



INSTITUTO DE INGENIERÍA DE
ALIMENTOS PARA EL DESARROLLO

ELABORACIÓN DE PRODUCTOS FUNCIONALES DE MANZANA (var. Granny Smith) ENRIQUECIDA CON ALOE VERA

MASTER EN CIENCIA E INGENIERÍA DE LOS ALIMENTOS

Beatriz Carpetano Rubio

María Luisa Gras Romero

Daniel Vidal Brotóns

Instituto de Ingeniería de Alimentos para el Desarrollo

ELABORACIÓN DE PRODUCTOS FUNCIONALES DE MANZANA (var. Granny Smith) ENRIQUECIDA CON ALOE VERA.

Carpetano, B.; Gras, M.L.; Vidal, D

RESUMEN

El interés por los alimentos funcionales y su consumo han aumentado notablemente en los últimos años. Por otro lado, el A. vera y sus extractos poseen numerosas propiedades beneficiosas para la salud y el bienestar. Con vistas a ampliar la gama de los alimentos funcionales disponibles en el mercado, este trabajo forma parte de un estudio cuyo objetivo es la fabricación de un producto gomoso (tipo snack), a partir de manzana, enriquecido en aloe vera, estable a temperatura ambiente. Las técnicas utilizadas han sido la impregnación a vacío (IV), la deshidratación osmótica (DO) y el secado por aire caliente (SAC). Para la IV y la DO se han empleado disoluciones acuosas de sacarosa de 55 °Brix adicionadas o no de pectina (2%) y/o aloe vera (3%). La IV de cilindros de manzana Granny Smith ha consistido en 10 minutos a baja presión (50 mbar) seguidos de 1 ó 3 h de DO a presión atmosférica a 30 o a 50 °C y 9 h de SAC a 60°C. Se han obtenido productos con humedad entre 25 y 60% y a_w entre 0,68 y 0,72. Se observa la presencia de una pequeña capa gomosa en la superficie de las muestras, en el caso de los tratamientos con pectina. La presencia de aloe vera en las disoluciones apenas afecta a las características físico-químicas de las muestras de producto de manzana obtenidas.

PALABRAS CLAVE: manzana, deshidratación osmótica, impregnación a vacío, aloe vera

RESUM

L'interés pels aliments funcionals i el seu consum han augmentat notablement en els últims anys. D'altra banda, l'àloe vera i els seus extractes posseïxen nombroses propietats beneficioses per a la salut i el benestar. Amb vista a ampliar la gamma dels aliments funcionals disponibles en el mercat, aquest treball forma part d'un estudi, l'objectiu del qual és la fabricació d'un producte gomós (tipus *snack*), a partir de poma, enriquit en àloe vera, estable a temperatura ambient. Les tècniques utilitzades han sigut la impregnació a buit (IB), la deshidratació osmòtica (DO) i l'assecat per aire calent (AAC). Per a la IB i la DO s'han empleat dissolucions aquoses de sacarosa de 55 °Brix adicionades o no de pectina (2%) i/o àloe vera (3%). La IB de cilindres de poma Granny Smith a consistit en 10 minuts a baixa pressió (50 mbar) seguits d'1 o 3 h de DO a pressió atmosfèrica a 30 o a 50 °C i 9 h de SAC a 60°C. S'han obtingut productes amb humitat entre 25 i 60% i a_w entre 0,68 i 0,72. S'observa la presència d'una xicoteta capa gomosa en la superfície de les mostres, en el cas dels tractaments amb pectina. La presència d'àloe vera en les dissolucions a penes afecta les

característiques fisicoquímiques de les mostres de producte de poma obtingudes.

PARAULES CLAU: poma, impregnació a buit, deshidratació osmòtica, àloe vera

ABSTRACT

The interest for functional foods and their consumption has increased in the last years. On the other hand, Aloe vera and its extracts have many beneficial properties for the health and wellness. With a view to extending the range of functional foods available in the market, this work is a part of a study whose objective is the manufacture of a gummy product (snack type), from apple, enriched with aloe vera, stable at room temperature. The techniques used have been vacuum impregnation (VI), osmotic dehydration (OD) and hot air drying (HAD). For VI and OD, aqueous solutions of sucrose (55 Brix) have been used, with or without pectin (2%) and/or aloe vera (3%). The VI of apple (Granny Smith var.) cylinders has consisted in 10 minutes at low pressure (50 mbar) followed by 1 or 3 hours of DO at atmospheric pressure, at 30 or 50°C, and 9 h of HAD at 60°C. Products have been obtained with moisture content between 25 and 60% and aw between 0,68 and 0,72. The presence of a small gummy layer is observed on the samples surfaces, in case of treatments with pectin. The presence of aloe vera in the dissolutions doesn't affect the physicochemical characteristics of the obtained apple products samples.

KEYWORDS: Apple, osmotic dehydration, vacuum impregnation, aloe vera

INTRODUCCIÓN

Un alimento funcional se define como "cualquier alimento o ingrediente alimentario que proporciona un beneficio para la salud más allá de los nutrientes tradicionales que contiene" (Mazza, 1998).

En la actualidad, el factor más contribuyente para la salud es la dieta (Cathro e Hilliam, 1993). Por ello, el consumo de alimentos funcionales ha aumentado de forma notoria en los últimos años. Debido al reciente interés por parte de la población hacia estos nuevos productos, la industria alimentaria ha centrado sus investigaciones principales en el desarrollo de estos alimentos que promueven la salud y el bienestar (Klaenhammer y Kullen, 1999).

En varias de estas investigaciones, el aloe vera ha sido uno de los protagonistas, ya que se le atribuye el concepto de planta milagro por sus características curativas. Un total de 360 especies están creciendo en las regiones secas de América del Norte, Europa y Asia. La mayoría de los extractos de A. vera poseen muchas actividades biológicas, tales como anti-inflamatoria, antioxidante, anticancerígena, para la lucha de la diabetes o la activación de los macrófagos (Grover et al., 2002; Krishnan, 2006; Xiao et al., 2007; Xu et al., 2008).

La deshidratación osmótica (DO) es una técnica bien conocida, que consigue eliminar agua de los alimentos con estructura celular mediante su inmersión directa en disoluciones hipertónicas. Por otro lado, con la impregnación a vacío (IV) se incorporan solutos en las matrices celulares de los alimentos sólidos porosos, sobre todo en frutas y hortalizas.

Cuando se realiza un tratamiento conjunto (IV+DO), se consigue una mayor eficacia y rapidez en la operación, al poner en contacto con la disolución externa hipertónica las paredes celulares del interior de la pieza de alimento, aumentando de forma más o menos importante (en función de la porosidad del producto y de su respuesta a la IV) la superficie de intercambio, tanto para la salida de agua y solutos del interior de la matriz como para la incorporación de solutos procedentes de la disolución hipertónica de impregnación.

La IV se ha venido aplicando para aumentar la eficacia de las operaciones tradicionales de salado de queso, jamones, confitado de frutas, y también como una forma para introducir productos solubles en agua (cloruro de calcio, cloruro de sodio, ácido ascórbico), emulsiones (vitaminas liposolubles), microorganismos (*S. cerevisiae*, *L. casei* o *A. niger*) y compuestos naturales complejos (zumos con alto contenido en flavonoides, extractos de aloe, etc) en productos como manzanas (var. Granny Smith y Dark Delicious), pomelo, zanahorias, berenjenas y setas de cardo (Barrera, et al., 2008; Betoret et al., 2003; Blanda, et al., 2007; Contreras, et al., 2004; Gras, et al., 2002; Guillemin, et al., 2008; Moraga, et al., 2008,) consiguiendo que el alimento no pierda sus características estructurales y que esté mínimamente procesado,

Además del carácter funcional del alimento, siguen siendo fundamentales sus características texturales y de estabilidad para poder satisfacer las demandas de los consumidores en cuanto a su seguridad, funcionalidad y características organolépticas, especialmente su textura, pues al tratarse de un producto estable de contenido en humedad reducido, es necesario

obtener un producto cuyas características faciliten la ingesta, en especial si está pensado para el consumo por grupos con ciertos problemas de salud, de gustos más limitados (niños, ancianos, etc)

La IV también puede ser un vehículo adecuado para modificar la microestructura del producto y con ello sus características texturales macroscópicas entre otras.

En este trabajo, el objetivo es obtener un producto estable, funcional y de estructura gomosa (tipo gominola-pasta de fruta) pero que mantenga todavía su estructura natural y pueda identificarse como un producto de fruta. Se plantea lograrlo mediante IV+DO con una disolución de impregnación hipertónica que contenga, además de un ingrediente funcional, un gelificante que pueda interactuar con las paredes y membranas celulares tanto del exterior, como del interior del trozo de tejido vegetal, consiguiendo de esta forma modificar el comportamiento de las mismas, frente a las operaciones posteriores y en último caso llegando a cambiar las propiedades texturales del producto. En la figura 1 se muestra el diagrama de flujo del proceso.

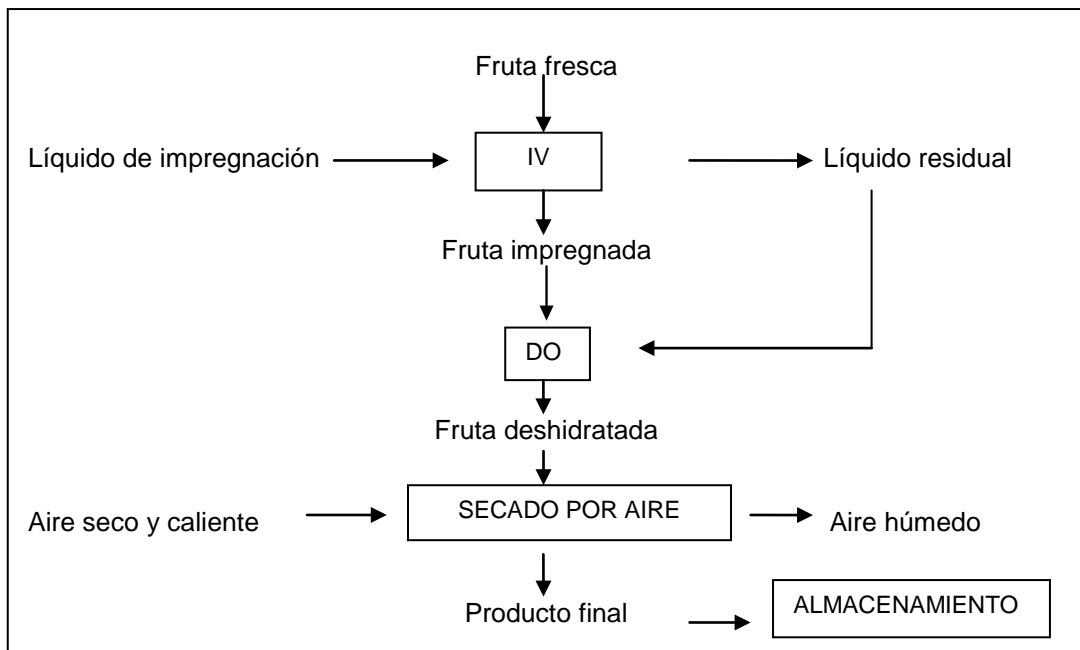


FIGURA 1. Diagrama de flujo del proceso.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materia prima: el estudio se realizó con manzanas (var. *Granny Smith*) compradas en un mercado local, homogéneas en tamaño, forma, madurez y grado de frescura. Las muestras se almacenaron en refrigeración.

Preparación de las muestras: de la parte central de la manzana, correspondiente al tejido parenquimático (figura 2) y con la ayuda de un sacabocados se obtuvieron de cada manzana 5 cilindros (30 mm de altura y 17 mm de diámetro) y 10 para cada experimento, elegidos aleatoriamente.

Disoluciones de impregnación: se utilizó sacarosa (grado de azúcar en los alimentos comerciales) que se mezcló con agua destilada caliente (30 y 50°C controlados), hasta su disolución total para conseguir una disolución

osmótica de 55°Brix. Para las disoluciones con pectina se añadió además un 2% en peso de pectina comercial de alto metóxilo. El aloe utilizado (*Aloe barbadensis*) fue un extracto seco y pulverizado, exento de aloína, con una humedad del 8% y pH 3,5-8 suministrado por TerryLabs (Melbourne, FL, USA).

Impregnación a vacío: siguiendo el procedimiento habitual (Salvatori et al., 1998), el tratamiento fue de 10 minutos a vacío (a 50 mm de Hg de presión) + 10 minutos a presión atmosférica. Se trabajó con una relación fruta/disolución de 1:10, teniendo en cuenta que posteriormente las muestras continuarían un proceso de DO. Se impregnó con cada una de las disoluciones estudiadas a 30 y a 50 °C, determinando en su caso los parámetros característicos de la IV (impregnaciones y deformaciones).

Deshidratación osmótica: las muestras se dejaron sumergidas sin agitación con dos tiempos de estudio (1 y 3 horas) y a dos temperaturas controladas (30 y 50 °C). Las muestras impregnadas y deshidratadas osmóticamente con una disolución con aloe sin pectina, se introdujeron después del proceso de IV+DO en un baño con un 2% de pectina en peso durante 15 minutos.

Secado por aire caliente: tras la operación de IV+DO, las muestras se secaron en un secador de placas de temperatura, velocidad del aire y potencia controladas. Se registró la variación de peso de 3 muestras de cilindros manzana de cada tratamiento hasta llegar a una humedad final del 20%.

Determinaciones analíticas: se realizaron medidas, tanto de muestras de manzana trituradas (fresca y después de los diferentes tratamientos) como de las disoluciones de impregnación.

En las muestras de manzana se realizaron análisis de humedad, volumen, peso, a_w , pH, densidad y °Brix y para las disoluciones de impregnación se hicieron de a_w , pH, densidad, ° Brix y viscosidad.

Las medidas de humedad se realizaron de acuerdo con el método oficial 20.013 de secado en estufa para frutas ricas en azúcar (AOAC, 1980). Las medidas de sólidos solubles se realizaron con refractómetro (ABBE ATAGO, 89553) a temperatura constante de 20°C. El pH se determinó directamente con un pHmetro (Mettler Toledo InLab) con electrolito de polímero XEROLYT. El peso se controló en todo el proceso con una balanza analítica METTLER PJ 3600 Delta Range con sensibilidad 0,01g. La a_w se midió entre 24 y 26°C, con un higrómetro de punto de rocío (DECAGÓN modelo Aqualab CX-2, $\pm 0,003$), previamente calibrado con una disolución salina saturada de referencia K_2SO_4 de a_w de 0,974 a 25°C. Para el cálculo de la densidad se usó un picnómetro y el método AOAC 942.06. La viscosidad aparente se midió con un reómetro de cilindros concéntricos (Rheolab MC1 Physca).

El contenido de ácido málico sólo se determinó en las muestras finales impregnadas con aloe vera, mediante un test de análisis enzimático del L-malic acid por medición de la luz UV a 340nm en disoluciones de manzana. Para ello se las muestras se trituraron (10 g) y se llevaron a una matraz aforado de 100 ml con agua bidestilada a 60°C. El contenido del matraz se filtró. El filtrado se mezcló con las cantidades necesarias de los reactivos del test y se llevaron a medición en un espectrofotómetro a 340nm El ácido málico es abundante en el aloe vera (Bozzi, et al., 2007) por ser una planta crasulácea de metabolismo ácido, y es un dato necesario para poder,

posteriormente, cuantificar la concentración de aloe vera alcanzada en los productos impregnados.

Ensayos mecánicos: para las pruebas mecánicas se utilizó un analizador de textura (XT2, estable Micro Systems). Se realizaron ensayos de compresión hasta un 20% de deformación con una velocidad de 2 mm/s sobre las muestras cilíndricas de manzana a 25 °C, reposadas 24 horas desde la operación IV+DO. A partir de las curvas fuerza de compresión (F_t)-desplazamiento del émbolo (h_t) se calculó (Pollack y Peleg, 1980) la tensión verdadera (σ_t) y la deformación de Hencky (ϵ_H). La curva tensión verdadera (σ_t) – deformación de Hencky ($\epsilon_H(t)$) puede presentar un tramo inicial recto, cuyo extremo final permite determinar la tensión límite, σ_L , y la deformación límite, ϵ_{HL} . La pendiente de este tramo recto recibe el nombre de módulo de deformabilidad. Al final de los ensayos mecánicos, se determinó el peso de 4 de las muestras y se comparó con su valor inicial.

Fotografías: se seccionaron las muestras de manzana en láminas de 1mm para ser observadas con una lupa estereoscópica con fuente de luz fría y ajuste de intensidad, acoplada a un ordenador que capturaba las imágenes.

Análisis estadístico: el tratamiento estadístico se llevó a cabo con el programa informático *STATGRAPHICS Plus 5.1* para Windows. Se realizó un análisis de la varianza (ANOVA) para ver si los factores controlados, (presencia de pectina en la disolución de IV+DO, temperatura de la operación de IV+DO y tiempo de DO) ejercen efectos significativos sobre los parámetros analizados.

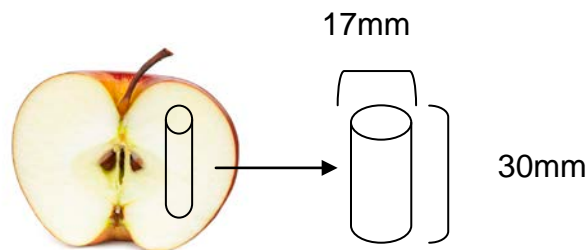


FIGURA 2. Obtención de muestras de manzana

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. DISOLUCIONES DE IMPREGNACIÓN UTILIZADAS

No se han encontrado en la bibliografía propiedades fisicoquímicas de disoluciones acuosas de aloe vera. Para disponer de datos sobre los que basar la formulación de una disolución de impregnación a vacío, se prepararon disoluciones acuosas con 4 concentraciones distintas en aloe vera (3, 5, 10 y 20%), y se determinaron algunas de sus características (Tabla 1).

TABLA 1. Características físico-químicas de disoluciones acuosas de aloe vera.

Contenido en aloe vera (%)	°Brix	Densidad (g/cm ³) (a 25°C)	a _w (a 25 °C)	Parámetros Reológicos (*) (a 20°C)
3	2,67±0,06	1,0132±0,0004	0,990±0,003	μ = 1,46 mPa·s
5	4,53±0,06	1,0232±0,004	0,982±0,003	μ = 1,99 mPa·s
10	8,77±0,06	1,046±0,002	0,981±0,004	μ = 4,51 mPa·s
20	16,6±0,3	1,086±0,003	0,969±0,003	m = 0,839 / n = 0,357

*Datos facilitados por Sanzana (Tesis doctoral en realización).

La concentración en aloe vera elegida ha sido la menor de todas (3%), para evitar un aumento excesivo de la viscosidad, que probablemente dificultaría la entrada de disolución en el interior de la estructura porosa de las muestras de manzana.

La composición de las disoluciones de impregnación utilizadas se muestra en la Tabla 2. El contenido en sacarosa elegido es habitualmente utilizado en estudios de deshidratación osmótica de frutas. La presencia de pectina en las disoluciones modifica sensiblemente su comportamiento reológico; por ello se ha decidido no pasar de un 2% de pectina, en esta primera fase del estudio global, al haber comprobado en experiencias exploratorias que es así posible conferir cierta textura gomosa a las muestras de manzana sometidas a IV+DO y posterior secado con aire caliente.

TABLA 2. Composición (inicial) de las disoluciones de impregnación.

Disolución	Sacarosa (g/l)	Pectina (g/l)	Aloe (g/l)
1 (S)	1.222,2	0	0
2 (S+P)	1.222,2	20	0
3 (S+P+A)	1.222.2	20	30
4 (S+A)	1.222.2	0	30

Las características de las disoluciones de impregnación se recogen en la Tabla 3.

TABLA 3. Características físico-químicas de las disoluciones de impregnación antes del tratamiento de IV+DO.

Disolución	1 (S)	2 (S+P)
° Brix	55,0±0,12	55,0±0,12
Densidad (g/cm ³)	1,260±0,0002	1,2608±0,0005
a _w	0,920±0,003	0,933±0,003
pH	6,7±0,14	5,05±0,015
Parámetros reológicos	μ absoluta (mPa·s) 6,801±0,002 _a 3,265±0,002 _b	Ley potencial (m / n) dato no determinado _a m=22,3±0,6 n=0,273±0,005 _b

Disolución	4 (S+A)	3 (S+P+A)
^o Brix	56,7±0,2	56,67±0,06
ρ (g/cm ³)	1,272±0,002	1,274±0,002
a_w	0,920±0,003	0,933±0,003
pH	4,00±0,015	4,00±0,015
Parámetros reológicos	μ absoluta (mPa·s)	Ley potencial (m / n)
	7,724±0,002 _a	0,881±0,007 / 0,591±0,002 _a
	3,518±0,003 _b	0,347±0,002 / 0,703±0,002 _b

a: medido a 30°C. b: medido a 50°C

Los efectos más notables de la adición de pectina a una disolución de sacarosa son la reducción del pH y la modificación del comportamiento reológico, que pasa de newtoniano a pseudoplástico. La a_w aumenta ligeramente. Cuando la pectina se añade a una disolución de sacarosa y aloe vera, se provoca el mismo cambio en el comportamiento reológico y en la a_w , pero no cambia el pH, ya que la adición de aloe vera ya ha causado una disminución importante del pH.

La adición de aloe vera incrementa ligeramente el contenido en sólidos solubles (^oBrix) y la densidad, y reduce el pH. El efecto sobre el comportamiento reológico es más difícil de apreciar: la viscosidad absoluta aumenta ligeramente, y el carácter pseudoplástico parece acentuarse (n disminuye).

La IV+DO con disoluciones que contengan aloe vera se realizó una vez elegidas las condiciones de trabajo más adecuadas (temperatura y duración de la DO). Por ello, la Tabla 4 sólo muestra las características de las disoluciones 1 (S) y 2 (S+P) después del tratamiento de IV+DO de muestras de manzana. Estas determinaciones permiten estudiar la viabilidad de la reutilización de las disoluciones de impregnación.

Los datos de la Tabla 4 permiten comprobar el efecto de la duración de la DO posterior a la IV, y de la temperatura de trabajo. La comparación con los valores de la Tabla 3 permite evaluar el efecto de la IV y de la 1ª hora de DO sobre las propiedades de la disolución de impregnación. La interpretación de algunos efectos se facilita con la Tabla 5, que describe los fenómenos de impregnación y deformación de las muestras de manzana durante la IV. Estos datos serán comentados más adelante.

En las condiciones de trabajo (relación fruta: disolución 1:10), los cambios son en general de poca magnitud cuando las disoluciones contienen pectina: se produce una ligera reducción de la a_w , asociada a un pequeño aumento de los sólidos solubles (^oBrix). Para las disoluciones sin pectina destaca la disminución del pH, (de 6,7 a menos de 5). La IV produce una importante salida de líquido nativo de la manzana (Tabla 5, valores de X1), cuyo pH (Tabla 6) es bastante bajo (en torno a 3,4).

En cuanto a la reología, la IV+DO a 30°C no afecta prácticamente al comportamiento de las disoluciones 1 (S), pero sí lo hace el tratamiento realizado a 50°C: se produce una disminución importante de la viscosidad absoluta. Este hecho requiere determinaciones adicionales para su interpretación. Es posible que la combinación de un pH relativamente bajo y una temperatura relativamente elevada causen cierto grado de hidrólisis en la sacarosa. Para las disoluciones con pectina, se produce una marcada reducción de la consistencia (parámetro m de la ley potencial) y un incremento del índice de comportamiento al flujo (parámetro n de la ley

potencial), es decir una disminución de la viscosidad aparente y del carácter pseudoplástico.

2. COMPORTAMIENTO DE LAS MUESTRAS DE MANZANA DURANTE LA IMPREGNACIÓN A VACÍO

Para analizar mejor la naturaleza de los cambios que experimenta el producto durante las distintas operaciones a las que se somete, se estudió el comportamiento de las muestras de manzana durante la IV con las diferentes disoluciones utilizadas y a las temperaturas de trabajo correspondientes.

Los resultados se recogen en la Tabla 5. Hay que tener en cuenta que, puesto que las disoluciones de impregnación no son isotónicas con el material vegetal, los flujos de materia (agua y solutos) no se deben solamente al mecanismo hidrodinámico sino también a fenómenos osmóticos, lo que puede llegar a afectar al sentido físico de los parámetros característicos de la IV descritos por Salvatori et al., (1998).

TABLA 5. Impregnaciones (X) deformaciones (γ) y porosidad efectiva de las muestras de manzana sometidas a IV (valores en % respecto del volumen inicial de la muestra)

Tratamiento	X ₁	X ₂	X _{real}	γ_1	$\gamma_2 - \gamma_1$	γ_2	Porosidad efectiva
30°C							
S(1)	-19±2	-9±2	10±1	2±1	17±1	18±2	29±2
S+P(2)	-19±2	-15±5	4±4	3±4	13±2	10±6	17±7
S+A(4)	-16±3	-17±3	9±1	2±1	15±1	17±1	26±1
S+P+A (3)	-18±1	-11±2	7±2	5±1	12±2	16±2	19,±1
50°C							
S (1)	-19±4	-8±2	11±2	3±3	13±3	13±3	25±3
S+P (2)	-31±5	-16±2	15±5	2±1	1±2	3±4	16±7
S+A (4)	-18±2	-10±1	8±2	1±1	16±4	17±4	26±4
S+P+A (3)	-22±1	-15±2	7±2	5±3	12±2	17±2	21±3

S: sacarosa P: pectina A: Aloe vera.
 subíndice 1: al final de la etapa de vacío
 subíndice 2: al final del proceso de IV

La pérdida de líquido nativo durante la etapa a vacío (X₁) es importante en todos los casos, si bien a 50°C es del orden de un 60% mayor cuando la disolución de impregnación contiene pectina (X₁=31%) que cuando sólo contiene sacarosa (X₁=19%). Durante la etapa a presión atmosférica, la entrada de disolución externa en las muestras de manzana (X_{real}) no llega nunca a compensar el volumen de líquido nativo perdido, como señalan los valores negativos de X₂. La mayor ganancia de disolución externa (X_{real}=15%) se da a 50°C con la disolución que contiene pectina. Con estos valores, es posible pensar en utilizar la IV para elaborar un alimento funcional enriquecido en aloe vera.

TABLA 4. Propiedades físico-químicas de las disoluciones 1 (S) y 2 (S+P) después del tratamiento de IV+DO de las muestras de manzana

Disolución	1 (S)			
	30°C		50°C	
Temperatura trabajo (°C)				
Tiempo DO (h)	1	3	1	3
° Brix	55,3±0,15	55,7±0,5	55,2±0,3	56,6±0,6
Densidad (g/cm ³)	1.261,6±0,000.3	1.264,9±0,000.2	1.264±0,002	1.260,8±0,000.3
a _w	0,916±0,003	0,912±0,003	0,916±0,003	0,907±0,003
pH	4,957±0,006	4,933±0,006	4,94±0,01	4,35±0,012
Viscosidad absoluta μ (mPa-s)	7,114±0,002 _a 3,342±0,002 _b	6,993±0,003 _a 3,313±0,002 _b	3,343±0,002 _a 2,928±0,003 _b	3,313±0,002 _a 3,738±0,002 _b
Disolución	2 (S+P)			
Temperatura trabajo (°C)	30°C		50°C	
Tiempo DO (h)	1	3	1	3
° Brix	55,1±0,15	56,1±0,4	55,1±0,6	55,63±0,06
Densidad (g/cm ³)	1,266±0,004	1,274±0,005	1,25±0,02	1,25±0,02
a _w	0,933±0,006	0,921±0,003	0,922±0,003	0,927±0,003
pH	4,78±0,03	4,80±0,015	5,01±0,017	4,88±0,017
Consistencia m (Pa) e índice de comportamiento al flujo n	m=32,4±0,2 / n=0,2479±0,0009 _a m=36,9±0,3 / n=0,199±0,002 _b	m=21,8±0,2 / n=0,271±0,002 _a m=28,0±1,7 / n=0,11±0,01 _b	m=1,527±0,010 / n=0,5298±0,0013 _a m=0,748±0,007 / n=0,585±0,002 _b	m=0,596±0,003 / n=0,6458±0,0008 _a m=0,286±0,003 / n=0,683±0,002 _b

a: medido a 30°C. b: medido a 50°C

Durante la etapa a vacío, las muestras experimentan pequeños aumentos de volumen (γ_1), a pesar de la salida de líquido nativo. El aumento de volumen es mucho mayor durante la etapa a presión atmosférica ($\gamma_2-\gamma_1$), con la entrada de disolución externa, de modo que el volumen final es hasta un 18% mayor que el inicial. Las dilataciones son mayores a 30 que a 50°C, y también cuando las disoluciones de impregnación no contienen pectina.

3. EFECTOS DE LAS OPERACIONES DE IV+DO Y DE SECADO POR AIRE CALIENTE SOBRE ALGUNAS CARACTERÍSTICAS DE LAS MUESTRAS DE MANZANA

3.1. Efecto de la IV+DO sobre propiedades físico-químicas de la manzana

La Tabla 6 recoge los resultados de la caracterización fisicoquímica de las muestras de manzana fresca o impregnada, respectivamente, en las condiciones ensayadas, respectivamente.

TABLA 6. Caracterización de manzana Granny Smith fresca o sometida a IV+DO en distintas condiciones.

Manzana Fresca				
°Brix	12,5± 0,2			
ρ (g/cm ³)	0,854 ±0,008			
a_w	0,985±0,003			
pH	3,4 ±0,2			
Humedad (g agua/g fruta)	0,86±0,011			
Manzana sometida a IV+DO con disolución 1 (S)				
T (°C)	30°C		50°C	
Tiempo DO (h)	1	3	1	3
° Brix	26,1 ±0,2	31,17 ±0,15	28,33 ±0,15	36,1 ±0,2
ρ (g/cm ³)	1,112 ±0,008	1,141 ±0,003	1,117 ±0,004	1,171 ±0,009
a_w	0,974 ±0,003	0,961 ±0,003	0,964 ±0,003	0,951 ±0,003
pH	3,383 ±0,006	3,403 ±0,004	3,373 ±0,006	3,376 ±0,011
Humedad (g agua/ g fruta)	0,645 ±0,007	0,711 ±0,007	0,69 ±0,02	0,568 ±0,008
Manzana sometida a IV+DO con disolución 2 (S+P)				
T (°C)	30°C		50°C	
Tiempo DO (h)	1	3	1	3
° Brix	21,47 ±0,06	24,3 ±0,2	22,4 ±0,2	28,6 ±0,2
ρ (g/cm ³)	1,04 ±0,03	1,11 ±0,02	1,093 ±0,007	1,107 ±0,007
a_w	0,973 ±0,003	0,972 ±0,003	0,976 ±0,003	0,968 ±0,003
pH	3,403 ±0,006	3,393 ±0,006	3,273 ±0,006	3,393 ±0,006
Humedad (g agua/ g fruta)	0,765 ±0,011	0,747 ±0,003	0,74 ±0,02	0,687 ±0,005

Como cabía esperar la IV+DO reduce la humedad de las muestras de manzana (figura 3). Para tratamientos de 1h de duración, este efecto es menos acusado cuando las disoluciones de impregnación contienen pectina, y, además, la presencia de pectina invierte el efecto de la temperatura: para las disoluciones con pectina, las muestras se deshidratan más a 50 que a 30°C; mientras que para las disoluciones sin pectina ocurre lo contrario. También en general, la deshidratación aumenta con el tiempo de tratamiento y con la temperatura de trabajo. La mayor deshidratación (humedad final 56,8%) se ha obtenido con una IV+DO a 50°C, durante 3 h, con una disolución sin pectina. Los datos obtenidos para las muestras impregnadas a 30°C, durante 3 h, utilizando una disolución sin pectina, deberían ser comprobados con experiencias adicionales.

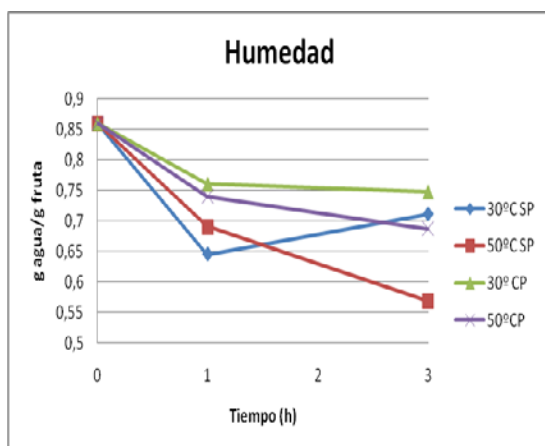


FIGURA 3. Evolución del contenido de humedad en función del tiempo de DO (1 y 3h), siendo tiempo=0 la muestra fresca.

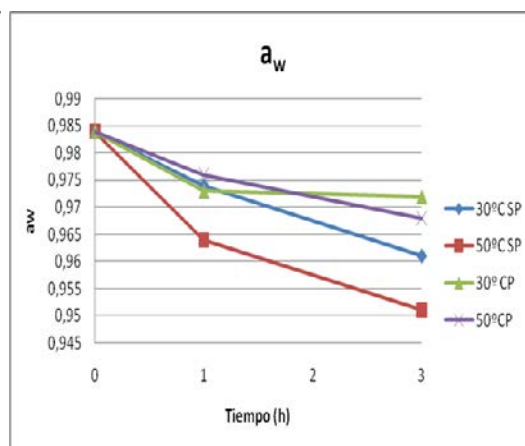


FIGURA 4. Evolución de la a_w en función del tiempo de DO (1 y 3h), siendo tiempo=0 la muestra fresca.

La a_w de las muestras disminuye conforme aumenta el tiempo de tratamiento (figura 4). Para las disoluciones sin pectina, el aumento de la temperatura de trabajo favorece la reducción de la a_w . Para las disoluciones con pectina, el efecto de la temperatura es prácticamente nulo. Los datos de la Tabla 4 también permiten llegar a otras conclusiones. El contenido en sólidos solubles (Brix) de las muestras aumenta con el tiempo de tratamiento y con la temperatura de trabajo. Ese aumento es menor cuando las disoluciones contienen pectina. En cuanto a la densidad de las muestras, ésta aumenta marcadamente durante la primera hora de tratamiento por IV+DO, y muy poco durante las 2 h siguientes, sin que influyan apenas la temperatura de trabajo y la presencia de pectina. La única variación (reducción) apreciable de pH se produce cuando las muestras se someten a IV+DO a 50°C utilizando disoluciones con pectina. Esto es probablemente debido tanto al menor pH de la disolución con pectina como al mayor porcentaje de impregnación que se produce a esa temperatura. Las figuras 5, 6 y 7 muestran las fotografías (realizadas con lupa), de las muestras de manzana impregnadas y tras el tratamiento de IV+DO y secado. Se puede observar la presencia de una pequeña capa gomosa de características

diferentes al resto de la muestra en la superficie de las muestras deshidratadas por aire caliente, en el caso de los tratamiento con pectina, bien en la disolución de IV+DO como en un baño previo al secado. Esto podría deberse a un proceso de gelificación favorecido por el azúcar presente en medio ácido y la acción de la temperatura del aire de secado.

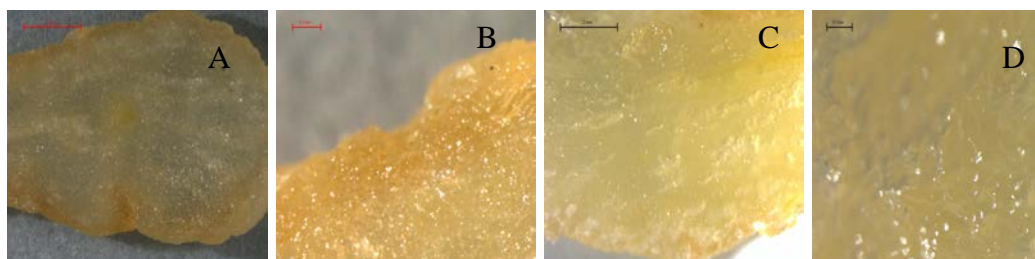


FIGURA 5: Tratamiento 1(sin pectina). Fotos A (r.08x) y B (r.40x) con 1 hora de DO y fotos C (r.08x) y D (r.40x) con 3 horas de DO, ambas a 30°C

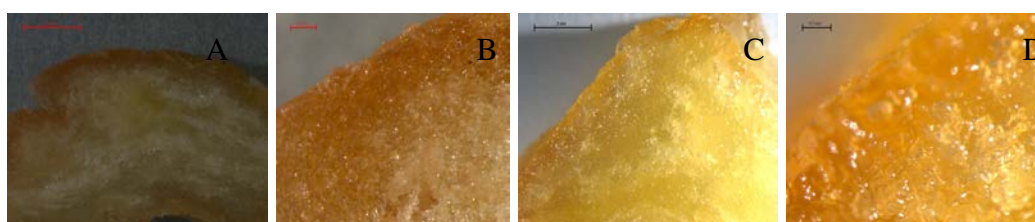


FIGURA 6: Tratamiento 1 y baño de pectina. Fotos A (r.08x) y B (r.40x) con 1 hora de DO y fotos C (r.08x) y D (r.40x) con 3 horas de DO, ambas a 30°C

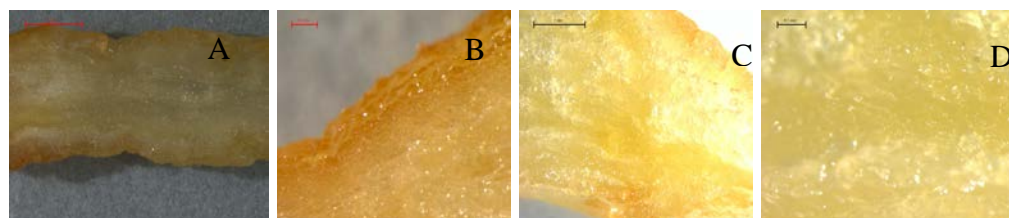


FIGURA 7: Tratamiento 2 (con pectina). Fotos A (r.08x) y B (r.40x) con 1 hora de DO y fotos C (r.08x) y D (r.40x) con 3 horas de DO, ambas a 30°C

3.2. Efecto de la IV+DO sobre el peso y las dimensiones de las muestras de manzana.

La Tabla 7 recoge las variaciones (en %) en peso, altura y diámetro experimentadas por las muestras de manzana sometidas a IV+DO. Para analizar el efecto de las condiciones de trabajo sobre los resultados obtenidos, se aplicó un ANOVA con 3 factores controlados: presencia o ausencia de pectina en la disolución de IV+DO, temperatura de trabajo (30 o 50°C), la duración de la DO (1 o 3 h).

TABLA 7. Variaciones (en %) en peso, altura y diámetro de las muestras de manzana sometidas a IV+DO.

Disolución IV+DO	Δ Peso (%)	Δ Altura (%)	Δ Diámetro (%)
1 (S) 30°C 1h	-0 \pm 4	-7 \pm 1,6	-8 \pm 1,4
1 (S) 30°C 3h	1 \pm 5	-7 \pm 1,4	-9 \pm 1,2
1 (S) 50°C 1h	-2 \pm 1,4	-9 \pm 3	-11 \pm 3
1 (S) 50°C 3h	-13 \pm 7	-16 \pm 3	-15 \pm 3
2 (S+P) 30°C 1h	-4 \pm 1,7	-3 \pm 1,3	-8 \pm 2
2 (S+P) 30°C 3h	-15 \pm 3	-10 \pm 1,7	-15 \pm 4
2 (S+P) 50°C 1h	-5 \pm 1,2	-7 \pm 1,0	-8 \pm 4
2 (S+P) 50°C 3h	-17 \pm 2	-15 \pm 1,3	-13 \pm 1,9

En cuanto al peso, las variaciones han oscilado entre un “aumento” (no significativo) del 1 \pm 5%, con 3 h a 30°C con la disolución 1(S), y una disminución del 17 \pm 2%, con 3 h a 50°C con la disolución 2 (S+P). El ANOVA detecta que la variación de peso de las muestras se ve afectada por los 3 factores controlados. En promedio:

- la pérdida de peso es 3 veces mayor con pectina que sin pectina, debido a que la presencia de pectina en la disolución reduce la ganancia de solutos.
- la pérdida de peso es el doble a 50°C que a 30°C.
- al cabo de 3 h se multiplica por 4 la pérdida de peso respecto a 1 h.

Aunque la operación de IV produce un aumento del volumen de las muestras de manzana (Tabla 5), la DO posterior provoca su encogimiento: hasta un 15% en altura y diámetro, con 3 h a 50°C con la disolución 1 (S). El ANOVA detecta que la variación de tamaño (diámetro y/o altura) se debe sobre todo al efecto de la duración de la DO (1 o 3 h), y que existen interacciones significativas entre los 3 factores. La altura de las muestras disminuye en casi todos los tratamientos. En promedio:

- el efecto del tiempo es más acusado si hay pectina.
- tanto a 30°C como a 50°C, al cabo de 3 h se encoge el doble que a 1 h, mientras que, tanto al cabo de 1 h como de 3 h, a 50°C se encoge el doble que a 30°C. Es decir: pasar de 1 a 3 h de DO tiene el mismo efecto que pasar de 30 a 50°C de temperatura de DO.
- a 30°C, se reduce más el diámetro que la altura; en cambio, a 50°C las reducciones son similares.
- salvo a 50°C durante 3 h, el diámetro se reduce más que la altura.

3.3. Efecto de la IV+DO sobre algunas propiedades mecánicas de las muestras de manzana.

En la Tabla 8 se recoge el efecto de la presencia de pectina en la disolución de impregnación, de la temperatura de trabajo y del tiempo de deshidratación osmótica de las operaciones de IV+DO sobre la tensión límite (σ_L), la deformación límite (ε_{HL}) y sobre el módulo de deformabilidad (E_d).

TABLA 8. Efecto de la presencia de pectina en la disolución de impregnación, de la temperatura de trabajo y del tiempo de deshidratación osmótica) de la operación de IV+DO sobre algunas características texturales de las muestras.

Disolución	Tensión límite $\sigma_L \cdot 10^{-4}(\text{Pa})$	Deformación Límite ε_{HL}	Módulo de deformabilidad $E_d \cdot 10^{-4} (\text{Pa})$
1 (S) 30°C 1h	0,46±0,12	0,043±0,006	16,3±5,9
1 (S) 30°C 3h	0,32±0,06	0,046±0,012	12,8±4,5
1 (S) 50°C 1h	0,32±0,04	0,051±0,007	10,5±1,8
1 (S) 50°C 3h	0,24±0,14	0,046±0,007	9,9±3,1
2 (S+P) 30°C 1h	0,35±0,09	0,049±0,008	12,9±2,5
2 (S+P) 30°C 3h	0,29±0,13	0,05±0,01	11,4±2,9
2 (S+P) 50°C 1h	0,31±0,09	0,049±0,008	10,3±2,7
2 (S+P) 50°C 3h	03,0±0,08	0,055±0,009	8,8±3,5
FRESCA	0,15±0,04	0,04±0,01	6,08±0,88

Un ANOVA con 3 factores controlados permitió llegar a las siguientes conclusiones:

Ni la presencia o ausencia de pectina ni la duración de la DO influyen sobre ninguno de los parámetros estudiados.

La temperatura de trabajo es el único factor que tiene un efecto significativo, (al 95% de probabilidad) sobre algunos de los parámetros texturales en concreto sobre el módulo de deformabilidad ($13,35 \pm 0,66$ y $9,87 \pm 0,65 \cdot 10^{-4}$ Pa a 30 y 50°C respectivamente) y sobre la deformación límite ($0,046 \pm 0,001$ y $0,050 \pm 0,001$ a 30 y 50°C respectivamente). No se ha detectado ninguna interacción entre los factores.

A partir de las curvas tensión verdadera- deformación de Hencky (figura 8) se obtuvieron los valores recogidos en la Tabla 8.

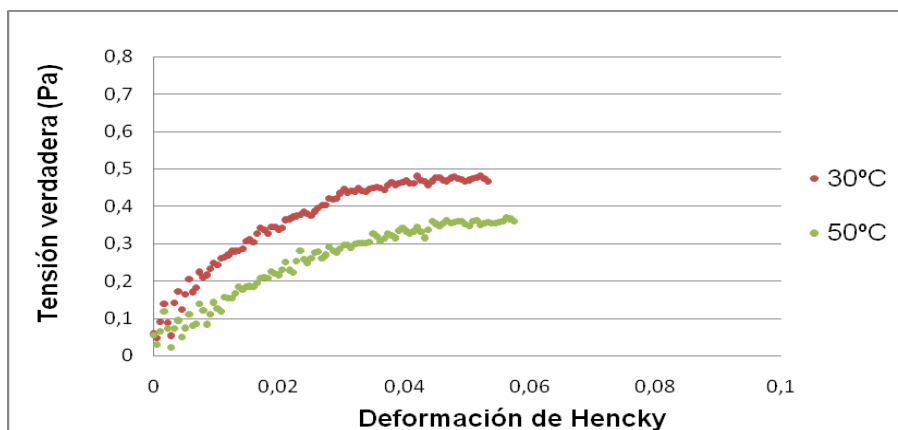


FIGURA 8. Tensión verdadera vs deformación de Hencky. Efecto de la temperatura.

3.4. Elección del tiempo y temperatura de DO para la impregnación con aloe vera.

Tras la IV+DO, y con el fin de obtener un producto estable, las muestras de manzana se sometieron a un secado con aire caliente a 60°C, durante 9 h, para conseguir una humedad cercana al 20% (Tabla 9).

Se decidió secar también, en las mismas condiciones, una muestra sometida a IV+DO con una disolución de sacarosa sin pectina y que se sumergió, antes del secado, en una disolución de pectina al 2%. La justificación de esta experiencia es la siguiente: se ha comprobado que la presencia de pectina en la disolución externa reduce mucho el grado de impregnación de las muestras sometidas a IV+DO a 30°C, así que la incorporación de aloe vera mediante IV+DO, utilizando una disolución con sacarosa+pectina+aloe vera, será probablemente escasa. Parece por tanto interesante estudiar qué ocurre si se utiliza una disolución con sacarosa+aloe vera para la IV+DO, seguida de un baño de corta duración en una disolución con pectina, para intentar conferir al producto la textura gomosa deseada.

TABLA 9. Humedad y a_w de las muestras de manzana secadas a 60°C durante 9 horas.

Disolución	T (°C)	Tiempo DO(h)	a_w (tras 9h de secado a 60°C)	Humedad (g agua/g fruta)
Fresca	0	0	0,50±0,02	0,17±0,02
Sin pectina	30	1	0,62±0,02	0,165±0,002
	30	3	0,688±0,005	0,199±0,005
	50	1	0,71±0,02	0,208±0,002
	50	3	0,72±0,02	0,207±0,002
Con pectina	30	1	0,659±0,005	0,1829±0,0009
	30	3	0,670±0,003	0,185±0,002
	50	1	0,693±0,007	0,22±0,03
	50	3	0,68±0,02	0,193±0,002

Como se ha comprobado en el apartado 3 (*Efectos de la operación de IV+DO y secado por aire caliente sobre algunas características de las muestras de manzana*), la presencia de pectina en las disoluciones reduce drásticamente el efecto de la temperatura y del tiempo de tratamiento sobre la ganancia de solutos, de modo que, a pesar de una mayor deshidratación a 50°C durante 3 h, la a_w de las muestras obtenidas con los diferentes tratamientos de IV+DO es prácticamente la misma.

En base a las características de las muestras de manzana obtenidos tras el secado por aire caliente (Tabla 9), se eligió el tratamiento de IV+DO a 30°C, ya que, en combinación con el secado por aire a 60°C, es el que permite alcanzar los valores más bajos de la a_w . Además, aún a falta de un estudio económico global, tiene sentido pensar que los gastos energéticos de producción serán menores si se realiza la IV+DO a 30 que a 50°C.

3.5. Características de las muestras de manzana enriquecidas en aloe vera obtenidas por IV+DO y secado por aire caliente.

Se llevaron a cabo los tratamientos de IV+DO de muestras de manzana, durante 1 o 3 h, a 30°C, con las disoluciones 3 (S+P+A) y 4 (S+A), seguidos del secado por aire caliente a 60°C durante 9 h. Previamente al secado las muestras sometidas a IV+DO con la disolución 4 se sumergieron en una disolución de sacarosa y pectina. La Tabla 10 muestra algunas características fisicoquímicas del producto finalmente obtenido.

TABLA 10. Características físico-químicas de las muestras de producto.

IV+DO	4 (S+A)		3 (S+P+A)	
T (°C)	30°C		30°C	
Tiempo DO (h)	1	3	1	3
Baño con pectina	Sí	Sí	No	No
° Brix	75,8±0,3	69,2±0,3	74,8±0,3	71,4±0,6
ρ (g/cm ³)	1,13±0,06	1,15±0,02	1,23±0,02	1,2±0,2
a_w	0,69±0,002	0,724±0,002	0,709±0,012	0,679±0,012
pH	3,521±0,005	3,652±0,003	3,305±0,003	3,251±0,004
Humedad (g agua/g fruta)	0,25±0,02	0,4±0,2	0,25±0,02	0,6±0,12

En esta ocasión, la adición de aloe vera a la disolución de impregnación no influye de manera cualitativa en los °Brix y la humedad, ya que ésta sigue siendo superior en las muestras impregnadas con pectina. La a_w a la que se llega en los 4 tratamientos que se realizan es prácticamente la misma, por lo que se puede admitir que con cualquiera de ellos se alcanza un producto estable. El pH experimenta un descenso apreciable respecto a las muestras sometidas a IV+DO sin aloe, siendo este descenso más notorio en las muestras de la disolución 3 (con pectina).

La figura 9 muestra las curvas del secado por aire caliente de estas muestras.

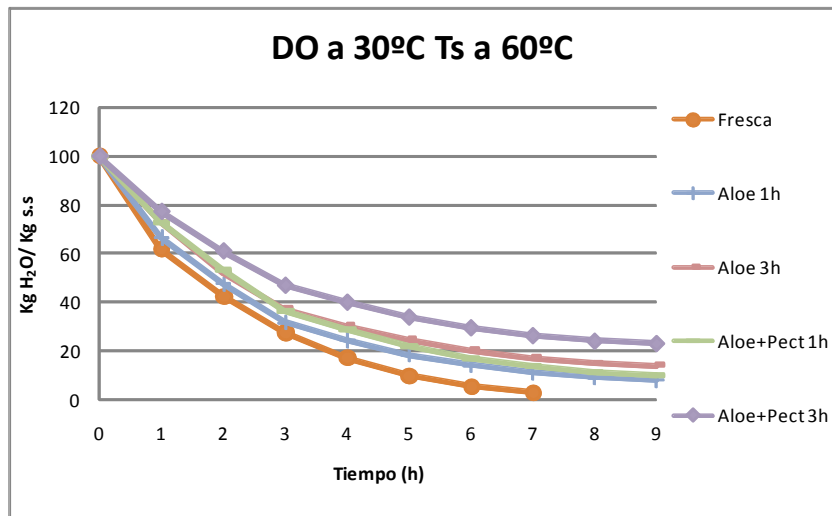


FIGURA 9. Curvas de secado por aire caliente a 60°C.

Las figuras 10 y 11 muestran las fotografías realizadas con lupa, de las muestras de manzana después del tratamiento de IV+DO con aloe vera y secadas con aire caliente. El aspecto es semejante a las muestras sin aloe, apreciándose igualmente en su superficie la presencia de una pequeña capa gomosa de características diferentes al resto de la muestra.

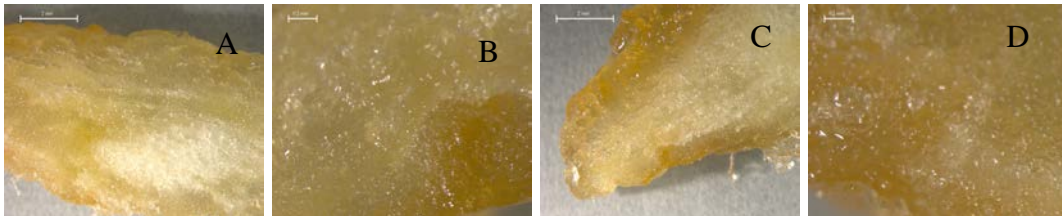


FIGURA 10: Tratamiento 3 (S+P+A). Fotos A (r.08x) y B (r.40x) con 1 hora de DO y fotos C (r.08x) y D (r.40x) con 3 horas de DO.

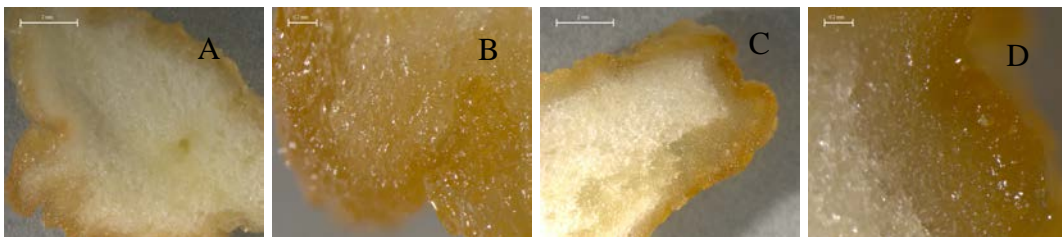


FIGURA 11: Tratamiento 4 (S+A+Baño de pectina) Fotos A (r.08x) y B (r.40x) con 1 hora de DO y fotos C (r.08x) y D (r.40x) con 3 horas de DO.

4. CONTENIDO DE ÁCIDO MÁLICO EN LAS MUESTRAS DE MANZANA.

El análisis del contenido final de las muestras se realizó por el método descrito en materiales y métodos pero los resultados obtenidos no fueron concluyentes.

CONCLUSIONES

1. Se han determinado propiedades fisicoquímicas de disoluciones acuosas de hasta el 20% en aloe vera.
2. Se ha caracterizado el comportamiento de muestras de manzana durante su IV+DO con disoluciones acuosas de sacarosa y/o pectina y/o aloe vera.
3. Se han obtenido muestras de manzana sometidas a IV+DO con disoluciones acuosas de sacarosa y/o pectina y/o aloe vera, deshidratadas mediante aire caliente a 60 °C durante 9 h. La humedad de las muestras oscila entre 25 y 60%, y su a_w entre 0,68 y 0,72. Observándose la presencia de una pequeña capa gomosa de características diferentes al resto de la muestra en la superficie de las muestras deshidratadas por aire caliente, en el caso de los tratamientos con pectina
4. La presencia de pectina en las disoluciones reduce drásticamente el efecto de la temperatura y del tiempo de tratamiento sobre la ganancia de solutos, de modo que, a pesar de una mayor deshidratación a 50°C durante 3 h, la a_w de las muestras obtenidas con los diferentes tratamientos de IV+DO es prácticamente la misma.
5. La presencia de aloe vera en las disoluciones apenas afecta a las características físico-químicas de las muestras de producto de manzana obtenidas.

AGRADECIMIENTOS

Proyecto: Desarrollo de un método de fabricación de hortalizas de hoja enriquecidas con ingredientes naturales para la obtención de productos funcionales de cuarta gama. Clave específica: 20081162. Universidad Politécnica de Valencia.

REFERENCIAS

- AOAC (1980). *Official methods of analysis (13th ed)*. Washington DC: Association of Official Analytical Chemists.
- Barrera, C., Betoret, N., Corell, P., Fito, P., (2009). Effect of osmotic dehydration on the stabilization of calcium –fortified apple slices (var. Granny Smith): influence of operating variables on process kinetics and compositional changes. *Journal of food Engineering* 92, 416-424.
- Betoret, N., Puente, L., Díaz, M.J., Pagán, M.J., García, M.J., Gras, M.L., Martínez-Monzó, J., Fito, P., (2003). Development of probiotic -enriched dried fruits by vacuum impregnation. *Journal of Food Engineering* 56, 273-277.

- Blanda, G., Cerretani, L., Cardinali, A., Bendini, A., Lercker, G., (2007). Effect of frozen storage on the phenolic content of vacuum impregnated Granny Smith and Stark Delicious Apple cvv. *European Food Research and Technology*) 227:961-964.
- Bozzi, A., Perrins, C., Austin, S., Arce Vera, F. (2007). Quality and authenticity of commercial aloe vera gel powders. *Food Chemistry*, 103, 22-30.
- Cathro, J. S., & Hilliam, M.A, (1993). Future opportunities for functional and healthy foods in Europe. *An in-depth consumer and market analysis. Special Report*. Leatherhead: Leatherhead Food Research Association.
- Contretas, C., Martín, M.E., Martínez-Navarrete, N., & Chiralt, A. (2005). Effect of vacuum impregnation and microwave application on structural changes which occurred during air drying of apple. *Lebensmittel- Wissenschaft and Technology*, 38,471-477.
- Gras, M.L., Vida. D., Betoret, N., Chiralt, A., Fito, P., (2002). Calcium fortification of vegetables by vacuum impregnation interactions with cellular matrix. *Journal of Food Engineering*.
- Grover, J. K., Yadav, S., & Vats, V., (2002). Medicinal plants of India with anti-diabetic potential. *Journal of Ethnopharmacology*, 81, 81–100.
- Guillemin, A., Degraeve, P., Noël, C., Saurel, R., (2008). Influence of impregnation solution viscosity and osmolarity on solute uptake during vacuum impregnation of apple cubes (var. Granny Smith). *Journal of Food Engineering* 86, 475-483.
- Klaenhammer, T. R., & Kullen, M. J., (1999). Selection and design of probiotics. *International Journal of Food Microbiology*, 50, 45-57.
- Krishnan, P., (2006). The scientific study of herbal wound healing therapies: Current state of play. *Current Anaesthesia & Critical Care*, 17, 21–27.
- Mazza, G. (1998). *Functional foods: Biochemical and processing aspects*. Lancaster: Technomic Publishing Company.
- Moraga, M.J., Moraga, G., Fito, P.J., Martinez-Navarrete, N., (2009). Effect of vacuum impregnation with calcium lactate on the osmotic dehydration kinetics and quality of osmodehydrated grapefruit. *Journal of Food Engineering* 90, 372-379.
- Pollack, N., & Peleg, M., (1980). Early indications of failure in large compressive deformations of solid foods. *Journal of Food Science*, 45, 825–830, 835.
- Salvatori, D., Andrés, A., Chiralt, A., & Fito, P. (1998). The response of some properties of fruits to vacuum impregnation. *Journal of Food Process Engineering*, 21, 59–73.
- Sanzana, S. comunicación personal. Tesis doctoral en realización. Universidad Politécnica de Valencia.
- Xiao, B. X., Guo, J. M., Liu, D. H., & Zhang, S., (2007). Aloe-emodin induces in vitro G2/M arrest and alkaline phosphatase activation in human oral cancer KB cells. *Oral Oncology*, 43, 905–910.
- Xu, F. G., Liu, Y., Zhang, Z. J., Song, R., Dong, H. J., & Tian, Y., (2008). Rapid simultaneous quantification of five active constituents in rat plasma by high- performance liquid chromatography/ tandem mass spectrometry after oral administration of Da-Cheng-Qi decoction. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 47,586–595.