

Difusión de sodio durante el tratamiento alcalino de aceitunas variedad *aloreña*

Por Mariela B. Maldonado y Carlos A. Zuritz^{1*}

Facultad de Ciencias Agrarias - Universidad Nacional de Cuyo, Alte. Brown 500,
(5505) Chacras de Coria, Mendoza, Argentina.

RESUMEN

Difusión de sodio durante el tratamiento alcalino de aceitunas variedad *aloreña*.

Los datos experimentales obtenidos durante el tratamiento alcalino de aceitunas verdes de la variedad *Aloreña*, se ajustaron a un modelo de difusión de sodio en una esfera hueca con un elevado grado de correlación ($0.97 < r < 0.98$). El modelo considera una pared compuesta por la epidermis y la pulpa, con coeficientes de difusión efectivos constantes, D_s y D_L respectivamente. Con lejía al 2,25% de NaOH, a 15°C, 20°C y 25°C, los valores de D_L variaron entre $2,27 \times 10^{-9}$ y $4,24 \times 10^{-9}$ m²/s, mientras que los valores de D_s variaron desde $1,49 \times 10^{-12}$ a $7,38 \times 10^{-12}$ m²/s. Los coeficientes de difusión se incrementaron con la temperatura. Las energías de activación para la difusión de sodio, para la pulpa y la epidermis fueron de 45,07 y 115,28 kJ/mol respectivamente.

PALABRAS-CLAVE: Aceitunas verdes - Difusión - Sodio - Tratamiento alcalino - Variedad *Aloreña*.

SUMMARY

Diffusion of sodium during the alkali treatment of olives *aloreña* variety.

A sodium diffusion model in a hollow sphere was adjusted with a high degree of correlation ($0.97 < r < 0.98$) to the experimental data obtained during the debittering of green olives of the *Aloreña* variety. The model considers a composite-wall consisting of a thin skin and a thicker flesh, with constant skin and flesh effective diffusion coefficients, D_s and D_L , respectively. With lye at 2.25% of NaOH at 15°C, 20°C and 25°C, the D_L values ranged between 2.27×10^{-9} and 4.24×10^{-9} m²/s, while the D_s values ranged from 1.49×10^{-12} to 7.38×10^{-12} m²/s. The diffusion coefficients increased with temperature. Activation energies of diffusion of sodium were 45.07 and 115.28 kJ/mol, for the pulp and the skin respectively.

KEY-WORDS: Alkali - *Aloreña* variety - Debittering - Diffusion - Green olives - Sodium.

1. INTRODUCCIÓN

La calidad de los alimentos puede ser afectada por el fenómeno de difusión, donde el progreso de las reacciones químicas depende de la capacidad de movimiento de los reactantes. El control de la humedad, gas y la difusión de otros solutos en la superficie de los alimentos, como también los intercambios producidos en otras zonas heterogéneas de la matriz del alimento pueden ser un factor muy importantes en la estabilidad de los productos finales (Redl, 1996). En la práctica, la difusión ocurre principalmente en un estado no estacionario en una matriz fuertemente heterogénea y

en un sistema de multicapas de células. (Stahl y Loncin, M., 1979).

Dada la importancia de este fenómeno, existen numerosos antecedentes sobre el estudio de la difusividad de muchos solutos en distintos sistemas. Por ejemplo, Talton y col. (2000) estudiaron la difusión de NaOH en maderas, asumiendo un modelo geométrico de placa fina, y cuantificaron el fenómeno de difusión mediante valoración del álcali con ácido.

En alimentos, la difusividad de los álcalis ha sido bastante estudiada, ya que el uso de los mismos es frecuente en el procesamiento de diversos frutos y hortalizas. Por ejemplo Floros y Chinnan (1990) estudiaron la difusión del hidróxido de sodio como agente químico de pelado en tomates a distintas concentraciones y temperaturas de proceso. Estos autores determinaron que existe una concentración umbral de sosa por encima de la cual el fenómeno de difusión se hace independiente de la concentración y éste ocurre prácticamente de forma instantánea.

Por otro lado, Floros et al. (1987) observaron al microscopio electrónico la acción que ejercía el hidróxido de sodio sobre la estructura vegetal de pimientos e indicaron la importancia de controlar la concentración y el tiempo de aplicación de la lejía para evitar daños estructurales mayores ocasionados por la difusión de la misma.

En la elaboración de aceitunas estilo sevillano o español, el NaOH se utiliza como agente de tratamiento alcalino. La aceituna es la única drupa que contiene oleuropeína, un glucósido que le confiere sabor amargo, que la hace incomedible sin un tratamiento previo. El tratamiento con sosa o lejía ejerce una acción muy compleja cuya consecuencia más importante es que, al colocar las aceitunas en salmuera, esta se convierte en un adecuado medio de cultivo (Rodríguez de la Borbolla y Rejano, 1979) debido a que el aumento de permeabilidad ocasionado en los frutos facilita el intercambio osmótico de azúcares necesarios para la fermentación láctica. La acción del hidróxido sobre la oleuropeína da como productos de hidrólisis ácido eleanólico y 3,4 hidroxietilalcohol (Marsilio et al., 1996 y 1998).

También el tratamiento con lejía determina cambios en la consistencia de los frutos, una reducción del espesor de la cutícula y una deformación sensi-

ble en las células del mesocarpio. El tipo y grado de alteración que se verifica en los tejidos depende de la concentración de lejía empleada (Cucuracci et al., 1974). Marsilio et al., (1996), observaron el efecto de la lejía en los tejidos de aceituna al microscopio electrónico. Estos autores vieron que la acción de la lejía es uniforme y en las aceitunas tratadas, se puede diferenciar una frontera formada por células dañadas donde puede distinguirse el cambio del color y de textura del tejido y la rotura del núcleo dentro del citoplasma.

Maldonado y Zuritz (2003), estudiaron la difusión de sodio en aceitunas de la variedad *Arauco* (o Criolla) a distintas concentraciones y temperaturas de lejía. Los autores determinaron coeficientes efectivos de difusión de la piel y la pulpa y sus respectivas energías de activación, resolviendo la ecuación de continuidad (segunda ley de Fick) para un modelo de cilindro hueco, con pared compuesta por la epidermis y la pulpa.

Continuando la investigación anterior, el presente trabajo tiene por objetivo evaluar el fenómeno de difusión de sodio durante el tratamiento alcalino de aceitunas de la variedad *Aloreña*, a una concentración constante de hidróxido de sodio de 2,25% (p/v) y diferentes temperaturas.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Toma de muestras

Se utilizaron aceitunas de la variedad *Aloreña*, que fueron cosechadas en el estado de madurez óptima, (índice de madurez I.M. entre 1 y 2; Fernández et al. 1991) con las que se conformó una muestra general de 15 Kg., de tamaño uniforme, cuyas dimensiones fueron: peso=5,33g, $\sigma=0,48g$, diámetro ecuatorial = 2,32cm, $\sigma=0,09cm$, longitud = 2,62 cm, $\sigma=0,10cm$.

Las mismas se separaron en bloques de 80 aceitunas cada uno, que se introdujeron en tres bidones de plástico conteniendo 7 litros de solución de hidróxido de sodio a una concentración de 2,25% (p/v; 0,5625 M/l), que se mantuvo constante durante los experimentos. Cada uno de estos bidones se intro-

dujo en cámaras de temperatura controlada a 15°C, 20°C y 25°C, que se mantuvieron constantes. Una vez agregadas las aceitunas, las soluciones se mantuvieron en permanente agitación. El punto final de "cocido" se consideró cuando la lejía penetró hasta $\frac{3}{4}$ de la pulpa, lo cual se determinó visualmente por reacción colorimétrica con fenoltaleína.

La penetración de sodio se siguió analizando éste en una muestra de diez (10) aceitunas de cada bidón a intervalos de tiempo predeterminados. A tal efecto, se introdujo en cada aceituna un tubo de vidrio de 5 mm de diámetro interno, esmerilado en la punta, en forma perpendicular al eje longitudinal de la misma, hasta el hueso, y se extrajo la muestra de pulpa contenida dentro del tubo de vidrio, cortando la misma con una cuchilla fina en forma paralela al eje longitudinal de la aceituna a nivel del hueso. Luego se obtuvieron las muestras cortando cada cilindro extraído en cuatro (4) secciones de 1,16 mm de espesor promedio (medido con calibre 1:20 mm), con una cuchilla fina.

El número total de muestras analizadas (1190) dependió de la duración de cada tratamiento (Tabla I).

2.2. Técnica Analítica

Las muestras se pesaron con una precisión de 0,0001g y se colocaron en crisol de porcelana con tapa, se secaron en estufa a $100^{\circ} \pm 5^{\circ}C$ durante 24 h y se calcinaron en mufla a $550^{\circ}C \pm 25^{\circ}C$ hasta cenizas totalmente blancas. Las cenizas se recogieron cuantitativamente con 2 ml de solución de HCl 1+1 (libre de sodio) y 10 ml de agua desionizada en un tubo de ensayo. El contenido de sodio se midió en un fotómetro de llama Metrolab 315, previa calibración del aparato con solución patrón estándar de NaCl.

El contenido inicial de sodio en las aceitunas se determinó usando la misma técnica.

2.3. Determinación de dureza

La textura de las aceituna se determinó una vez terminado el proceso de fermentación, con un penetrómetro FT327 Effegy, con un émbolo de 8,00 mm de diámetro, a una profundidad de 3,7 mm.

Tabla I
Características de las muestras analizadas por tratamiento

Temperatura (°C)	Tiempo (horas)	N° de intervalos	N° de muestras
15	8	5	400
20	7	7	490
25	5	6	300

2.4. Modelo matemático

El fruto de la variedad *Aloreña* es de tamaño mediano con ápice redondeado y forma globosa-esférica (Guerrero, 1994). El proceso de difusión del sodio se modeló teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

1. La pulpa y la epidermis de la aceituna forma un conjunto homogéneo e isotrópico con concentración inicial (c_i) uniforme.
2. La pulpa de la aceituna es una esfera hueca de radio interno r_i y radio externo r_o , rodeada por una epidermis de radio interno r_o y radio externo r_s .
3. El espesor de la epidermis es mucho menor que los radios de sus caras interna y externa, por lo que se puede despreciar la variación de sus áreas superficiales y considerar el mismo como la diferencia de los radios ($r_s - r_o$).
4. La acumulación de sodio en la epidermis es despreciable.
5. El hueso es una esfera sólida concéntrica, impermeable a la difusión de la sosa.
6. La difusión del sodio es unidireccional
7. Como una primera simplificación se evalúan los coeficientes de difusión en la piel y la pulpa como coeficientes efectivos "promediados en el tiempo de tratamiento" por lo que se los considera matemáticamente como constantes.
8. La superficie de la epidermis ($r = r_s$) alcanza la concentración de sodio (c_s) de la solución de tratamiento en el momento de la inmersión en la misma.
9. Debido a su pequeño espesor, se desprecia la acumulación de sodio en la piel y se asumió un proceso de difusión "quasi"-estacionario en ésta.

El proceso de difusión en la pulpa está gobernado por la siguiente ecuación (en forma adimensional):

$$\frac{\partial^2 C}{\partial R^2} + \frac{2}{R} \frac{\partial C}{\partial R} = \frac{\partial C}{\partial \theta} \quad (1)$$

Sujeta a las siguientes condiciones iniciales y de frontera

CI: a tiempo $\theta=0$; $C=1$ en $a < R < 1$ (2a)

CF1: a tiempo $\theta > 0$ $\partial C / \partial R = 0$ en $R = a$ (2b)

CF2: a tiempo $\theta > 0$ $\partial C / \partial R = \left[-\frac{D_s / (r_s - r_o)}{D_i / r_o} \right] C$ en $R = 1$ (2c)

donde $C = (c - c_i) / (c_s - c_i)$; $R = r / r_o$; $a = r_i / r_o$; $\theta = D_i t / r_o^2$

La solución de la ecuación (1) sujeta a las ecuaciones (2a-c) ha sido presentada para condiciones convectivas de transferencia de calor en la superficie

de una esfera hueca con temperatura inicial arbitraria indefinida (Carslaw y Jaeger, 1959). Para el presente caso, con concentración inicial uniforme c_i , la solución toma la siguiente forma:

$$C = \frac{2}{r} \sum_{n=1}^{\infty} A \{ \text{sen}[(r-a)\alpha_n] + a\alpha_n \cos[(r-a)\alpha_n] \} * R_{(\alpha_n)} e^{-D_L \alpha_n^2 t / r_o^2} \quad (3)$$

donde:

$$A = \frac{(H^2 + k_2^2 \alpha_n^2)}{(1-a) \left(a^2 \alpha_n^2 + 1 \right) \left(k_2^2 \alpha_n^2 + H^2 \right) + (Ha + k_2) \left(H + a k_2 \alpha_n^2 \right)} \quad (4)$$

y

$$R_{(\alpha_n)} = (B1 * B2) - (B3 * B1) + a \alpha_n [B1 * B4 + B3 * B2] \quad (5)$$

en que:

$$B1 = \frac{\cos(\alpha_n a)}{\alpha_n} \quad (6)$$

$$B2 = \left[\frac{1}{\alpha_n} (\text{sen}(\alpha_n) - \text{sen}(\alpha_n a)) + (a \cos(\alpha_n a) - \cos(\alpha_n)) \right] \quad (7)$$

$$B3 = \frac{\text{sen}(\alpha_n a)}{\alpha_n} \quad (8)$$

$$B4 = \left[\frac{1}{\alpha_n} (\cos(\alpha_n) - \cos(\alpha_n a)) + (\text{sen}(\alpha_n) - a \text{sen}(\alpha_n a)) \right] \quad (9)$$

donde α_n ($n=1,2,3...$) son las raíces de:

$$\left[\frac{k_2}{k_1} - (1 + a^2) \right] \text{sen}[(1-a)z] + \left[a a \frac{k_2}{k_1} + (z - a z) \right] \cos[(1-a)z] = 0 \quad (10)$$

Siendo:

$$H = k_2 - k_1; \quad k_2 = D_s / (r_s - r_o); \quad k_1 = D_i / r_o$$

La concentración volumétrica promedio C se obtiene integrando la ecuación (3) sobre el volumen de la esfera hueca:

$$\langle C \rangle = \frac{1}{V} \int C dV \quad (11)$$

Lo que da como resultado:

$$\langle C \rangle = \frac{6}{(1-a^3)} \sum_{n=1}^{\infty} A R_{(\alpha_n)}^2 e^{-D_L \alpha_n^2 t / r_o^2} \quad (12)$$

Considerando un tiempo de proceso $\gg 0$, se puede despreciar los términos de $n > 1$; y sólo usamos el

primer término de la serie ($n=1$). Entonces la ecuación (12) se reduce a:

$$\langle C \rangle = \frac{6}{(1-a^3)} A R_{(\alpha_1)}^2 e^{-D_L \alpha_1^2 t / r_0^2} \quad (13)$$

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los datos experimentales de sodio se muestran en la Figura 1. Estos corresponden al promedio de los valores de concentración de sodio obtenidos de los cuatro cortes en intervalos de tiempo de muestreo, para los distintos tratamientos. Los mismos se presentan como concentración promedio adimensional ($\langle C \rangle$) en función del tiempo de muestreo y de la temperatura.

El contenido inicial de sodio (c_i) fue 0,0093 meq Na/g aceituna. El mismo se obtuvo de cuarenta (40) muestras de aceitunas extraídas al azar de la muestra general de 15 Kg; que fueron analizadas antes de iniciar los tratamientos ($\theta=0$).

La concentración de superficie (c_s) utilizada para obtener los valores adimensionales de sodio fue 0,5625 meq Na/g en la solución de lejía.

Puede observarse en la Figura 1 que los tiempos de tratamiento alcalino fueron de 5,00; 7,00 y 8,00 horas para 25°C, 20°C y 15°C, respectivamente. Comparando las concentraciones alcanzadas en tiempos similares se puede también apreciar el efecto de la temperatura en la velocidad de penetración de la sosa; por ejemplo, para el tratamiento a 15°C la concentración adimensional alcanzada en 4,5 horas de tratamiento fue de 0,87, a 20°C fue de 0,54 en 5 horas y a 25°C alcanzó 0,072 en 5 horas.

Si se comparan estos tiempos de tratamiento con los obtenidos para aceitunas de la variedad *Arauco* por Maldonado y Zuritz (2003), tratadas en igualdad de condiciones, los de *Aloreña* son menores que los requeridos para la variedad *Arauco*. En particular, el tratamiento a 15°C necesitó casi el triple de tiempo para la variedad *Arauco* que para la *Aloreña*, mien-

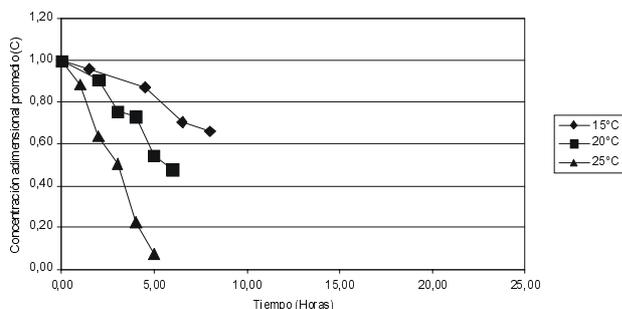


Figura 1

Concentración adimensional de sodio en función del tiempo de tratamiento con una lejía del 2,25 % de NaOH.

tras que a 20°C y 25°C las diferencias en los tiempos de tratamiento alcalino fueron solamente de 2 horas en ambos casos.

No obstante, si se comparan los valores de las concentraciones adimensionales de sodio alcanzados en la variedad *Aloreña* con los encontrados para la variedad *Arauco* (Maldonado y Zuritz, 2003), estos últimos son menores (mayor concentración dimensional) para todos los tratamientos, a tiempos comparables de muestreo. Esto indica que penetra mayor cantidad de sosa en la variedad *Aloreña* que en la *Arauco*, lo que supone que las aceitunas de la variedad *Aloreña* tienden a alcanzar la concentración de la solución con mayor rapidez, probablemente debido a una diferencia en la permeabilidad de la pulpa.

Los coeficientes de difusión de la pulpa (D_L) y la epidermis (D_S), y el valor de α_1 , se obtuvieron ajustando, con la ecuación (13), los datos experimentales, de los que se eliminaron los primeros intervalos de muestreo en concordancia con la restricción de dicha ecuación. El ajuste se realizó por el método de mínimos cuadrados. Atento a que la suma de los cuadrados de los residuos es una función no lineal de los parámetros D_L , D_S y α_1 , se utilizó el método de regresión no lineal iterativo del programa Polymath 5.1®. Para satisfacer la ecuación propia (10), una vez establecidos los parámetros iniciales, se generó una función exponencial, como se indica a continuación:

$$\langle C \rangle = P_1 e^{-P_2 t} \quad (14)$$

donde:

$$P_1 = \frac{6}{(1-a^3)} A x R_{(\alpha_1)}^2 \quad (15)$$

y:

$$P_2 = D_L \alpha_1^2 / r_0^2 \quad (16)$$

Luego, las ecuaciones (10), (15) y (16) se resolvieron simultáneamente con el Software Polymath 5.1®, el que varió los coeficientes α_1 , D_L y D_S hasta lograr convergencia. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla II. Los coeficientes D_L y D_S representan coeficientes efectivos promedios para cada tiempo de tratamiento.

Según puede observarse en la Tabla II, el coeficiente de difusión efectivo de Na en la pulpa (D_L) varió de $2,27 \times 10^{-09}$ a $4,24 \times 10^{-09}$ m²/s (8,17 y 15,26 mm²/h), en el rango de temperaturas de 15°C a 25°C. Estos son de un orden de magnitud mayor que los hallados para la variedad *Arauco*, que variaron entre $1,44 \times 10^{-10}$ y $4,24 \times 10^{-10}$ m²/s (0,52 y 1,53 mm²/h) (Maldonado y Zuritz, 2003) para las mismas temperaturas ensayadas.

Los valores del coeficiente de difusión del Na para la piel o epicarpio (D_S) son del mismo orden de magnitud que los reportados por Maldonado y Zuritz

Tabla II
Coefficientes de difusión de sodio en la pulpa (DL) y epidermis (DS) y coeficientes de correlación (r) utilizando lejía del 2,25 % a distintas temperaturas

Temperatura (°C)	D _L (m ² /s)	D _S (m ² /s)	Correlación (r)
15	2,27E-9	1,49 E-12	0,969
20	3,13E-9	2,83 E-12	0,970
25	4,24E-9	7,38 E-12	0,984

(2003) para la variedad *Arauco*, pero son tres órdenes de magnitud menor que los de la pulpa (ver Tabla II) y también aumentan con la temperatura.

Los menores tiempos de tratamiento alcalino empleados por la variedad *Aloreña* están justificados por los valores de difusividad de la pulpa mucho mayores que los de la variedad *Arauco* (Maldonado y Zuritz, 2003), ya que los valores de difusividad de la epidermis indican una permeabilidad similar de la epidermis en ambas variedades. Estas diferencias de difusividad de sodio en ambas variedades pueden indicar diferencias estructurales o de composición de los frutos, probablemente debidas a factores genéticos y/o agronómicos. Ello influye en la permeabilidad de los frutos a los compuestos químicos, como por ejemplo, el hidróxido de sodio utilizado durante el tratamiento alcalino. Esta hipótesis se confirma con los valores de consistencia (medidos con el penetrómetro en 25 aceitunas), que dio como promedio 2,25 kgf ($\sigma=0,61$), en comparación con el valor de 5,35 kgf ($\sigma=0,61$), obtenido de mediciones hechas en aceitunas de la variedad *Arauco* en igualdad de condiciones.

Posteriormente, como medida del efecto de la temperatura en los coeficientes efectivos de difusión, se calcularon las energías de activación, E_a , mediante una ecuación tipo Arrhenius:

$$D = D_0 e^{(-E_a/RT)} \quad (28)$$

Se puede observar en la Tabla III que la energía de activación de la pulpa es menor que la de la epidermis, indicando que el incremento de la temperatura tiene un mayor efecto en el coeficiente efectivo de difusión de la epidermis. El efecto de la temperatura sobre los coeficientes de difusión es doble: por un lado afecta la viscosidad y densidad de la solución o de la matriz en la cual la difusión tiene lugar y,

por otro lado, incrementa las colisiones moleculares. Esto último aumenta la tasa de reacción de los hidroxilos y cationes sodio con los constituyentes de la matriz celular. Este efecto es muy importante y podría dar lugar a modificaciones en la estructura físico-química de la matriz, debido a la parcial disolución del material intercelular que cementa las células de la matriz sólida entre sí.

4. CONCLUSIONES

1) Los datos experimentales, se ajustan bien ($0,969 < r < 0,984$) a un modelo de esfera hueca de pared compuesta por la epidermis y la pulpa, con coeficientes de difusión efectivos constantes, D_s y D_L , respectivamente, durante el tratamiento alcalino con concentración de lejía de 2,25% a temperaturas de 15°C, 20°C y 25°C.

2) Los valores estimados del coeficiente efectivo de difusión en la pulpa (D_L) fueron de $2,27 \times 10^{-09}$ a $4,24 \times 10^{-09}$ m²/s (8,17 y 15,26 mm²/h). Los mismos aumentaron en función de la temperatura.

3) Los valores del coeficiente efectivo de difusión en la epidermis (D_s) fueron tres órdenes de magnitud inferior a los coeficientes D_L , y dando valores entre $1,49 \times 10^{-12}$ y $7,38 \times 10^{-12}$ m²/s ($5,36 \times 10^{-3}$ y $2,66 \times 10^{-2}$ mm²/h), que también se incrementaron en función de la temperatura.

4) El valor de consistencia medido con penetrómetro fue de 2,25 kgf ($\sigma=0,61$).

5) Los valores de Energía de activación (E_a) para la difusión de sodio, fueron de 45,07 y 115,28 kJ/mol para la pulpa y la epidermis, respectivamente.

LISTA DE SÍMBOLOS

- a Radio interno adimensional de la esfera hueca
- A Constante definida en ecuación (4)
- B1 Constante definida en ecuación (6)

Tabla III
Energías de activación de sodio de los tratamientos alcalinos

Variedad	E _a (D _L) (kJ/mol)	E _a (D _S) (kJ/mol)
<i>Aloreña</i>	45,07	115,28

- B2 Constante definida en ecuación (7)
 B3 Constante definida en ecuación (8)
 B4 Constante definida en ecuación (9)
 c_i Concentración de sodio inicial (meq Na/g pulpa de aceituna)
 c_s Concentración de sodio en solución o concentración sobre la superficie de la epidermis (meq Na/g lejía)
 c Concentración de sodio en la pulpa de la aceituna a diferentes intervalos de tiempo (meq Na/g pulpa de aceituna)
 C Concentración adimensional de sodio
 <C> Concentración adimensional promedio de sodio
 D_L Coeficiente efectivo de difusión en la pulpa (m^2/s)
 D_S Coeficiente efectivo de difusión en la piel (m^2/s)
 D_0 Constante de ajuste en la ecuación (13) (m^2/s)
 E_a Energía de activación (kJ/mol)
 $H = k_2 - k_1$
 $k_1 = D_L/r_0$
 $k_2 = D_S/(r_s - r_0)$
 P_1 Constante definida en ecuación (15)
 P_2 Constante definida en ecuación (16)
 r posición radial en la pulpa de la aceituna (m)
 r_i Radio interno de la pulpa de la aceituna (m)
 r_o Radio externo de la pulpa de la aceituna (m)
 r_s Radio externo de la piel de la aceituna (m)
 R Constante universal de los gases ($8,396 \times 10^{-3}$ kJ/mol-K)
 R Radio adimensional
 $R_{(om)}$ Constante definida en ecuación (5)
 t Tiempo (s)
 T Temperatura absoluta (K)
 α_n Valores propios
 Tiempo adimensional

AGRADECIMIENTO

CONICET de Argentina, Establecimiento olivícola Atilio Avena e Hijos S.A. Laboratorio Escuela Home-ro Mansi (Mendoza) y Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo.

BIBLIOGRAFIA

- Carslaw, H.S. and Jaeger, J.C.. (1959). *Conduction of Heat in Solids*. Oxford University Press, Oxford, England.
- Cucurachi, A., Buonocore, C., Marsilio, V., Brighigna, A.. (1974). Anatomical and histological studies of table olives in relation to the consistency of the pulp. *Annali dell'Istituto Sperimentale per la Elaiotecnica*, (4), 133-164.
- Fernández, M.H.; Uceda Ojeda, M.; García-Ortiz Rodríguez, A.; Morales Bernardino, J.; Friaz Ruiz, L. y Fernández García, A.. (1991). Apuntes: Elaboración de aceite de oliva de calidad. Junta de Andalucía Consejería de Agricultura y Pesca. 5/91, 36-38.
- Floros J.D., Wetzstein H.Y. and Chinnan M.S.. (1987). Chemical (NaOH) peeling as viewed by scanning electron microscopy: pimiento peppers as a case study. *J. Food Sci.*, 52 (5), 1312-1320.
- Floros J.D.; Chinnan M.S.. (1990). Diffusion phenomena during chemical (NaOH) peeling of tomatoes. *J. Food Sci.*, 55(2), 552-553.
- Guerrero Andrés. (1994). Nueva Olivicultura. 3º Edición. Ediciones Mundi- Prensa. Madrid, Barcelona, México. p. 51.
- Maldonado M.B. y Zuritz C.A. (2003). Modelación matemática del proceso de tratamiento con hidróxido sódico de aceitunas verdes de mesa. *Grasas y Aceites*, 54(2), 180-187.
- Marsilio, V., Lanza, B. and De Angelis, M.. (1996). Olive cell wall components: Physical and biochemical changes during processing. *J. Sci. Food Agric.*, 70, 35-43.
- Marsilio, V. and Lanza, B.. (1998). Characterization of an oleuropein degrading strain of *Lactobacillus Plantarum*. Combined effects of compounds present in olive fermenting brines (phenols, glucose and NaCl) on bacterial activity. *J. Sci. Food Agric.*, 76, 520-524.
- Redl, A. (1996). Determination of sorbic acid diffusivity in edible wheat gluten and lipid based films. *J. Food Sci.*, 61(1), 116-120.
- Rodríguez de la Borbolla y Alcalá J.M., Rejano N.L. (1979). Sobre la preparación de aceitunas de estilo sevillano. La fermentación I. *Grasas y Aceites*, 30(3), 175-185.
- Stahl, R. and Loncin, M.. (1979). Prediction of diffusion in solid foodstuffs. *J. Food Proc. and Pres.*, 3, 213-223.
- Talton, J.H. Jr. and Cornell, R.H. (1987). Diffusion of sodium hydroxide in wood at high pH as a function of temperature and the extent of pulping. *Tappi-Journal*, 70(3), 115-118.

Recibido: Enero 2004
 Aceptado: Mayo 2004