



Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha
ISSN: 1665-0204
rbaez@ciad.mx
Asociación Iberoamericana de Tecnología
Postcosecha, S.C.
México

Impregnación por vacío suave con miel en naranjas mínimamente procesadas

González-González, Gladys; Faicán, María Auxiliadora; Piagentini, Andrea M.; Pirovani, María E.
Impregnación por vacío suave con miel en naranjas mínimamente procesadas
Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha, vol. 22, núm. 2, 2021
Asociación Iberoamericana de Tecnología Postcosecha, S.C., México
Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81369610009>

Impregnación por vacío suave con miel en naranjas mínimamente procesadas

Mild vacuum impregnation with honey of minimally processed oranges

Gladys González-González ¹
Universidad Nacional del Litoral, Argentina

Redalyc: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81369610009>

María Auxiliadora Faicán ²
Universidad Nacional del Litoral, Argentina

Andrea M. Piagentini ³
Universidad Nacional del Litoral, Argentina

María E. Pirovani ⁴
Universidad Nacional del Litoral, Argentina
mpirovan@fiq.unl.edu.ar

Recepción: 01 Diciembre 2021
Aprobación: 28 Diciembre 2021
Publicación: 31 Diciembre 2021

RESUMEN:

El objetivo de la investigación fue evaluar el efecto del tratamiento de impregnación al vacío (IV) con miel en naranjas mínimamente procesadas. La metodología de superficie de respuesta fue usada para evaluar el efecto de la presión de vacío (P : 2-18 inHg) y el tiempo de tratamiento (t : 14-42 min) en la ganancia de sólidos (SG), pérdida de agua (WL), reducción de peso (WR), color (L^*_i , C^*_{abi} y h_{abi}), firmeza (F_i), sólidos solubles (SS_i) y pH (pH_i) de octavos de naranja impregnados a vacío (OIV) con miel el día (i) del tratamiento (0 d) y luego del almacenamiento a 2 °C (8 d). Las respuestas afectadas por las variables del proceso fueron SG, WL, WR, L^*_0 , F_0 , y SS_0 , de las que se obtuvieron modelos predictivos. En general, hubo una ganancia de sólidos procedentes de la miel, pérdida de agua y un incremento de sólidos solubles en OIV, después de la IV. Además, ocurrió una reducción de la luminosidad y peso. Para las demás respuestas, que no fueron función de las variables del proceso, no se obtuvieron modelos predictivos. Por lo tanto, se estimó el valor promedio, dentro del rango experimental. En el día 0, la cromaticidad de OIV era ligeramente superior (5%) a la de los octavos sin impregnar (OSI), mientras que el tono y pH fue similar. En el día 8, tanto la cromaticidad como el tono se incrementaron (15 y 4%, respectivamente) y la luminosidad resultó similar a OSI. La firmeza y sólidos solubles de OIV fue mayor (17 y 41%, respectivamente) que OSI, sin cambios evidentes en pH. Los resultados indicaron que el uso de miel aplicada por IV tiene un gran potencial para el desarrollo de un producto diferenciado (naranjas mínimamente procesadas con miel).

PALABRAS CLAVE: *Citrus sinensis*, procesamiento mínimo, Metodología de Superficie de Respuesta, parámetros de transferencia de masa.

NOTAS DE AUTOR

- 1 Instituto de Tecnología de Alimentos, Facultad de Ingeniería Química, Universidad Nacional del Litoral, Santiago del Estero 2829. Santa Fe (3000), Argentina.
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Santa Fe (3000), Argentina
- 2 Instituto de Tecnología de Alimentos, Facultad de Ingeniería Química, Universidad Nacional del Litoral, Santiago del Estero 2829. Santa Fe (3000), Argentina.
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Santa Fe (3000), Argentina
- 3 Instituto de Tecnología de Alimentos, Facultad de Ingeniería Química, Universidad Nacional del Litoral, Santiago del Estero 2829. Santa Fe (3000), Argentina
- 4 Instituto de Tecnología de Alimentos, Facultad de Ingeniería Química, Universidad Nacional del Litoral, Santiago del Estero 2829. Santa Fe (3000), Argentina

ABSTRACT:

The aim of the research was to evaluate the effect of the vacuum impregnation (VI) treatment with honey in minimally processed oranges. Response surface methodology was used to evaluate the effect of vacuum pressure (P:2-18 inHg) and treatment time (t :14-42 min) on solid gain (SG), water loss (WL), weight reduction (WR), colour (L^*_i , C^*_{abi} y h_{abi}), firmness (F_i), soluble solids (SS_i) and pH (CpH_i) for eighths of orange vacuum impregnated (OIV) with honey on day (i) of treatment (0) and after storage at 2 °C (8). The responses affected by the process variables were SG, WL, WR, L^*_0 , F_0 , SS_0 , from which predictive models were obtained. In general, there was a gain in solids from honey, loss of water and an increase in soluble solids in OIV, after IV. In addition, a reduction in luminosity and weight occurred. For the other responses, which were not a function of the process variables, no predictive models were obtained. Therefore, the average value was estimated, within the experimental range. At day 0, the chromaticity of OIV was slightly higher (5%) than that of the eighths without impregnation (OSI), while the tone and pH were similar. On day 8, both the chromaticity and hue were increased (15 and 4%, respectively) and the luminosity was similar to OSI. The firmness and soluble solids of OIV was greater (17 and 41%, respectively) than OSI, with no obvious change in pH. The results indicated that the use of honey applied by IV has great potential for the development of a differentiated product (oranges minimally processed with honey).

KEYWORDS: *Citrus sinensis*, minimal processing, response surface methodology, mass transfer parameters.

INTRODUCCIÓN

Las naranjas son altamente valoradas por su importante contenido de vitamina C, entre otros compuestos nutritivos y bioactivos (Rapisarda *et al.*, 2008). Sin embargo, el consumo en fresco de esta fruta está limitado por la inconveniencia del pelado, especialmente por la transferencia de olor a las manos debido a la liberación de los aceites esenciales (Agostini *et al.*, 2013).

Al respecto, las características fisiológicas (no climatéricas) y morfológicas (estructura en gajos) de esta fruta, la hacen adecuada para un mínimo procesamiento y formulación de un producto listo para consumo (Plaza *et al.*, 2011). Por su parte, la miel es una rica fuente natural de carbohidratos y demás compuestos nutritivos y benéficos para la salud (Cajka *et al.*, 2009) que al integrarse apropiadamente al tejido de la fruta podría incrementar la aceptabilidad y el potencial saludable. En este sentido, una alternativa para la incorporación de dichos ingredientes es la impregnación por vacío (IV), que es una técnica no destructiva utilizada para introducir una solución, con una composición específica, en matrices alimentarias porosas de manera controlada (Verma, 2017).

Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue estudiar el proceso de VI con miel en naranjas mínimamente procesadas variando la presión de vacío y el tiempo de tratamiento. Para ello se aplicará la Metodología de Superficie Respuesta que permitirá modelar el efecto de las variables de procesos sobre las principales respuestas que se relacionan con la calidad de la fruta mínimamente procesada.

MATERIALES Y MÉTODOS**Recepción y acondicionamiento de materias primas**

Las naranjas, obtenidas en un mercado local de la ciudad de Santa Fe (Argentina), fueron lavadas con agua potable de red y se sumergieron en una solución clorada de 0,2 g L⁻¹ de cloro activo durante 3 min. Luego, se escurrieron por gravedad, se almacenaron a 8.0 ± 1.0 °C con 80% de HR durante no más de tres días y se procesaron.

La miel se adquirió con productores de la zona de Monte Vera (Santa Fe, Argentina) y se almacenó a 22 ± 1.0 °C y 60% HR, desde la adquisición hasta su uso.

Tratamiento de impregnación

Las naranjas, fueron peladas manualmente y cortadas en octavos con cuchillo de hoja lisa. Por cada corrida, 800 ± 5 g de octavos de naranja se colocaron en una canasta de red plástica que fue sumergida en una solución osmótica (SO) de miel (50 °Brix), contenida en un recipiente apto para vacío (con las conexiones ad hoc para conectar una bomba de vacío). Las muestras fueron tratadas, de acuerdo al diseño experimental, usando una relación SO/fruta de 1:6.

Al término de cada tratamiento, los octavos fueron escurridos por gravedad durante 3 min, se eliminó el resto de SO, apoyándolos sobre servilletas de papel absorbente (1 min de cada lado) y se registró el peso final. El día de la impregnación, se analizaron octavos impregnados y octavos sin impregnar para determinar el efecto del tratamiento sobre las respuestas evaluadas.

Adicionalmente, parte de los octavos impregnados (200 ± 5 g) se almacenaron en cámara frigorífica (2.0 ± 0.5 °C), durante 8 días, para analizar los cambios después del almacenamiento. Para el envasado se utilizaron recipientes de tereftalato de polietileno (PET) de 0,42 mm de espesor, área superficial de $0,045$ m², con permeabilidad para O₂ = $4,73 \times 10^{-15} - 9,617 \times 10^{-15}$ Kg m⁻² s⁻¹ Pa⁻¹ (a 23°C y 0% de humedad relativa) y vapor de agua = $1,3 \times 10^{-7} - 2,08 \times 10^{-7}$ Kg m⁻² s⁻¹ Pa⁻¹ (a 38°C y 90% de humedad relativa).

Diseño experimental

La operación de IV se evaluó mediante la Metodología de Superficie de Respuesta (Montgomery, 2013), de acuerdo a un diseño factorial con dos variables (presión de vacío, P; tiempo de tratamiento, t) y tres niveles por variable (P= 2, 10 y 18 inHg; t= 14, 28 y 42 min), resultando en un total de 11 corridas experimentales (9 combinaciones y 2 repeticiones del punto central). El tiempo de tratamiento de las corridas según el diseño experimental corresponde 50% al tiempo durante el cual se aplicó presión de vacío a la muestra y 50% al tiempo durante el cual la muestra estuvo en fase de relajación (presión atmosférica).

Las respuestas evaluadas fueron los parámetros de transferencia de masa, ganancia de sólidos (SG), pérdida de agua (WL) y reducción de peso (WR), determinados de acuerdo a las ecuaciones 1, 2 y 3, respectivamente.

$$SG(\%) = \frac{(M_f * (100 - H_f)) - (M_i * (100 - H_i))}{M_i} \quad (1)$$

$$WL(\%) = \frac{(M_i * H_i) - (M_f * H_f)}{M_i} \quad (2)$$

$$WR(\%) = WL - SG \quad (3)$$

Donde M_i = masa inicial de muestra (g), M_f = masa final de muestra (g), H_i = humedad inicial de muestra (%) y H_f = humedad final de muestra (%).

Además, se evaluaron los cambios en el color (CL^*_i , CC^*_{abi} y Ch_{abi}), firmeza (CF_i), sólidos solubles (CSS_i) y pH (CpH_i), según la ecuación 4.

$$\text{Cambio (\%)} = (X_i/X) * 100 \quad (4)$$

Donde X_i es el valor promedio del atributo evaluado en la muestra tratada al tiempo (i) 0 u 8 del almacenamiento y X es el valor promedio de la muestra fresca sin tratar.

Se estableció la función matemática para cada una de las respuestas, en relación a los dos factores independientes (5):

$$y_i = f(P, t) \quad (5)$$

Donde P , es la presión de vacío, t , el tiempo de tratamiento y y_i , es la respuesta en el día (i) de almacenamiento.

La ecuación propuesta para los modelos fue (6):

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 P + \beta_2 t + \beta_{12} Pt + \beta_{11} P^2 + \beta_{22} t^2 + \epsilon_{12} \quad (6)$$

Donde $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_{12}, \beta_{11}, \beta_{22}$, son los coeficientes y ϵ_{12} , el error. Para el fiteo de los modelos propuestos se usaron variables no codificadas.

Determinaciones analíticas

Parámetros de transferencia de masa.

Antes y después de cada tratamiento, la muestra fue pesada y se determinó su contenido de humedad, con la finalidad de estimar la SG, WL y WR. La humedad se determinó mediante un analizador de humedad PMR50 (RADWAG, Polonia), a partir de 5 g de la muestra homogeneizada. La temperatura del equipo fue de 80 °C.

Color.

Determinado de acuerdo con Piagentini and Pirovani (2017), usando un espectrofotómetro Minolta (modelo CM-508d, Tokio, Japón) y se evaluaron los parámetros L^* (luminosidad) C^*_{ab} (croma) y h_{ab} (ángulo de tono). Se hicieron 10 medida por tratamiento.

Firmeza.

Mediante un analizador de textura TA-XT Plus (Stable Micro System), con un test de penetración, utilizando una sonda cilíndrica de 8 mm de diámetro. Cada octavo de naranja se colocó de forma perpendicular a la sonda. La distancia y velocidad de penetración fueron de 10 mm y 2 mm/s, respectivamente, usando una celda de carga de 5 kg. Se usó el software Exponent para determinar la firmeza como fuerza máxima, expresada en N. Se realizaron 10 repeticiones por tratamiento.

Sólidos solubles (°Brix) y pH.

El contenido de sólidos solubles fue determinado mediante un refractómetro portátil digital PAL-ALFA (Atago Co. 124 Ltd, Tokio, Japón), medido por triplicado en pulpa homogeneizada. El pH se determinó por triplicado, mediante un pHmetro Cardy Twin B-113 (Horiba Ltd. Kyoto, Japón).

Análisis estadístico

Se utilizó el programa STATGRAPHICS Centurion XV.II (StatPoint Technologies, Inc., Warrenton, VA, EE. UU.) para realizar el análisis de los datos a través de los ANOVAs, ajustar los modelos propuestos y obtener los coeficientes de las ecuaciones. Previamente, también se realizaron pruebas para verificar que los residuales cumplieran los supuestos de normalidad, independencia y aleatoriedad. Se evaluó la significancia de cada término del modelo y se refirió a los residuos totales. Para la verificación de la adecuación del modelo se calculó la prueba de falta de ajuste y la determinación del coeficiente de variación R^2 . Los modelos predictivos se expresaron en variables no codificadas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Parámetros de transferencia de masa

Los resultados experimentales obtenidos para la ganancia de sólidos, pérdida de agua y reducción de peso en los octavos de naranja, después de la IV con miel, se muestran en el cuadro 1. Los ANOVAs de los modelos propuestos para estas tres respuestas (Cuadro 2) indicaron que las mismas fueron función de las variables del proceso, sin exhibir falta de ajuste significativa ($P > 0.05$) y con coeficientes de determinación aceptables ($R^2 > 70$). Por lo tanto, se aceptaron los modelos predictivos correspondientes.

CUADRO 1
Ganancia de sólidos (SG), pérdida de agua (WL) y reducción de peso (WR) de octavos de naranja impregnados a vacío suave con solución de miel (50 °Brix)

Corrida	Presión (inHg)	Tiempo (min)	SG (%)	WL (%)	WR (%)
1	10	28	5,2	8,0	2,7
2	2	28	3,7	7,5	3,7
3	2	14	2,9	6,3	3,4
4	2	42	4,1	8,3	4,2
5	18	28	4,8	7,1	2,3
6	18	42	5,0	7,6	2,6
7	10	14	3,8	6,1	2,3
8	18	14	3,1	6,0	3,0
9	10	28	3,8	7,0	3,1
10	10	42	4,5	7,4	2,8
11	10	28	3,9	6,5	2,6

CUADRO 2
ANOVAs de los modelos propuestos para la ganancia de sólidos (SG), pérdida de agua (WL) y reducción de peso (WR) en octavos de naranja impregnados a vacío suave con solución de miel (50 °Brix)

Fuente	Gl	Suma de cuadrados		
		SG	WL	WR
P	1	0,8	0,3	1,9**
t	1	2,4*	4,0*	0,1
p ²	1	0,1	0,1	0,6*
Pxt	1	0,1	0,04	0,4
t ²	1	0,3	0,3	0,004
Falta ajuste	3	0,4	0,1	0,3
Error puro	2	1,2	1,2	0,1
R ²		70,3	78,7	88,2

* significativo a $P \leq 0,05$; ** significativo a $p \leq 0,01$; P: presión de vacío; t: tiempo de tratamiento; Gl: grados de libertad

La SG y WL fueron afectados por el tiempo de tratamiento, mientras que WR fue afectada por la presión en su término lineal y cuadrático (Cuadro 2). En las figuras 1a, 1b y 1c, se encuentran representadas la SG, WL y WR, respectivamente, en función de la presión de vacío y el tiempo de tratamiento. De esta manera, se puede observar que la ganancia de sólidos y la pérdida de agua incrementan conforme el tiempo de tratamiento es mayor, mientras que la reducción de peso incrementaba a las menores presiones.

Las ecuaciones 7 y 8, representan los modelos predictivos para SG y WL, respectivamente. A partir de estas ecuaciones, se estimó una ganancia de sólidos de hasta 5,0%, si los octavos son tratados durante 42 min con 18 inHg y una pérdida de agua mínima de 6,0%, al usar un tiempo de tratamiento de 14 min y 12 inHg. Mediante el modelo predictivo de WR (Ecuación 9) se estimó que la mínima reducción de peso (2,5%) se puede obtener al usa una presión de 17 inHg, con un tiempo de tratamiento de 42 min.

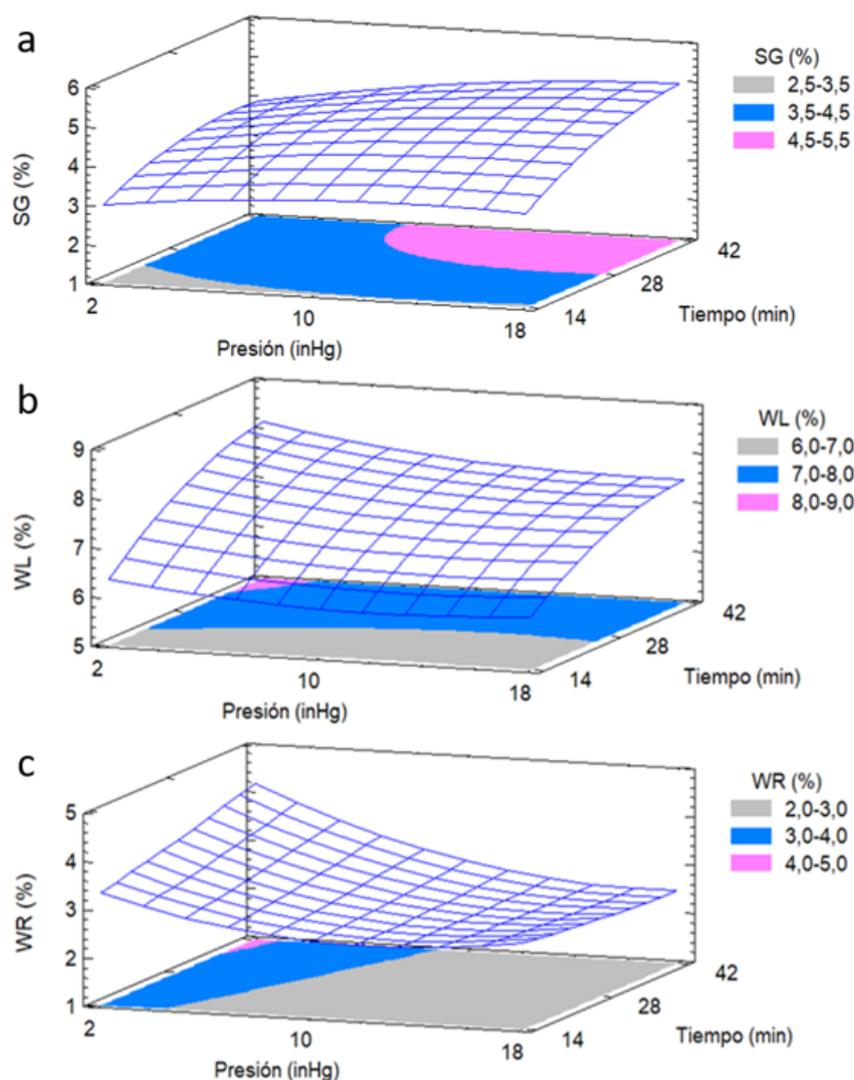


FIGURA 1

Gráfico de superficie y área de contorno para la ganancia de sólidos (a), pérdida de agua (b) y reducción de peso (c), en función de la presión de vacío y tiempo de tratamiento, en octavos de naranja impregnados a vacío con solución de miel (50 °Brix)

$$SG (\%) = 1,45 + 0,071P + 0,121t - 0,003P^2 + 0,002Pt - 0,002t^2 \quad (7)$$

$$WL (\%) = 4,57 - 0,073P + 0,161t + 0,003P^2 - 0,001Pt - 0,002t^2 \quad (8)$$

$$WR (\%) = 3,27 - 0,149P + 0,026t + 0,008P^2 - 0,003Pt + 0,0002t^2 \quad (9)$$

Los valores máximos obtenidos para la SG en octavos de naranja impregnados con miel en este trabajo son superiores a los reportados por Mújica-Paz *et al.*, (2003) en mango (1-2%) pero cercanos a lo reportado en

manzana (> 5%) luego del tratamiento de impregnación de estos frutos con solución de sacarosa (50 °Bx), en condiciones de presión de vacío y tiempo de tratamiento dentro del rango ensayado.

Por otra parte, la WL fue cercana a la reportada en mango (8%) y superior que en manzana (valores negativos, indicando ganancia de agua), según lo reportado por estos mismos autores.

De acuerdo con Ashitha y Prince (2018) uno de los parámetros de mayor importancia para el tratamiento de impregnación por vacío, es la fracción porosa (porosidad) de la matriz, porque representa el espacio potencialmente disponible para el ingreso de la solución de impregnación. Además, también es importante la distribución, tamaño y forma de los poros (Zhao y Xie, 2004). Los valores de WL obtenidos en naranja, indican una menor porosidad en comparación con una manzana por lo que ocurre una importante migración del líquido interno hacia la solución externa de impregnación. Por otro lado, la naranja posee una estructura menos fibrosa que el mango, lo que permite una mayor penetración en el tejido de los sólidos presentes en la solución de impregnación.

En lo que respecta a la WR, durante el proceso de IV ocurrió mayor WL correspondiente al agua interna que lo incorporado por los sólidos de la miel de la solución de impregnación, lo que se traduce en una disminución del peso de los octavos de naranja.

Cambios en el color, firmeza, sólidos solubles y pH

Las características iniciales de los octavos de naranja antes de la IV con miel eran: color = $41,4 \pm 2,7$; $27,4 \pm 4,5$ y $77,6 \pm 2,3$ para L^* , C^*_{ab} y h_{ab} , respectivamente; firmeza (N) = $5,8 \pm 1,4$; sólidos solubles (°Brix) = $11,8 \pm 0,3$; pH = $3,6 \pm 0,1$.

Los cambios en el color, firmeza, sólidos solubles y pH en los octavos de naranja, después del tratamiento de IV, se muestran en el cuadro 3. Los valores por debajo del 100% corresponden a una reducción en la respuesta, mientras que arriba de 100% indica un incremento. Los ANOVAs de los modelos propuestos para estas respuestas indicaron que los cambios en luminosidad, firmeza y sólidos solubles, en el día 0 (CL^*_0 , CF_0 y CSS_0 , respectivamente), fueron función de las variables del proceso. Los modelos no mostraron falta de ajuste significativa ($P > 0,05$) y los coeficientes de determinación resultaron aceptables ($R^2 > 70$) (Cuadro 4). Por lo tanto, se aceptaron los modelos predictivos correspondientes. Para las demás respuestas, no fue posible obtener modelos porque ninguna de las dos variables impactó en tales respuestas.

CUADRO 3
Cambios en el color (CL^* , CC^*_{ab} y Ch_{ab}), firmeza (CF), sólidos solubles (CSS) y pH (CpH) de octavos de naranjas IV con SO de miel (50 ° Brix)

Presión (inHg)	Tiempo (min)	i	CL^* (%)	CC^*_{ab} (%)	Ch_{ab} (%)	CF (%)	CSS (%)	CpH (%)
10	28	0	97	112	98	118	144	99
		8	99	111	99	127	150	97
2	28	0	102	114	100	88	146	104
		8	98	101	105	92	143	105
2	14	0	99	108	101	94	139	104
		8	100	109	104	100	141	104
2	42	0	101	88	100	121	147	99
		8	103	124	106	135	130	96
18	28	0	91	99	100	97	141	99
		8	97	117	100	128	143	99
18	42	0	94	102	101	95	155	104
		8	96	100	104	96	154	102
10	14	0	98	100	99	117	133	99
		8	99	108	101	123	134	99
18	14	0	94	106	99	80	141	105
		8	95	106	104	106	140	105
10	28	0	100	105	103	119	142	102
		8	100	121	106	120	138	99
10	42	0	102	126	102	115	145	101
		8	106	133	106	122	141	96,
10	28	0	101	96	100	124	141	99
		8	107	136	107	142	140	99

i, día de almacenamiento (0 u 8)

El modelo CL^*_0 fue afectado por la presión a través de su término lineal (Cuadro 4). Dicho modelo está representado en la figura 2a, donde se puede observar que la luminosidad de los octavos de naranja impregnados disminuye conforme se incrementa la presión de vacío, en comparación con los octavos frescos sin impregnar. A partir del modelo predictivo obtenido para CL^*_0 (ecuación 10), se estimó que es posible mantener la luminosidad de los octavos impregnados en el día 0, similar a la de los octavos sin impregnar ($CL^*_0= 100\%$), al tratarlos con una presión de vacío igual a 8 inHg, durante 31 min.

CUADRO 4
ANOVAs de los modelos propuestos para los cambios en color (CL*, CC*_{ab}, Ch_{ab}), firmeza (CF), sólidos solubles (CSS) y pH (CpH) de octavos de naranjas IV con SO de miel (50 ° Brix)

Fuente	Gl	Suma de cuadrados					
		CL*	CC* _{ab}	Ch _{ab}	CF	CSS	CpH
i = 0 d							
P	1	92,04**	1,82	0,06	160,17	5,61	0,14
t	1	4,51	0,38	2,67	272,03	180,40*	2,41
P ²	1	21,04	74,09	0,18	1346,89*	37,29	12,12
Pxt	1	1,44	64,80	1,56	35,40	11,22	3,61
t ²	1	1,91	5,64	0,47	1,40	0,25	1,38
Falta ajuste	3	10,71	765,09	2,06	536,57	54,30	27,04
Error puro	2	11,25	129,89	9,36	19,05	2,45	4,86
R ²		84,4	13,6	29,7	77,32	80,6	41,9
i = 8 d							
P	1	23,21	20,17	6,41	2,28	77,04	0,14
t	1	17,00	196,08	6,41	95,20	16,00	28,60
P ²	1	45,82	379,02	0,03	661,18	8,77	35,03
Pxt	1	1,10	97,02	1,10	519,84	156,25	5,52
t ²	1	2,04	0,59	1,60	37,65	29,10	0,59
Falta ajuste	3	19,89	464,63	17,78	994,79	55,64	28,13
Error puro	2	33,26	306,11	37,05	246,85	77,42	2,41
R ²		62,2	48,7	22,1	54,0	67,9	69,6

* significativo a P≤0,05; ** significativo a p≤0,01; P: presión de vacío; t: tiempo de tratamiento; Gl: grados de libertad

En el caso de los otros parámetros del color, que no fueron función de las variables del proceso, se estimó un valor promedio dentro del rango experimental ensayado (Cuadro 3) al día 0: CC*_{ab0} = 105% y Ch_{ab0} = 100%, y en el día 8: CL*₈ = 100%, CC*_{ab8} = 115% y Ch_{ab8} = 104%. Estos valores indican que ocurrió un ligero incremento (5%) de la cromaticidad de los octavos impregnados en el día 0, sin cambios en el ángulo de tono. Después del almacenamiento (día 8), la luminosidad es similar a la de los octavos sin impregnar y ocurre un incremento en cromaticidad y tono que se proyectan como un aumento de la vivacidad del color y un tono más amarillo. Estos resultados no están en acuerdo con otros trabajos realizados que muestran reducciones en luminosidad, por efecto de la IV, en rodajas de naranja impregnadas con sacarosa (Cháfer *et al.*, 2008; Jeon y Zhao 2005). Estas diferencias posiblemente se justifiquen por el poder antioxidante de la miel.

En el caso del modelo CF₀, el mismo resultado función de la presión de vacío en su término cuadrático (Cuadro 4). En la figura 2b, se puede observar que la firmeza (F) es superior en los octavos impregnados al usar una presión media (alrededor de 10 inHg), en comparación con los octavos sin impregnar. Pero a presión mínima (2 inHg) y máxima (18 inHg), la F se reduce, principalmente en el tiempo más corto del tratamiento (14 min). Estos resultados son consistentes con lo mencionado por Zhao y Xie (2004), respecto a que la firmeza de un tejido vegetal que puede ser disminuida al impregnarse con una solución hipertónica, debido a la presión ejercida por el fluido sobre la membrana celular.

A partir del modelo predictivo para CF₀ (ecuación 11) se estimó que las condiciones más adecuadas, para mantener la firmeza de los octavos impregnados similar a la de octavos sin impregnar (100%), es una presión de 2 inHg y tiempo de tratamiento de 26 min.

Después del almacenamiento (8d) el valor promedio para CF_8 , dentro del rango experimental (Cuadro 3), fue 117%, indicando que los octavos impregnados y almacenados tienen mayor firmeza que los frescos sin tratar. Al respecto, también otros autores han reportado el incremento de firmeza en octavos de naranja almacenados, atribuyéndolo a la deshidratación superficial debido a la pérdida de agua, durante el almacenamiento (Barrios *et al.*, 2014; Karacay y Ayhan, 2010).

En cuanto al modelo CSS_0 , el mismo fue función del tiempo de tratamiento (Cuadro 4). Su representación en la figura 2c muestra que, en todos los tratamientos de IV, ocurrió un considerable incremento en el contenido de sólidos solubles de los octavos de naranja, siendo superior a mayor tiempo de tratamiento. Mediante el modelo predictivo para CSS_0 (ecuación 12), se estimó un incremento de hasta 153%, al tratar los octavos durante 42 min, con una presión de 18 inHg.

El incremento significativo de sólidos solubles después del tratamiento está justificado por el uso de una solución hipertónica, con una concentración 4 veces superior al contenido de SS de fruta fresca, y por la operación VI que promueve la transferencia de los sólidos presentes en la solución. El comportamiento respecto a esta respuesta es consistente con lo observado en otros estudios de impregnación de frutos (Cháfer *et al.*, 2008; Roble *et al.*, 2011).

Los cambios en sólidos solubles, después del almacenamiento (CSS_8), resultaron en un valor promedio de 141% (dentro del rango experimental, Cuadro 3). Es decir, que después del almacenamiento refrigerado, los octavos impregnados tenían (en promedio) 41% más contenido de sólidos solubles que los octavos frescos sin impregnar.

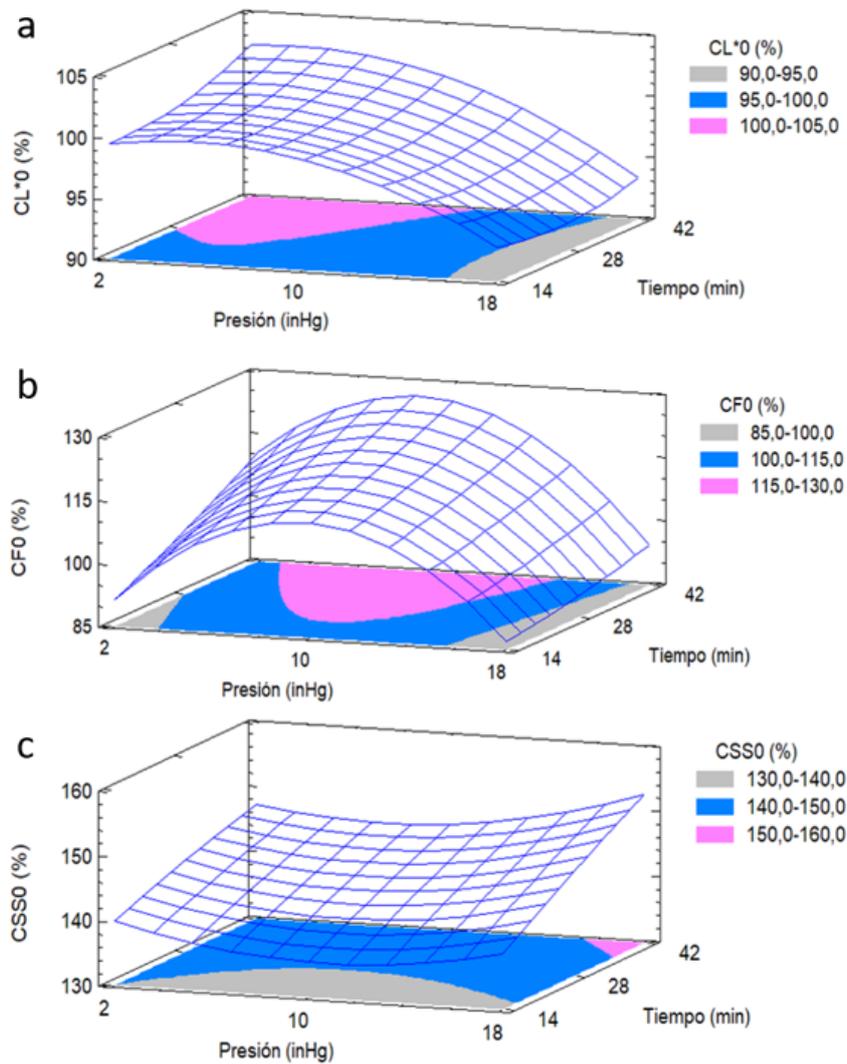


FIGURA 2

Gráfico de superficie y área de contorno para los cambios en luminosidad (a), firmeza (b) y sólidos solubles (c) al día 0 (CL^*_0 , CF_0 y CSS_0 , respectivamente), en función de la presión de vacío y tiempo de tratamiento, de octavos de naranja impregnados a vacío con solución de miel (50 °Brix)

$$CL^*_0 (\%) = 99,69 + 0,561P - 0,133t - 0,045P^2 - 0,005Pt + 0,004t^2 \quad (10)$$

$$CF_0 (\%) = 70,76 + 7,30P + 0,535t - 0,360P^2 - 0,027Pt + 0,004t^2 \quad (11)$$

$$CSS_0 (\%) = 137,96 - 1,50P + 0,332t + 0,060P^2 + 0,015Pt - 0,002t^2 \quad (12)$$

Los cambios en pH al día 0 y 8 del almacenamiento (CpH_0 y CpH_8 , respectivamente) no fueron en función de las variables del proceso y el valor promedio estimado, fue 100 y 101%. Por lo tanto, se puede

asumir que el pH de los octavos impregnados se mantuvo estable después del tratamiento de IV y luego del almacenamiento refrigerado. Resultados similares para octavos de naranja, fueron reportados por Barrios *et al.*, (2014) y Karacay y Ayhan (2010). Esto puede deberse a la capacidad buffer del tejido de la fruta que minimiza las variaciones en pH a medida que varía la acidez.

Basado en los modelos predictivos SG, WL y WR se puede encontrar una región experimental de condiciones operativas que permiten maximizar la ganancia de sólidos de la miel y minimizar la pérdida de agua y peso. A modo de ejemplo, una presión de 14,5 in Hg y un tiempo de tratamiento de 24,8 min permitirán alcanzar una ganancia de sólidos de miel de 4,3%, perdiendo aproximadamente 6,9% de agua y 2,6% de peso. En estas mismas condiciones operativas los cambios predichos en el color, firmeza, sólidos solubles y pH se presentan en el Cuadro 5, demostrando la calidad de naranjas impregnadas que se podría obtener.

CUADRO 5
Cambios predichos en el color (CL*, CC*_{ab} y Ch_{ab}), firmeza (CF), sólidos solubles (CSS) y pH (CpH) de octavos de naranjas IV con SO de miel (50 ° Brix), bajo condiciones de presión de vacío y tiempo de tratamiento igual a 14,5 inHg y 24,8 min

Respuesta (%)	Día 0	Día 8
CL*	96	99
CC* _{ab}	105	116
Ch _{ab}	100	103
CF	107	124
CSS	141	143
CpH	101	100

CONCLUSIONES

La metodología RSM fue adecuada para modelar la ganancia de sólidos, pérdida de agua, reducción de peso y los cambios en la luminosidad, firmeza y sólidos solubles de octavos de naranja impregnados con solución de miel (50 °Brix), dentro del rango de presión (2-18 inHg) y tiempos ensayados (14-42 min).

Los resultados obtenidos demostraron que es posible obtener un producto mínimamente procesado con agregado de miel mediante la tecnología de IV que tiene un gran potencial para la comercialización de un producto diferenciado. Se obtuvo naranjas mínimamente procesadas con características de color y textura similares o mejores que el fruto fresco y con mayor contenido en sólidos solubles. Además, después de 8 días de almacenamiento, se retenía el contenido de sólidos solubles, con apenas algunos cambios en el color.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la UNL (Universidad Nacional del Litoral), ANPCYT (Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica) y CONICET (Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas) de Argentina. Esta investigación recibió apoyo financiero de UNL y ANPCYT a través de los proyectos: UNL CAID 2020 y PICT 2017 N ° 2265, respectivamente. Gladys González González fue apoyada con una beca de doctorado del CONICET.

REFERENCIAS

- Agostini, J. D. S., Scalon, S. D. P. Q., Silva, K. E. D., Lima, F. F. D., Gomes, A. P. E., Leite, M. M. (2013). Physicochemical and microbiological characteristics of minimally processed 'Champagne' oranges (*Citrus reticulata* × *Citrus sinensis*) in different packaging. *Food Science and Technology*, 33(1), 84-92. doi.org/10.1590/S0101-20612013005000018
- Ashitha, G. N., Prince, M. V. (2018). Vacuum Impregnation: Applications in Food Industry. *International Journal of Food and Fermentation Technology*, 8(2), 141-151. DOI: 10.30954/2277-9396.02.2018.3
- Barrios, S., De Aceredo, A., Chao, G., De Armas, V., Ares, G., Martín, y otros dos autores (2014). Passive modified atmosphere packaging extends shelf life of enzymatically and vacuum - peeled ready - to - eat valencia orange segments. *Journal of Food Quality*, 37(2), 135-147. https://doi.org/10.1111/jfq.12074
- Cajka, T., Hajslova, J., Pudil, F., Ridelova, K. (2009). Traceability of honey origin based on volatiles pattern processing by artificial neural networks. *Journal of Chromatography A*, 1216(9), 1458-1462. https://doi.org/10.1016/j.chroma.-2008.12.066
- Cháfer, M., Perez, S., Vargas, M., Chiralt, A. (2008). Stability and quality of minimally processed orange slices. *Journal of Food Processing and Preservation*, 32(2), 319-334. doi.org/10.1111/j.1745-4549.2008.00181.x
- Jeon, M., Zhao, Y. (2005). Honey in combination with vacuum impregnation to prevent enzymatic browning of fresh-cut apples. *International Journal of Food Science and Nutrition*, 56(3), 165-176.
- Karacay, E., Ayhan, Z. (2010). Microbial, physical, chemical and sensory qualities of minimally processed and modified atmosphere packaged "ready to eat" orange segments. *International Journal of Food Properties*, 13(5), 960-971.
- Montgomery, D.C. (2013), *Design and Analysis of Experiments*, John Wiley and Sons Publishers, New York.
- Mújica-Paz, H., Valdez-Fragoso, A., López-Malo, A., Palou, E. and Welti-Chanes, J. (2003), "Impregnation and osmotic dehydration of some fruits: Effect of the vacuum pressure and syrup concentration", *Journal of Food Engineering*, Vol. 57 No. 4, pp. 305-314. https://doi.org/10.1016/S0260-8774(02)00344-8
- Piagentini, A. M., Pirovani, M. E. (2017). Total phenolics content, antioxidant capacity, physicochemical attributes, and browning susceptibility of different apple cultivars for minimal processing. *International Journal of Fruit Science*, 17(1), 102-116.
- Plaza, L., Crespo, I., de Pascual-Teresa, S., de Ancos, B., Sánchez-Moreno, C., Muñoz, M., Cano, M. P. (2011). Impact of minimal processing on orange bioactive compounds during refrigerated storage. *Food Chemistry*, 124(2), 646-651. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.06.089
- Rapisarda, P., Bianco, M. L., Pannuzzo, P., Timpanaro, N. (2008). Effect of cold storage on vitamin C, phenolics and antioxidant activity of five orange genotypes [*Citrus sinensis* (L.) Osbeck]. *Postharvest Biology and Technology*, 49(3), 348-354. https://doi.org/10.1016/j.-postharvbio.2008.02.002
- Rößle, C., Brunton, N., Gormley, T. R., Butler, F. (2011). Quality and antioxidant capacity of fresh - cut apple wedges enriched with honey by vacuum impregnation. *International Journal of Food Science & Technology*, 46(3), 626-634.
- Verma, V. C. (2017). Vacuum impregnation: Emerging technology for osmotic dehydration and value addition in fruits and vegetables products. *Journal of Postharvest Technology*, 5(4), 01-09. http://jpht.info/index.php/jpht/article/viewFile/20357/9890
- Zhao, Y., Xie, J. (2004). Practical applications of vacuum impregnation in fruit and vegetable processing. *Trends in Food Science and Technology*, 15(9), 434-451. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2004.01.008