

EVALUACIÓN DEL PROCESO DE IMPREGNACIÓN AL VACÍO CON CALCIO, HIERRO Y ZINC EN RODAJAS DE PIÑA (*Ananás comusus L.*) cv ESPAÑOLA ROJA*

EVALUATION PROCESS OF VACUUM IMPREGNATION WITH CALCIUM, IRON AND ZINC IN SLICES OF PINEAPPLE (*Ananás comusus L.*) cv SPANISH RED

¹Ysabel Cristina Urbina Moreno y Juan Fernandez Molina².

¹Ing. Agroindustrial, MSc. Ingeniería Agroindustrial. Departamento de Control de Calidad y Análisis de Agua. Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales “Ezequiel Zamora” Unellez – San Carlos, Venezuela. e-mail: urbinaisabel1975hotmail.com.
e-mail: tonnygarcia@ucla.edu.ve

²PhD. Engineering Science (Washington State University), Profesor Titular (J), Tutor Académico, adscrito al Programa Ciencias del Agro y del Mar, Vicerrectorado de Infraestructura y Procesos Industriales, UNELLEZ-San Carlos, estado Cojedes, Venezuela. e-mail: jfermol@gmail.com

*Tesis de Maestría del Área de Postgrado de UNELLEZ-San Carlos

Recibido: 26-09-2009 / Aceptado: 22-02-2010

RESUMEN

Se desarrolló un producto a base de piña mínimamente procesado, utilizando técnica de impregnación a vacío para incorporar soluciones con hierro, calcio y zinc. El diseño experimental utilizado fue un Diseño Compuesto Central Cúbico + Estrella, para estudiar el efecto de 2 factores ($K = 2$) (Tiempo de impregnación en minutos, y presión de vacío en mmHg y 5 niveles de experimentación, con un alfa de ortogonalidad ($\alpha = 1,07809$), con 10 tratamientos diferentes y 2 repeticiones, generado con el software Statgraphics plus V.5.2. Las muestras de piña de la variedad “Española roja”, del sector EL Rodeo, vía Buenos Aires, Finca “San José”, municipio autónomo Nirgua, estado Yaracuy fueron rebanadas, sumergidas en la solución y colocadas en un equipo de vacío, variando las condiciones de tiempo de impregnación y presión de vacío, para lo cual se utilizaron rangos de tiempo de impregnación de 1,5 - 5,0 minutos y presión de vacío entre 170–650 mmHg. Se empacaron en bolsas de polietileno y se sellaron a vacío, cada tratamiento fue duplicado, almacenados a temperatura ambiente y analizada físico-química y microbiológicamente por 30 días. Los datos obtenidos permitieron generar modelos de predicción y se obtuvo los dos tratamientos óptimos a aplicar. La co-optimización predijo que bajo condiciones de $X_1 = 5$ minutos y $X_2 = 650$ mmHg se logró la máxima absorción de los minerales

hierro, calcio y zinc por las rodajas de piña, con niveles de 4,98 minutos de tiempo de impregnación y 602 mmHg de presión de impregnación, se obtiene la combinación óptima operativa que permitió obtener un producto con las siguientes características: concentración de calcio 465,967 mg, hierro 0,998 mg y zinc 0,314 mg. Los tratamientos aplicados a los frutos tuvieron efectos altamente significativos sobre las respuestas estudiadas. Los modelos matemáticos planteados explican a la respuesta indicada en los porcentajes 99,80; 92,38 y 93,80% para calcio, hierro y zinc, respectivamente y el resto de la predicción puede deberse a factores que no fueron considerados dentro de la investigación. Se comprobó que es factible realizar la optimización multirespuesta de la absorción de los minerales hierro, calcio y zinc.

Palabras clave: *mínimamente procesado, deshidratación osmótica y alimentos funcionales.*

SUMMARY

A product developed based on pineapple minimally treated, using vacuum impregnation technology to incorporate solutions into iron, calcium and zinc. The design used was a composite central cubic to study the effect of two factors ($K = 2$), time of

impregnation in minutes, and vacuum pressure in mmHg with 5 experimental levels and an alfa for orthogonality (α) = 1,07809, ten different treatments and 2 repetitions generated with the software Statgraphics plus V.5.2. Pineapple samples of the variety “Española Roja” from the sector “El Rodeo” Buenos Aires Route, Farm “San Jose”, Autonomous municipality of Nirgua, Yaracuy State were used. The pineapple samples were sliced and immersed in the solution and placed in the vacuum equipment, changing the conditions of time of impregnation and vacuum pressure for which ranges of time of 1,5-5,0 minutes and pressure 170-650 mmHg were used. The impregnated slices were packed in polyethylene bags and vacuum sealed, every treatment was duplicated, stored to ambient temperature and analyzed physicochemical and microbiologically for 30 days. The data gathered was used to generate prediction models and two optimal treatments to apply were obtained. The co-optimization predicted that under the conditions of $X_1 = 5$ minutes and $X_2 = 650$ mmHg there was achieved the maximum absorption of the minerals iron, calcium and zinc by the sliced pineapple samples; the ideal operative combination that allows to obtain a product with the following characteristics: Concentration of calcium 465,967 mg, iron 0,998 mg, and zinc 0,314 mg was achieved with levels of 4,98 minutes of impregnation time and 602 mmHg of vacuum pressure. The treatments applied to the fruits showed highly significant effects on the studied responses. The mathematical models explained the variability of the indicated responses with the percentages of 99,80; 92,38 and 93,80% for calcium, iron and zinc respectively and the rest of the prediction can be due to factors that were not considered in the investigation. It is necessary to use the combination of time of impregnation and higher vacuum pressure in order to increase the absorption of the minerals iron, calcium and zinc in the sliced pineapple samples, there was verified that it is feasible to perform the multi-response co-optimization technique for the absorption of the minerals iron, calcium and zinc.

Keywords: *minimally tried, osmotic dehydration and Functional Foods.*

INTRODUCCIÓN

La industria alimentaria utiliza como un enfoque emergente en el contexto del procesamiento mínimo de alimentos y el desarrollo, de los llamados “alimentos funcionales”, mediante la incorporación de compuestos fisiológicamente activos (CFA) como microorganismos benéficos, vitaminas, minerales, dentro de la estructura porosa de frutas a través de procesos de impregnación o películas comestibles a fin de proveer beneficios adicionales a la salud del consumidor. La selección de la piña como matriz porosa para la incorporación de hierro, calcio y zinc, obedece a las características nutricionales de esta fruta y los beneficios que la misma aporta al consumidor. La elaboración de alimentos funcionales permite obtener productos de alta calidad, innovadores, con un elevado valor nutritivo y seguros, proporcionándole al consumidor beneficios adicionales a su salud y bienestar. Además, con la utilización de la piña, se logra incentivar a la región Cojedaña a aumentar el interés de los agricultores a nivel regional y nacional con respecto a este rubro, se crean fuentes de trabajo mejorando el nivel de vida de la población y se generan fuentes de ingresos significativos para la misma, además, éste podría ser un nuevo producto con miras de exportación. El propósito de esta investigación fue la adición de hierro, calcio y zinc en rodajas de piña, mediante la técnica de impregnación a vacío.

MATERIALES Y MÉTODOS

La población de la investigación consistió en piñas de la variedad “Española roja” adquiridas en el sector EL Rodeo, vía Buenos Aires, Finca “San José”, municipio autónomo Nirgua, estado Yaracuy, se seleccionaron los frutos con características similares de forma, tamaño y color, considerados como aptos para su consumo. Una vez que las piñas fueron trasladadas hasta el laboratorio de Análisis y Control de Calidad de Agua, ubicado en el laboratorio de Ingeniería y Tecnología de Alimentos (LITA) de La Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales “Ezequiel Zamora” Unellez, San Carlos-Cojedes. Se realizó lavado por inmersión con agua clorada a temperatura de 25–30°C, para eliminar residuos de suciedad, impurezas y flora microbiana externa. Posteriormente se les retiró la concha y la

corona manualmente. Las piñas se cortaron en rodajas y se les extrajo el corazón. Seguidamente se realizó el proceso de impregnación a vacío colocando las unidades experimentales con la solución de impregnación (ácido ascórbico, ácido cítrico, azúcar, sulfato ferroso, acetato de zinc, cloruro de calcio y sal) en un desecador plástico al cual se le conectó la bomba de vacío, donde las condiciones de impregnación (tiempo y presión) se manipularon en base a las características óptimas de la fruta. Las rodajas impregnadas, se envasaron en bolsas plásticas a vacío de 1 Kg y se almacenaron a temperatura ambiente. Por último se practicó la evaluación de calidad fisicoquímica, microbiológica y contenido de compuestos fisiológicamente activos: calcio, hierro y zinc.

Mohos y Levaduras ufc/g: se procedió según la norma A 192 COVENIN (Fondonorma) 1337-90.

Actividad de Agua (a_w): Se utilizó un equipo Aqualab Modelo CX-2, donde la determinación es directa.

Acidez Iónica (pH): Se procedió según la norma A-83 COVENIN 1315-79 (Fondonorma).

Sólidos Solubles (°Brix): Se determinó utilizando el método de la AOAC (1996) N° 932.12.

Acidez Titulable: Se procedió según la norma F3 COVENIN 1157-77 (Fondonorma).

Concentración de Calcio: Se determinó según la norma COVENIN 1158 – 82 (Fondonorma).

Concentración de Hierro y Zinc: Se determinó por absorción atómica, método 975.03 (Sullivan y Carpenter, 1993).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización fisicoquímica y microbiológica de la piña cv Española Roja.

Los resultados obtenidos de la caracterización físico-química y microbiológica de las rodajas de piña fresca se muestran el Cuadro 1.

Cuadro 1. Caracterización Fisicoquímica de las rodajas de piña fresca.

Parámetro	Referencia	Resultado
Acidez Titulable (%)	COVENIN 1157-77	0,035
Potencial de Hidrógeno pH.	COVENIN 11315-79	4,000
Sólidos Solubles, °Brix.	AOAC N° 932.12 1990	6,000
Actividad de Agua, a _w .	Aqualab CX-2	0,991
Mohos y Levaduras (ufc/ml)	COVENIN 1337-90	2,110
Hierro (mg)/100 g.	Absorción Atómica	0,510
Calcio (mg)/100 g.	Absorción Atómica	420,000
Zinc (mg)/100 g.	Absorción Atómica	0,1500

En el Cuadro 1, se observa que la piña utilizada como materia prima posee un alto contenido de hierro, calcio y zinc, con respecto a lo indicado por la FAO (2001). Es un producto rico en sólidos solubles, con pH ácido, a_w elevada, característica de esta fruta y acidez titulable adecuada dentro de los valores indicados por la FAO (2001). Los recuentos de hongos y levaduras están por debajo del rango establecido en la Norma COVENIN 1337-90, es decir < 10 ufc/g.

Tratamiento	Repetición	Hierro	Calcio	Zinc	pH	°BRIX	ACIDEZ	a _w	M y L
1	1	1,601	1000	0,700	3,580	11,000	0,0447	0,983	1,079
	2	1,599	999	0,710	3,570	11,000	0,0448	0,983	0,903
2	1	1,422	933	0,352	3,530	12,100	0,0518	0,965	1,447
	2	1,420	930	0,350	3,540	12,000	0,0552	0,965	1,491
3	1	1,013	581	0,294	3,500	13,900	0,0551	0,963	0,903
	2	1,009	580	0,291	3,490	13,900	0,0552	0,963	0,845
4	1	1,101	590	0,290	3,700	11,000	0,0441	0,973	1,447
	2	1,099	590	0,290	3,700	11,000	0,0441	0,973	1,431
5	1	0,923	530	0,275	3,210	13,100	0,0587	0,963	1,301
	2	0,920	528	0,270	3,200	13,100	0,0587	0,963	1,255
6	1	0,654	488	0,157	3,420	10,000	0,0484	0,981	1,301
	2	0,662	486	0,160	3,400	10,000	0,0483	0,981	1,230
7	1	1,353	590	0,300	3,100	12,000	0,0518	0,987	1,041
	2	1,350	592	0,302	3,100	12,000	0,0518	0,987	1,079
8	1	1,407	659	0,320	3,920	9,200	0,0442	0,985	2,267
	2	1,410	660	0,314	3,900	9,200	0,0441	0,985	2,267
9	1	0,870	491	0,230	3,110	12,200	0,0620	0,958	0,845
	2	0,865	490	0,228	3,100	12,200	0,0621	0,958	0,778
10	1	0,890	491	0,250	3,090	12,800	0,0622	0,963	1,838
	2	0,888	490	0,240	3,100	12,800	0,0621	0,963	1,845

Análisis fisicoquímico y microbiológico rodajas de piña impregnadas a vacío

Los análisis fisicoquímicos: contenido de acidez, sólidos solubles, pH, a_w, hierro, calcio, zinc y el conteo microbiano de mohos y levaduras se muestran en el Cuadro 2, los resultados son el promedio de cuatro determinaciones.

En el cuadro 2, se observa los rangos de acidez titulable con valores entre 0,0441-0,0622%, indicando un incremento de ésta con respecto a la materia prima sin impregnar (0,035%), lo cual es lógico de

esperar puesto que las soluciones aportaban gran cantidad de ácido a partir del ácido cítrico y el ácido ascórbico.

Cuadro 2. Caracterización del producto terminado.

En relación al pH, hubo una disminución considerable con respecto a la fruta fresca, la cual inicialmente presentó valores de pH de 4,00 unidades, una vez impregnada la fruta el pH disminuyó entre 3,09-3,70 unidades. Los sólidos solubles totales o Brix, se incrementaron de 6,00% en la fruta fresca hasta un rango de 9,200-13,900% durante el proceso de impregnación debido al azúcar aportado por la solución, mientras que la actividad de agua estuvo entre 0,958-0,983 en relación con la fruta fresca ($a_w = 0,991$), esto debido a la acción depresora de la solución azucarada. Los resultados de pH, actividad de agua y sólidos solubles totales indican que los productos obtenidos mínimamente procesados a base de piña se encuentran en el grupo de alta humedad autoestables (Welti *et al.*, 2000). Además, se observa una absorción considerable de los componentes hierro (0,662-1,601 mg), calcio (486-1000) y zinc (0,24-0,71) en las muestras impregnadas con relación a las muestras frescas, indicando así, la efectividad del tratamiento aplicado. Se encontraron recuentos de mohos y levaduras por debajo de 10 ufc/g tal como lo indica Norma COVENIN 1337-90.

Análisis de varianza

El Cuadro 3 muestra un resumen del grado de significancia de cada efecto o término del modelo poblacional para las respuestas “Calcio”, “Hierro” y “Zinc”. Se visualiza que existe efecto altamente significativo en los tratamientos. Así mismo se observa la implicación sobre los cambios lineales y cuadráticos de cada respuesta por efecto de los factores tiempo y presión de impregnación. Las repeticiones fueron no significativas, indicando baja variabilidad entre tratamientos, y precisa que no era necesario realizar estas mediciones, sin embargo, son necesarias para el cálculo del error experimental.

Cuadro 3. Resumen de los ANAVAR para las respuestas estudiadas.

Fuente de Variación	Calcio	Hierro	Zinc
Tratamientos	**	**	**
Regresión	**	**	**
Tiempo impregnación (X_1)	**	**	**
Presión impregnación (X_2)	**	**	**
X_1^2	**	**	*
X_2^2	**	*	**
$X_1 * X_2$	**	**	**
Repetición	ns	ns	ns

** : Altamente significativa ($p < 0,01$), * : Significativo ($p < 0,05$), n.s.: No significativo.

El resumen de los coeficientes estimados para cada modelo poblacional de las respuestas medidas se presenta en el Cuadro 4. Se observa que el factor tiempo de impregnación (X_1) y la presión de impregnación (X_2) disminuyen de manera lineal la concentración de calcio en las rodajas de piña, es decir por cada aumento de una unidad en el tiempo y la presión se provoca una disminución de “calcio”, a razón de: 289,018 y 0,138 unidades, respectivamente; contrario efecto causa en la respuesta hierro, que se incrementó en el orden de 0,391 y 0,002 por cada incremento del tiempo y presión en el proceso de impregnación. Al observar los valores estimados de zinc por efecto del tiempo y presión de impregnación se encontró que éstos disminuyeron al aumentar la presión de vacío y tiempo de impregnación. La interacción entre el tiempo y la presión de impregnación (β_{12}) presenta valores positivos, indicando una tendencia a incrementar todas las respuestas, es decir existe un efecto sinérgico altamente significativo al combinar estos factores.

Cuadro 4. Resumen de los coeficientes estimados del modelo poblacional planteado, para las respuestas estudiadas.

COEFICIENTE ESTIMADO	Calcio	Hierro	Zinc
β_0	595,939**	-0,541**	0,199**
β_1	-289,018**	0,391**	0,035**
β_2	-0,138**	0,002**	-0,001**
β_{11}	23,098**	-0,066**	-0,011**
β_{22}	-7,29e-5**	-2,11e-7**	1,19e-7**
β_{12}	0,361**	3,46e-5**	1,73e-5**

Como se observa en el Cuadro 5, el modelo cuadrático ajustó los datos de las respuestas estudiadas, con coeficientes de determinación en el rango de 0,9238-0,9980; en el rango de presión y tiempo de impregnación considerados.

Cuadro 5. Modelos lineales múltiples cuadráticos con interacciones de primer orden para las respuestas calcio, hierro y zinc.

Res- puesta	MODELO	R ²
Calcio	$595,939 - 289,018 * X_1 - 0,138 * X_2 + 23,098 * X_1^2 - 7,3e-5 * X_2^2 + 0,361 * X_1 * X_2$	0,9980
Hierro	$-0,541 + 0,391 * X_1 + 0,002 * X_2 - 0,066 * X_1^2 - 2,11e-7 * X_2^2 + 3,46e-5 * X_1 * X_2$	0,9238
Zinc	$0,199 + 0,035 * X_1 - 0,001 * X_2 - 0,011 * X_1^2 + 1,19e-7 * X_2^2 + 1,73e-5 * X_1 * X_2$	0,9380

Análisis de las superficies de respuesta de las variables

En la Figura 1, se observa un comportamiento de silla de caballo, indicando esto que un factor incrementa la respuesta y que simultáneamente el otro la reduce. El máximo operativo de calcio en las rodajas de piña fue de 450 mg, el cual se logró con un tiempo de impregnación de 5 minutos y presión de vacío aproximada de 650 mmHg.

En las Figuras 2 y 3 se presentan las superficies de respuesta y contornos del modelo estimado para la respuesta hierro, respectivamente. Se observa la existencia de una silla de caballo, indicando que a presiones elevadas y tiempos de impregnación cercanos a los 5 minutos se incrementa la concentración de hierro a valores cercanos a 1 mg, efecto contrario se logra cuando la presión de trabajo estaba alrededor de 170 mmHg. La Figura 3, indica que con valores de presión y tiempo en el rango de 530-650 mmHg y 4-5 minutos de impregnación, se lograron concentraciones de hierro en las rodajas de piña entre 0,96–1,08 mg.

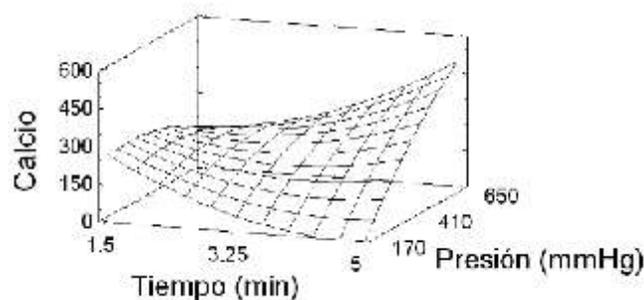


Figura 1. Superficie de respuesta estimada para la concentración de calcio en rodajas de

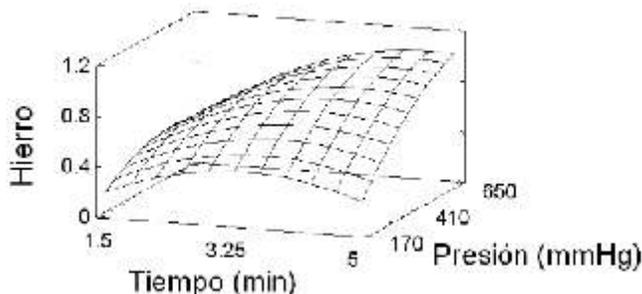


Figura 2. Superficie de respuesta estimada para la concentración de hierro en rodajas de piña.

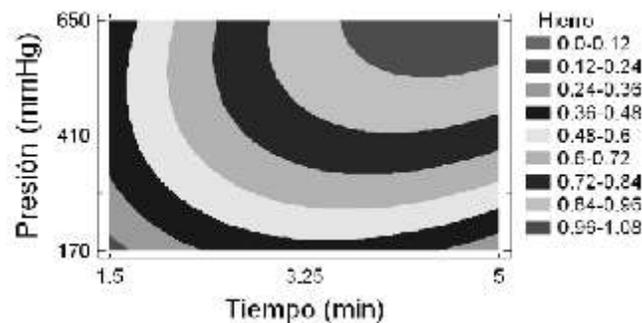


Figura 3. Superficie de contorno estimada para la concentración de hierro en rodajas de piña.

En la Figura 4, se muestra la silla invertida resultante de la combinación de los factores tiempo y presión de impregnación sobre la concentración de zinc impregnado. Indicando que la concentración de zinc se incrementó a presiones altas de trabajo (650 mmHg) y tiempo máximo de impregnación de 5 min.

En la figura 5 se muestra la superficie de contornos estimada para zinc, se observa una región con un área mínima, donde a presiones de 650 mmHg y tiempo de impregnación cercanos a los 5 min, las concentraciones de zinc están en el rango de 0,35–0,40 mg. Estos valores son cercanos al punto axial del diseño, lo cual demuestra que se debe trabajar con tiempos y presiones mayores para establecer una región óptima verdadera.

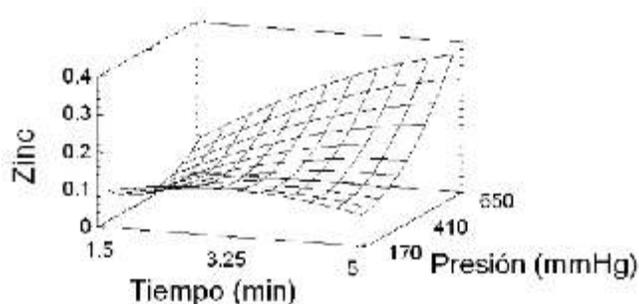


Figura 4. Superficie de respuesta estimada para la concentración de zinc en rodajas de piña.

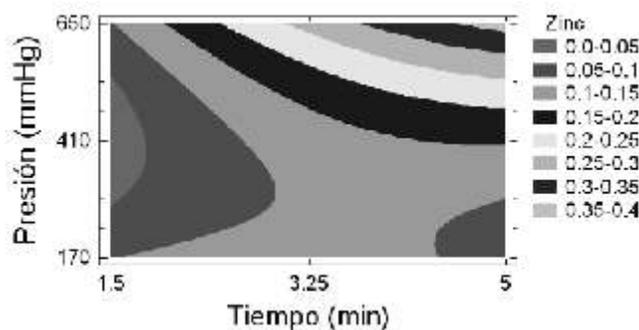


Figura 5. Superficie de contorno estimada para la concentración de zinc en rodajas de piña.

Los resultados obtenidos en la impregnación de las rodas de piña son semejantes a los en encontrados por Rojas (2009), quien aplicó la técnica de co-optimización en ensalada de frutas impregnada al vacío con componentes fisiológicamente activos que, resultaron de la combinación de tiempo 2,89 min – presión 459 mmHg, para obtener un potencial alimento funcional con las siguientes características: ácido ascórbico 260,22 mg , calcio 595,03 mg, pH 2,84, ° Brix 29,08, acidez titulable 0,029 %, y a_w 0,968 y contajes de hongos y levaduras por de debajo de 10 ufc/g. Guillent (2008) empleó la técnica de impregnación al vacío en cambur “Manzano” procedente del sector Mango Redondo, obteniendo un producto con las siguientes características: 0,68% de acidez titulable, 68,59% contenido de humedad, 4,5 de pH, 0,96 a_w , 25,6 % sólidos solubles, 0,054 % calcio, 14,88 mg/100g de ácido ascórbico y color L, a, b igual a 71,5; 4,8 y 23,7 respectivamente, contajes de aerobios mesófilos de 7×10^2 ufc/g, hongos y levaduras < 10 ufc/g.

En la figura 6, se muestran los perfiles de predicción (maximización y minimización) con niveles

óptimos de 4,98 minutos de tiempo de impregnación (X_1) y 602 mmHg de presión de vacío (X_2), con estos valores se obtuvieron las combinaciones óptimas operativas que permitieron obtener un alimento funcional con las siguientes características: concentración de calcio 465,967 mg, hierro 0,998 mg y zinc 0,314 mg y una deseabilidad de 0,9892 en un rango de 0-1.

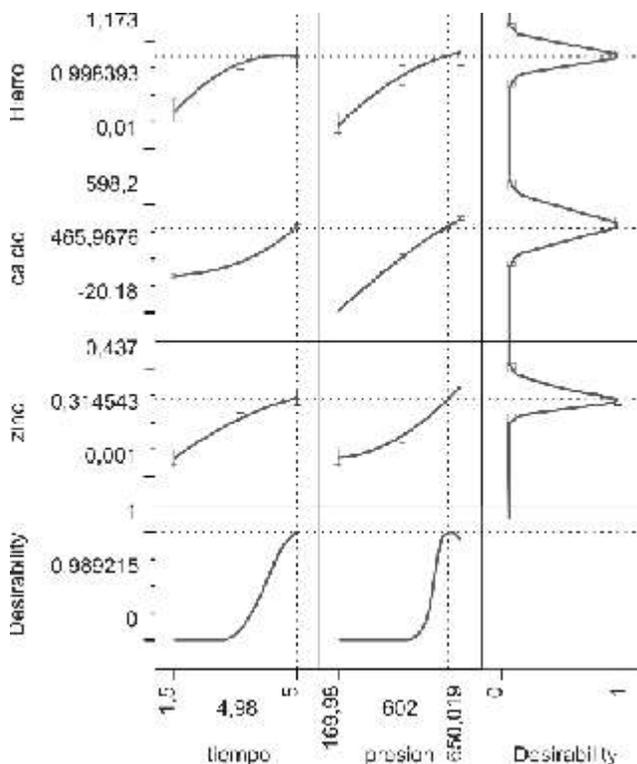


Figura 6. Perfil de predicción dinámico multirespuestas y multifactor experimental.

CONCLUSIONES

- Los tratamientos aplicados a los frutos de piña experimentaron efectos altamente significativos sobre las respuestas estudiadas.
- Los modelos matemáticos predichos explican la variabilidad de las respuestas estudiadas con coeficientes de determinación en el orden de 99,80; 92,38 y 93,80%, respectivamente, y el resto de la predicción puede deberse a factores que no fueron considerados dentro de la investigación.
- La co-optimización de las variables tiempo de impregnación igual a 4,98 minutos y presión de vacío de 602 mmHg permitió obtener un ali-

mento funcional con concentraciones de calcio de 465,967 mg, hierro 0,998 mg y zinc 0,314 mg con una deseabilidad de 0,989 en un rango de 0-1.

- Se recomienda utilizar combinaciones de tiempos de impregnación mayores a 5 min y presiones de vacío superiores a 600 mmHg para incrementar la absorción de los minerales hierro, calcio y zinc en las rodajas de piña.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AOAC-Oficial Methods of Analysis of the Association of Oficial Analytical Chemists. 1996. Editada por Kenneth Heldrich, 15ª edición, Virginia-USA.
- FAO Organización de las naciones unidas para la agricultura y La alimentación, 2001. Tablas de composición de alimentos; Anales de la organización.
- Guillent G. 2008. *Desarrollo de Cambur "manzano"* (Musa Sp (L), AAB) mínimamente procesado con impregnación a vacío de componentes fisiológicamente activos (Calcio y Ácido Ascórbico). Tesis de Maestría, UNELLEZ-San Carlos, Estado Cojedes, Venezuela.
- Normas Venezolanas COVENIN 1315, año 1979.
- Normas Venezolanas COVENIN N° 1315, año 1979.
- Normas Venezolanas COVENIN N° 1337, año 1979.
- Normas Venezolanas COVENIN N° 1158, año 1982.
- Rojas P. 2009. *"Obtención y evaluación de la calidad de una ensalada de frutas mínimamente procesada enriquecida con componentes fisiológicamente activos (vitamina c y calcio), mediante técnicas de impregnación a vacío"*. Tesis de Maestría, UNELLEZ-San Carlos, Estado Cojedes, Venezuela.
- Sullivan, D.M., Carpenter, D.E. 1993. *Methods of Analysis for Nutritional Labeling*, AOAC International, Arlington, Virginia, USA.
- Welti J., Wesche P., López A., Argaiz A. 2000. *Manual de Operaciones para la elaboración de productos hortofrutícolas de alta humedad mediante procesamiento mínimo y métodos combinados*. Sistema regional de Investigación. Universidad de las América-Puebla. México.