos (ánodo y cátodo), fueron impregnados con un aceite protector para aumentar su densidad aparente y reducir su porosidad (Montes *et al.*, 1999). Ánodo y cátodo fueron posicionados en caras opuestas, como se ilustra en la Grafica N° 1 y conectados a una fuente de poder continua genérica, la cual suministraba 2 amperios (A) a una tensión de 26,77 voltios (V) en promedio.

Al interior de la celda se dispuso una membrana de poliestireno (Darnel®) que dividiría la celda en dos cavidades para la producción del agua alcalina y ácida (agua EO). Las mediciones de voltaje, amperaje y resistencia se midieron con un Multímetro (Tech TM-109®).

Producción de agua EO

Para la producción de agua EO se esterilizaron dos litros de agua desionizada usando calor húmedo (15 libras de presión por 15 minutos a 121 ° C). Una vez estéril el agua deionizada se preparó una solución de cloruro de sodio (NaCl) 5% (Izumi y colbs. 2000), luego se alimentó la celda electrolítica con esta solución. Posteriormente los electrodos fueron conectados durante 30 minutos a una fuente de poder que suministró una corriente de 2 A a una tensión de 26,77 V.

Determinación del pH

Durante el tiempo de elaboración del agua se realizaron mediciones del pH utilizando un pH-metro (SCHOTT GERÄTE CG-820) previamente calibrado a intervalos de 1 minuto.

Determinación del cloro

El cloro libre o residual fue determinado por la técnica espectrofotométrica usando el Kit cloro Spectroquant ref. 1.14828.0001 (Merck, Darmstat, Alemania). Las mediciones se realizaron en intervalos de 1 minuto durante los 30 minutos de electrólisis. Esta medición se hizo con el fin de determinar el momento en el que la concentración de cloro residual era la más elevada. (Doyle, M. 1999). Luego de conocer el tiempo en el que se produjo la mayor concentración de cloro residual, el agua producida en la cavidad anódica (Agua EO) fue envasada en frascos ámbar para su posterior uso (Rojas y colb. 1998).

Determinación de la turbiedad y transparencia

Se determinó la turbiedad del agua usando el equipo Merck Turbiquant 1500T, la transparencia se realizó con el kit color aquaquant ref. 1.14421.0001 (Merck Darmstad Alemania)

Selección de la cepa bacteriana y construcción de la curva de crecimiento.

La cepa bacteriana de *Escherichia coli* ATCC 25922 utilizada en los experimentos *in vitro*, se obtuvo de la Unidad del Laboratorio de Salud Pública de Cundinamarca.

Para la construcción de la curva de crecimiento se tomo un inóculo del 10% y se adicionó en 200 ml de caldo tripticasa de soya a 150 rpm, se tomaron muestras cada dos horas y se hizo recuento en gota en agar Plate Count, durante 24 horas (Jay, 1994)

Efecto bactericida del agua EO sobre el cultivo de *E. coli* ATCC 25922.

Para evaluar el efecto bactericida del agua EO, se tomaron alícuotas de 1 ml de un

cultivo de *E. coli* ATCC 25922 de nueve horas de crecimiento (fase estacionaria) en agitación, y se transfirieron a tubos tapa rosca estériles, donde se adicionaron 9 ml de agua EO (producida durante 3 minutos). La efectividad microbicida del agua EO fue evaluada en diferentes tiempos (0, 2, 5, 10, 15 y 20 minutos) tomando 1 ml de la mezcla inóculo-agua EO; haciendo diluciones seriadas 10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4} para los tiempos 2, 5, 10, 15 y 20 min.; y 10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4} , 10^{-8} y 10^{-9} para el tiempo 0. Luego se sembraron en profundidad placas de agar Plate Count, y se incubaron a 35°C por 24 horas. Este experimento se realizó por triplicado y los controles hechos fueron: recuento en placa de diluciones 10^{10} y 10^{11} de la cepa de *E. coli* ATCC 25922, recuento en placa del agua EO utilizada y placas del agar Plate Count utilizado en los recuentos.

Efecto microbicida del agua EO sobre microorganismos presentes en lechuga.

Las lechugas manejadas (36 unidades) en este ensayo fueron obtenidas de un expendio ubicado en la central de abastos de Paloquemado en la ciudad de Bogotá, todas procedían de la misma carga y empaque. Las muestras fueron almacenadas a 4°C antes de ser analizadas (con un intervalo máximo de 2 días) (Österblad *et al* 1999)

Se retiraron las hojas exteriores que regularmente no son utilizadas para el consumo humano, la siguiente capa de hojas fue la empleada para el tratamiento con agua EO. 10g de estas hojas fueron pesados y sometidos a tratamiento por inmersión en 200 ml de agua EO, este procedimiento se repitió con intervalos de tratamiento de 0, 2, 5, 10, 15 y 20 minutos de inmersión en agua EO.

Posteriormente se realizó análisis microbiológico a cada una de las muestras tratadas que comprendió recuento de bacterias mesófilas aeróbicas en agar Plate Count a 35°C por 24 horas, recuento de hongos y

levaduras en agar Oxitetracilina-Glucosa-Extracto de levadura (OGY) a 22°C de 5 a 7 días, número más probable (NMP) de coliformes en caldo brilla a 35°C por 24 a 48 horas y coliformes termotolerantes en caldo brilla a 44.5°C por 24 a 48 horas (INVIMA 1998). Con el fin de evidenciar la acción del agua EO como agente microbicida se hicieron análisis microbiológicos de la lechuga no sometida al tratamiento para conocer su carga microbiana inicial. La selección de estos grupos indicadores se debió a los lineamientos emitidos por la Secretaría de Salud de Cundinamarca.

Análisis estadístico

Con el fin de evaluar la capacidad reductora de microorganismos presentes en lechuga cruda se realizaron pruebas de crecimiento microbiano que fueron analizadas estadísticamente por pruebas de hipótesis con *t* student. Estas pruebas fueron realizadas para los grupos indicadores: bacterias mesófilas aerobias, coliformes totales, coliformes termotolerantes y hongos y levaduras en diferentes tiempos de contacto con el agua EO.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Diseño de la celda electrolítica y producción de agua EO

Para la elaboración de la celda se seleccionó el vidrio ya que es inerte y no presenta corrosión por sustancias que están presentes en el proceso de electrólisis como NaCl, NaOH, HOCl, H₂O, y radicales libres como OH⁻, Cl⁻, H⁺, Na⁺.

La celda diseñada en un comienzo poseía electrodos de cobre y no presentaba membrana de poliestireno, obteniéndose un agua de color pardo de elevado potencial de hidrógeno (pH 11), ausencia de cloro residual y mal olor. Los electrodos de co-

bre presentan una alta corrosión durante el proceso, desprendiendo partículas del mismo que a su vez resultan tóxicas para el humano. Luego de obtener estos resultados se rediseñó la celda cambiando los electrodos de cobre por grafito, material de alta conductividad, durabilidad, baja corrosión, no tóxico e inerte. Para disminuir la corrosión de este material se impregnó con aceite de linaza (protector) de acuerdo con los experimentos realizados por Montes *et al*/1999 que sugieren este tratamiento con el fin de aumentar la densidad y reducir la porosidad del material; por otro lado estos investigadores sugieren que es un material que suple con eficacia a metales de elevado costo como el platino y el titanio.

El nuevo diseño también incluyó una membrana de polivinilo de cloruro (PVC), que es un poliestireno de uso comercial (DARNEL[®]) para la conservación de alimentos. Al incluir la membrana como división de las cavidades anódica y catódica se reguló el transporte de iones obteniéndose dos tipos de agua. Luego de tres minutos de electrólisis, en la cavidad anódica se produjo agua EO, con valores de cloro residual de 14 ppm (valor de cloro residual más alto durante la electrólisis), pH de 2.3 (ver figuras N° 2 y 3), una transparencia de 0 UPC (unidades de platino cobalto) y turbiedad de 0.80 UNT (unidades nefelométricas de turbiedad) que comparados con los lineamientos emitidos en el decreto 475 de 1998 del Ministerio de Salud Pública se encuentran dentro del rango de aceptación de la norma. A su vez el agua obtenida en la cavidad catódica presentaba un pH de 11, cambio de color a una tonalidad parda y ausencia de cloro libre por lo que esta agua fue descartada y no se utilizó para los experimentos de destrucción microbiana.

Durante la electrólisis el contenido de cloro residual en el agua anódica presentó un mayor valor a los tres minutos de proceso, seguido de un descenso rápido observable

desde el cuarto minuto hasta el minuto catorce donde se presenta la ausencia total de cloro residual con valores de cero. Paralelo a lo anterior los valores de pH descendieron de 8.12 a 3.12 durante el primer minuto de electrólisis y en el minuto 30 se presentan valores de 2.24.

Por lo anterior se tomó el agua EO producida en la cavidad anódica luego de 3 minutos de electrólisis para su utilización en los experimentos de destrucción de microorganismos; ya que se buscaba un agua con sustancias activas representadas en el cloro libre. Algunas de las ventajas principales de la producción de agua EO es que solo requiere sal común como materia prima y agua de grifo; de otro lado no se necesitan adiciones de ácidos para disminuir el pH con el fin de potenciar la acción del desinfectante ya que la disociación de la forma activa del cloro (ácido hipocloroso HClO) a la forma menos microbicida (ClO⁻) es dependiente del pH existiendo mayor disociación a medida que el pH aumenta, por ende se presenta disminución en la destrucción de microorganismos. (Rutala 2002)

Efecto bactericida del agua EO sobre el cultivo de *E. coli* ATCC 25922

De acuerdo a lo ilustrado en la figura N° 4 la reducción del recuento de UFC/ml del inóculo de *E. coli* ATCC 25922 utilizado, luego del tratamiento con agua EO, es de 11.34 UL (unidades logarítmicas). La gráfica también señala una reducción de 8.9 UL luego de 5 minutos de tratamiento con agua EO lo que demuestra el alto potencial microbicida ya que la reducción es significativa en lapsos de acción cortos.

Hay que tener en cuenta que en este ensayo se utilizaron poblaciones altas con el fin de establecer la capacidad del agua EO en un ensayo *in vitro* ya que los ensayos *in*

vivo cuentan con otras variables que pueden interferir con la acción desinfectante del agua (inóculos mixtos que incluyen levaduras, hongos y bacterias, concentración de carga orgánica, pH) (Sarrassa y Aldana 2000).

Efecto microbicida del agua EO sobre microorganismos presentes en lechuga

En la figura 4. Se demuestra la reducción progresiva con respecto al tiempo de los recuentos de bacterias mesófilas aeróbicas presentes en la lechuga partiendo de 6,75 Log₁₀ de UFC/g hasta 2,60 Log₁₀ de UFC/g, lo anterior representa una reducción de 4,15 UL. La presencia de microorganismos esporoformadores dentro de este grupo puede resultar en una resistencia mayor a los tratamientos microbicidas, lo que explica que en este experimento con microorganismos mesófilos no se presentara una eliminación total de esta carga mixta de microorganismos (Beuchat 1995, ICMSF 2000)

Los resultados del efecto microbicida del agua EO sobre microorganismos coliformes totales presentes en la lechuga se ven representados en la figura 6, que muestra los valores del NMP. La destrucción total de este grupo de microorganismos se evidencia hacia el minuto 5 de tratamiento, siendo esta representado por valores <3.

En el caso del grupo de los coliformes termotolerantes presentes en la lechuga se encontró que luego de dos minutos de exposición al agua EO el NMP de este grupo presentó valores de <3 (Datos no se muestran)

De acuerdo con los resultados observado en la figura 7 se encuentra una reducción de los recuentos de hongos y levaduras de 3.95 UL luego de 10 minutos de tratamiento.

El agua EO no afecta la tasa de respiración o el color de la superficie en hojas de lechuga a temperaturas normales como lo indica el trabajo de Izumi (2000) y lo corrobora este estudio, ya que a pesar de someter las hojas de lechuga a este tratamiento, el agua EO no afectó la calidad del producto referida a cambio de color, olor y sabor.

El agua EO tiene cualidades microbicidas debido a diferentes factores como lo son el bajo pH, elevado Potencial de oxidorreducción (POR), alto contenido de sustancias cloradas, etc. Los hipocloritos son las sustancias más usadas para la eliminación de microorganismos, los anteriores poseen un amplio espectro de actividad antimicrobiana, no dejan residuos tóxicos, la dureza del agua no le afecta, es económico y de rápida acción, remueve microorganismos secos, fijos o biopelículas de superficie. Por otro lado puede presentar corrosión de metales en concentraciones superiores a 500 ppm, inactivación con materia orgánica, y decoloración de diversos materiales. La actividad microbicida del cloro ha sido atribuida a la forma no disociada, ácido hipocloroso (HClO). La disociación del ácido hipocloroso a la forma menos microbicida (Ion hipoclorito (ClO⁻)) es dependiente de pH. La actividad desinfectante del cloro decrece con el incremento del pH y con conversión paralela de la forma no disociada del ácido hipocloroso a la forma disociada del ion hipoclorito (Rutala 2002).

El mecanismo por el cual el cloro libre destruye los microorganismos no ha sido bien elucidado. La inactivación por cloro puede ser el resultado de varios factores: oxidación de enzimas sulfhídrico y aminoácidos; pérdida del contenido intracelular; disminución de la toma de nutrientes; inhibición de la síntesis de proteínas, decrecimiento en la toma de oxígeno; oxidación de componentes res-

piratorios; disminución en la producción de adenosin trifosfato, rompimiento del DNA y represión de la síntesis de DNA. (Rutala 2002).

Este experimento de características piloto demostró alta efectividad en la eliminación de microorganismos. El concepto puede ser escalado a la pequeña industria productora de hortalizas, ya que los materiales utilizados para su construcción son de bajo costo, además este procedimiento reemplaza el concepto de lavado y desinfección y lo reduce a un solo proceso de lavado.

Este proyecto plantea el uso de un equipo novedoso, portátil que puede ser utilizado por el pequeño productor para la desinfección de hortalizas, garantizando la eliminación de microorganismos y reduciendo la presencia de agentes químicos que pueden considerarse a largo plazo como un riesgo químico que puede afectar la salud del consumidor ya que dentro de los beneficios de esta técnica está también la destrucción de cloraminas procedentes del amoníaco, a su vez presente en los suelos.

Análisis estadístico

Al realizar el análisis estadístico se encontró una diferencia significativa entre los tratamientos demostrando que hay una disminución de los grupos indicadores después del contacto con agua EO.

CONCLUSIONES

La celda electrolítica diseñada tuvo la capacidad de generar dos diferentes aguas. La primera con un pH (11) y ninguna concentración de cloro libre (0 ppm); y la segunda (agua EO) con un bajo pH (2.3) sumado a una concentración de cloro libre de 14 ppm; esta última fue la empleada en este estudio para los diferentes ensayos de destrucción de microorganismos.

El proceso de producción de Agua EO fue detenido a los 3 minutos de electrólisis por encontrarse la mayor concentración de cloro residual.

Los experimentos *in vitro* con *E. coli* ATCC 25922, mostraron que luego de 20 minutos de acción se presenta una eliminación de este microorganismo cercana a su totalidad, pasando de una concentración de 22×10^{11} UFC/ml a 1×10^1 UFC/ml.

Los resultados arrojados en este estudio muestran que la inmersión de las hojas de lechuga en agua EO durante 5 minutos elimina microorganismos de tipo coliforme; la inmersión durante 10 minutos destruye hongos y levaduras y durante 20 minutos reduce casi en su totalidad microorganismos mesófilos aeróbios.

Los resultados indican que el agua EO es altamente efectiva en la destrucción de microorganismos coliformes totales y termotolerantes, mostrando su potencial aplicación para la descontaminación de alimentos.

LITERATURA CITADA

- BEUCHAT, L. 1995. Pathogenic Microorganisms Associated with Fresh Produce. *Journal of Food Protection*. 59(2): 204-216.
- DOYLE, M. 1999. Use of Pulsed Electric Fields and Electrolyzed Oxidizing Water to Control Listeria. *Tesis*. Food Research Institute, UW-Madison. USA.
- E. MERCK. 1994. Manual de Medios de Cultivos. Darmstadt, Alemania.
- ICMSF 2000. Microorganismos de los Alimentos, su Significado y Métodos de Enumeración. Primera edición. Ed. Acribia. Barcelona, España pp 10 – 45 .
- INVIMA 1998. Manual de técnicas de Análisis Para Control de Calidad Microbiológico de Alimentos Para Consumo Humano. Bogotá. Colombia. pp. 36 – 41.
- IZUMI, H., KIBA, T. AND HASHIMOTO. 2000. Efficacy of Electrolysed Water as a Disinfectant for Fresh-cut Spinach. 2000. *Quality assurance in agricultural produce*, ACIAR Proceedings 100: 216-221.
- JAY, J. Modern food microbiology 2000. 6th ed. Gaithersburg (MD): Aspen. 679 p
- MINISTERIO DE SALUD PÚBLICA. Decreto 475 de 1998 Diario Oficial No. 43.259, del 16 de marzo de 1998 4p.
- MONTES, R., ALVAREZ, G. Y MARTÍNEZ, G. Diseño y Construcción de un Clorinador Electrolítico. *Trabajo*. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Escuela de Ingeniería Química. Morelia Michoacán. México. 16 p.
- ÖSTERBLAD, M., PENSALA, O., PETERZÉNS, M., HELENIUS, H. AND HUOVINEN, P. 1999. Antimicrobial susceptibility of Enterobacteriaceae isolated from vegetables. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*. 43: 503-509.
- ROJAS, R. Y GUEVARA, S. 1998 Estabilidad del Hipoclorito de Sodio Generado por Electrólisis. *Hoja de Divulgación Técnica*. Unidad de Apoyo Técnico al Saneamiento Básico Rural. Perú. 6p.
- RUTALA; W. 2002. Draft Guideline for Disinfection and Sterilization in Health care Facilities
- SARASSA, S Y ALDANA, L. 2000. Evaluación de los desinfectantes frente a Listeria

monocytogenes. Trabajo de grado. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá. Colombia

También disponible en: <<http://www.cfsan.fda.gov/~comm/ift3-toc.html>> [Consulta marzo 27 de 2002]

U.S. FOOD AND DRUG ADMINISTRATION. CENTER FOR FOOD SAFETY AND APPLIED NUTRITION. Analysis and Evaluation of Preventive Control Measures for the Control and Reduction/Elimination of Microbial Hazards on Fresh and Fresh-Cut Produce. [En línea] septiembre 30, 2001.

VENKITANARAYANAN, K., EZEIKE, G., HUNG, Y.C., AND DOYLE, M. 1999. Efficacy of Electrolyzed Oxidizing Water for Inactivating *Escherichia coli* O157: H7, *Salmonella enteritidis*, and *Listeria Monocytogenes*. *Applied and Environmental Microbiology*. 65(9): 4272-4279.

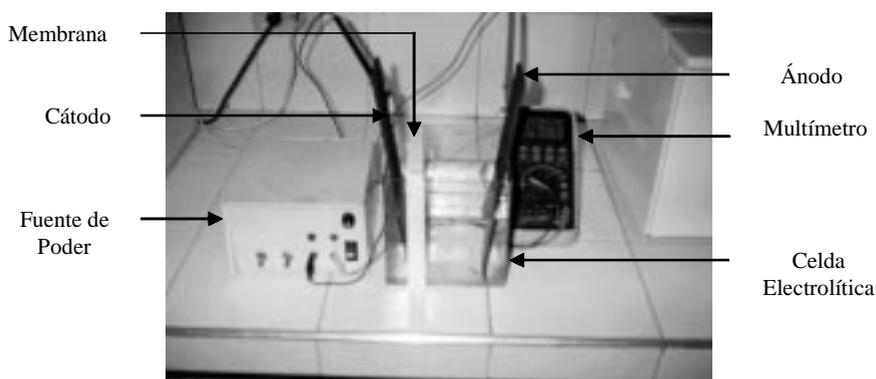


Figura 1. Celda electrolítica

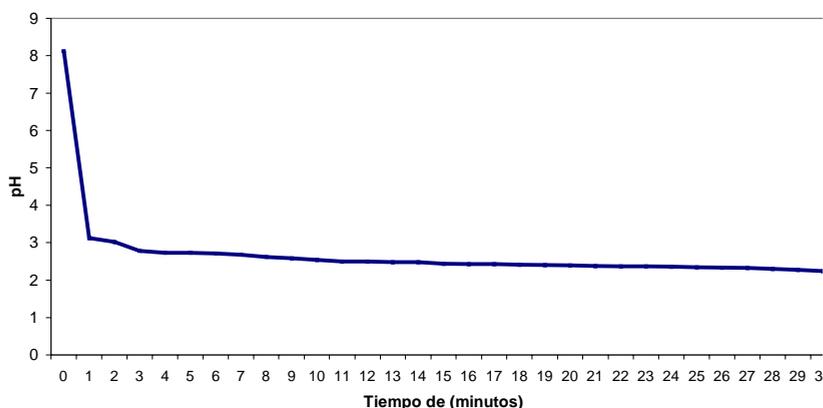


Figura 2. Cambio de pH del agua anódica durante su electrólisis (promedio de los datos obtenidos)

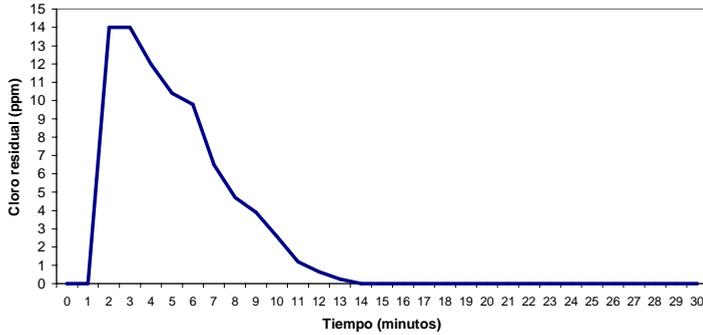


Figura 3. Concentración de cloro residual en el agua anódica durante el proceso de electrólisis (promedio de los datos obtenidos)

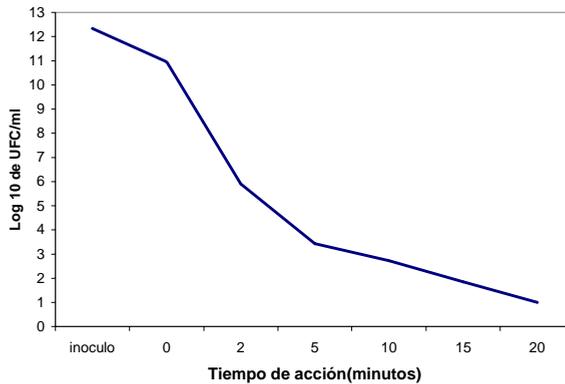


Figura 4. Efecto bactericida del agua EO sobre el cultivo de *E. coli* ATCC 25922 (promedio de los datos obtenidos)

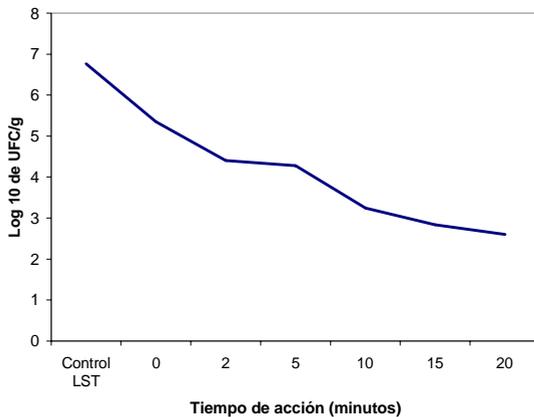


FIGURA 5. Efecto microbicida del agua EO sobre microorganismos mesófilos aerobios presentes en lechuga (promedio de los datos obtenidos)

_____ Microorganismos coliformes totales presentes en la lechuga respecto al tiempo de tratamiento con agua EO

_____ Número límite de coliformes totales permitidos según los lineamientos INVIMA para ensaladas para el consumo humano (150 NMP de coliformes totales / g).

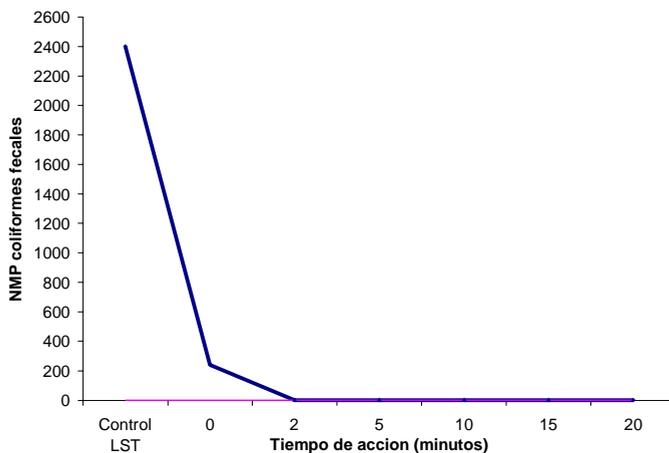


Figura 6. Efecto microbicida del agua EO sobre microorganismos coliformes termotolerantes presentes en la lechuga (promedio de los datos obtenidos)

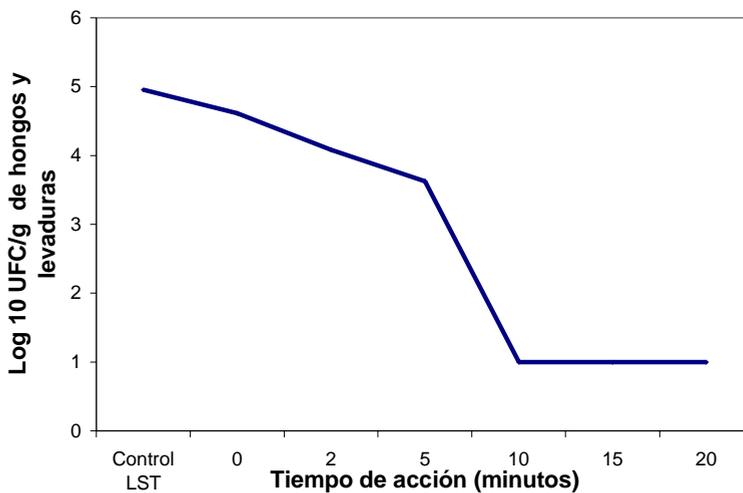


Figura 7. Efecto microbicida del agua EO sobre hongos y levaduras presentes en lechuga (promedio de los datos obtenidos)

Recibido: 19-08-03
Aceptado: 18-03-04