

CAPITULO 4

RESULTADOS

4.1 Caracterización fisicoquímica de la materia prima

Las características iniciales promedio de los lotes de manzana se presentan en la Tabla X. Dentro de las características más relevantes se analizó porcentaje de humedad, cantidad de sólidos solubles, % de acidez, tomando como referencia la cantidad de ácido málico, actividad de agua (a_w), pH, densidad aparente y real de la manzana, porcentaje de porosidad, color e índice de madurez.

Tabla X. Parámetros iniciales de manzana Golden Delicious, utilizada para estudiar la influencia de la impregnación al vacío

Parámetro	Valor
Humedad (kg. H ₂ O/100xkg. muestra)	84.40 ± 0.44
Sólidos solubles (^o Bx)	12.40 ± 0.27
Acidez (kg. ác. málico/100xKg. muestra)	0.40 ± 0.005
a_w	0.984 ± 0.003
pH	4.0 ± 0.01
Densidad aparente g/cc	0.997 ± 0.12
Densidad real g/cc	1.0220 ± 0.016
Porosidad %	24.03 ± 0.002
Color : L	84.77 ± 1.03
a	-5.54 ± 0.04
b	24.39 ± 0.03
Indice de madurez	31 ± 0.95

En la Tabla XI se presentan los resultados de la caracterización del jugo de manzana y del yakult.

Tabla XI Valores de algunos parámetros fisicoquímicos del jugo de manzana y Yakult

Parámetro	Jugo Sonrisa	Yakult
° Bx	12.5 ± 0.10	15.8 ± 0.08
a _w	0.984 ± 0.002	0.986 ± 0.003
pH	4.09 ± 0.01	3.66 ± 0.01
Color: Reflectancia		
L	11.21 ± 0.01	107.24 ± 0.12
a	1.09 ± 0.02	2.42 ± 0.04
b	14.90 ± 0.01	30.57 ± 0.03

4.2 Determinación de porosidad efectiva de la manzana

La determinación de la porosidad efectiva se llevó a cabo según la metodología experimental 3.5.1. Para la determinación del porcentaje de porosidad, se utilizaron los resultados de los valores promedios y la desviación estándar de la fracción volumétrica de líquido retenido (X) dentro de la estructura porosa de la manzana. Los resultados de porosidad se presentan en la Tabla XII, ahí se puede observar que la cantidad promedio de la fracción volumétrica de líquido que entra a la manzana es diferente para cada forma geométrica utilizada. El volumen de las figuras geométricas utilizadas se presenta en la Tabla XII. Se utilizó para trabajar, la forma geométrica que presentó la mayor porosidad efectiva, para asegurar que se estaba introduciendo la mayor cantidad de lactobacilos que pudiera aceptar la matriz de la manzana.

Tabla XIII. Valores de volumen, correlación y porosidad efectiva de las figuras utilizadas en prueba de porosidad efectiva.

Figura geométrica	Volumen (c)	Relación área/volumen (cm)	Correlación	Porosidad efectiva
Cubo	1.73	5.00	0.9571	14 %
Cilindro	1.57	2.00	0.7086	13 %
Moneda	3.14	2.00	0.9937	28 %
Aro	8.02	2.37	0.9424	19 %

Cabe mencionar que para cada valor de X experimental se le ha eliminado el peso del jarabe que se encontraba en la superficie de la manzana (siendo este de 0.013 g aproximadamente para cada figura analizada). Los valores reportados en la Tabla IX, presentan el promedio de cuatro determinaciones. En la figura 13 se representa gráficamente los valores promedio de X frente a $(r-1/r)$ para las distintas figuras geométricas: cubo, cilindro, moneda y aro, respectivamente

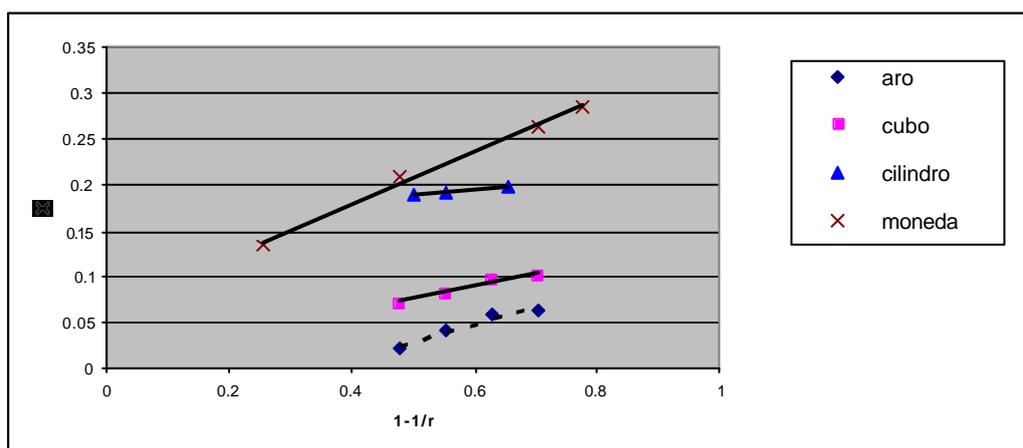


Fig. 16. Influencia de la impregnación al vacío aplicada sobre la fracción volumétrica de la solución impregnada (X) en la manzana cortada en forma de: aro, cubo, cilindro y moneda.

Los valores obtenidos de la fracción volumétrica se ajustaron a un modelo lineal de los valores de X y $(1-1/r)$, en donde los valores de porosidad efectiva representada por la pendiente de la recta variaron de 0.1371 hasta 0.2834. Otros experimentos similares reportan valores de 0.336 (Mujica, *et al*, 2001) hasta 0.202 (Guerrero,1996, citado por Youshimatz, 2001). Por lo cual el valor que mejor se acerca a ellos es el de la figura geométrica de moneda.

4.3 Impregnación al vacío del microorganismo

Las condiciones de impregnación al vacío que se utilizaron para éste trabajo fueron las resultantes de las pruebas de porosidad. Dichos resultados son: figura: moneda de (2 cm diámetro x 1 cm alto.), presión de vacío de 500 mm de Hg, tiempo 10 minutos de impregnación al vacío y 10 minutos de relajación, relación 1:3 fruta/solución de medio de impregnación, con una cantidad aproximada de *L. casei* 10^8 ufc/mL en el medio de impregnación. Se analizó la cantidad de lactobacilos viables en las diferentes etapas del proceso. En la Tabla XIV se presenta la cantidad de unidades formadoras de colonias por mL de muestra obtenida. Un mejor crecimiento de colonias de los *L. casei*, se presenta en condiciones anaerobias a 37 °C y aproximadamente en 48 horas lo que permite su recuento.

Tabla XIV UFC/mL o g. de muestra en el material de impregnación

Material analizado	ufc/ml o g. de muestra	Porcentaje de disminución de ufc/mL, g
Yakult	$5.5 \times 10^8 \pm 1.15$	23.63
Medio de impregnación	$4.2 \times 10^8 \pm 1.02$	
Manzana impregnada	$6.2 \times 10^7 \pm 1.10$	86.00

Se analizó la solución jugo-yakult después de haber realizado la primera impregnación para saber si se podía reutilizar. Se hizo el conteo de ufc/mL de lactobacilos y los resultados después de tres reusos se muestran en la Tabla XV.

Tabla XV. Conteo de *Lactobacillus* después de 3 reusos del medio de impregnación

Números de Reusos	ufc/mL
1ro	$4.2 \times 10^8 \pm 0.90$
2do	$1.7 \times 10^8 \pm 1.11$
3ro	$8.5 \times 10^7 \pm 1.02$
4to	$5.2 \times 10^7 \pm 0.50$

El peso ganado después del proceso de impregnación tuvo variantes en cada lote, pero todos oscilaban en el rango de 19 % al 25%. En la Tabla XVI se muestra los diferentes pesos obtenidos

Tabla XVI: Porcentaje de peso ganado utilizando el mismo medio de impregnación en varios reusos

Reusos	Porcentaje de peso ganado
1ro	20.1 ± 1.15
2do	19.1 ± 1.10
3ro	23.0 ± 2.01
4to	25.0 ± 1.09

Los parámetros fisicoquímicos de la manzana después del proceso de impregnación al vacío se enlistan en la Tabla XVII.

Tabla XVII: Valores de los parámetros obtenidos de las manzanas después de ser impregnadas con *L. casei shirota*

Parámetro	Valor
Humedad (kg. H ₂ O/100 x kg. muestra)	85.33 ± 0.25
Sólidos solubles (⁰ Bx)	13.9 ± 0.01
Acidez (kg. ác. málico/100 x kg. muestra)	0.37 ± 0.03
a _w	0.983 ± 0.001
pH	3.8 ± 0.01
Color : L	53.8 ± 0.50
a	-4.50 ± 0.10
b	14.49 ± 0.45
Índice de madurez	37 ± 0.03

4.4 Curvas de secado con aire caliente

Se utilizaron dos temperaturas de bulbo seco 35 ° y 40 ° C, con una velocidad de aire de 10 m/s, durante 12, 14 y 20 horas. En todos los experimentos se secaron aproximadamente 100 gramos de producto impregnado. Los datos de la curva de secado fueron normalizados para así graficar el contenido de humedad en base seca en función del tiempo de secado y visualizar mejor las curvas. En la figura 17 se presenta la curva de secado para la manzana con las dos temperaturas a velocidad de aire constante y el mismo tiempo de secado, 12 horas. Se observa un rápido descenso de la humedad al principio del proceso y una reducción en la velocidad de pérdida de agua al final del proceso.

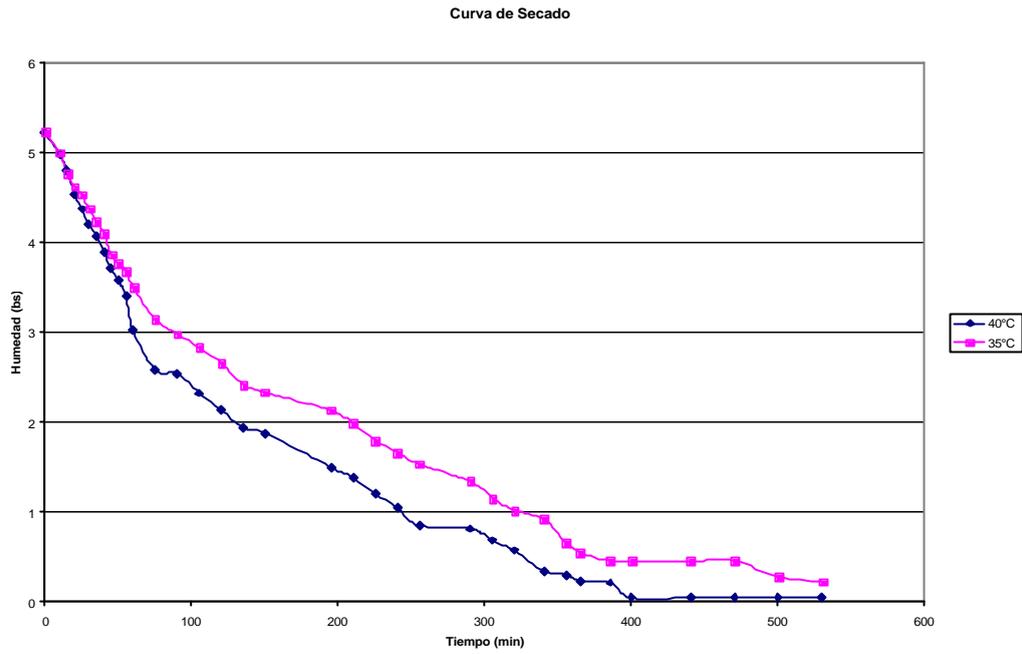


Fig. 17. Curvas de secado a temperaturas de 35 y 40° C, durante 12 horas de manzana impregnada

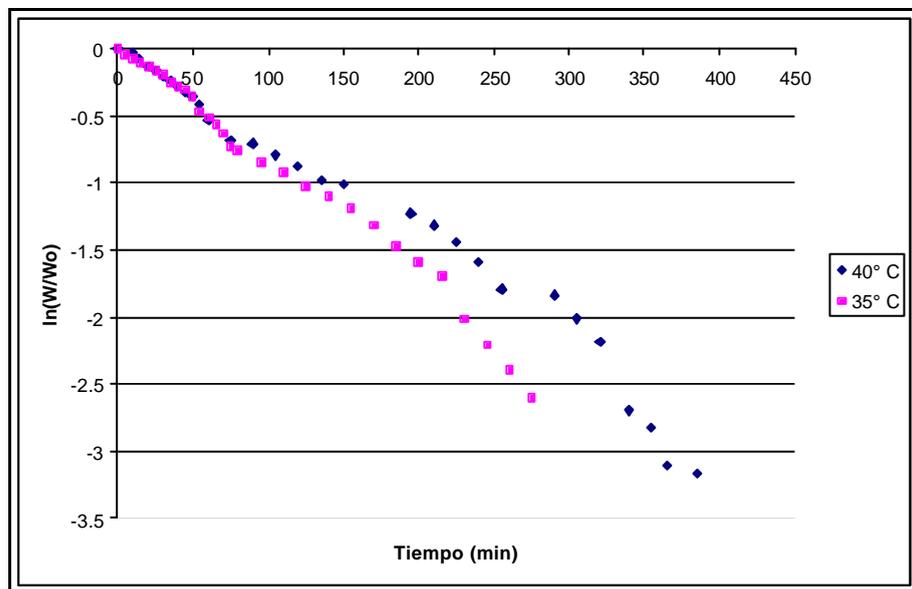


Fig. 18. Curva de la pérdida de agua de la manzana graficando $\ln(W/W_0)$ vs. el tiempo de secado

Los resultados del contenido de humedad inicial y final se presentan en la tabla XVIII, así como la cantidad de agua perdida en las dos temperaturas utilizadas. Después del proceso de secado se midió la cantidad de lactobacilos viables inoculándolos en Agar MRS e incubándolos en condiciones de anaerobiosis durante 48 horas. El recuento de los microorganismos promedio se presenta en la Tabla XIX.

Tabla XVIII. Valores de Peso inicial, Final, Humedad inicial y final, a diferentes tiempos con temperaturas de 35° y 40° C en secado con aire caliente

Temperatura	Tiempo (hr)	Peso inicial (g.)	Peso final (g.)	Humedad Inicial (%)	Humedad Final (%)
35 ° C	12	100 g	18.53	85.33	15.50
	14	100 g	17.36	84.82	14.49
	20	100 g	16.23	85.44	14.70
40 ° C	12	100 g	17.09	85.84	14.50
	14	100 g	16.82	85.23	14.62
	20	100 g	16.31	85.21	13.83

Tabla XIX. UFC/ g de muestra después del proceso de secado a 35° y 40 ° C

Temperatura	Tiempo de secado (hr)	UFC/g	Porcentaje de disminución de cfu/ g
35° C	12	6.7 x 10 ⁶	91
	14	7.0 x 10 ⁶	91
	20	7.5 x 10 ⁶	90
40° C	12	0.1 x 10 ⁶	99.8
	14	0.1 x 10 ⁶	99.8
	20	0.1 x 10 ⁶	99.8

4.5 Liofilización y viabilidad del lactobacilo

La liofilización de la manzana afectó considerablemente el número de microorganismos dentro de la fruta, como se muestra en la Tabla XX

Tabla XX Recuento de UFC/g de muestra antes y después de la liofilización

Proceso	UFC/g. de muestra
Manzana impregnada	$5 \times 10^7 \pm 1.52$
Manzana congelada	$2.8 \times 10^7 \pm 1.38$
Manzana liofilizada	$0.5 \times 10^6 \pm 0.12$

4.6 Tiempo de rehidratación de los dos procesos de secado

Después de los procesos de secado se sometió 1 g de cada muestra a rehidratación en una relación 1: 10 muestra/solución. Se utilizó la manzana secada a 35° C en lugar de la secada a temperatura de 40° C debido a era la que mayor ufc/g de lactobacilos presentaba. Se midió el máximo peso obtenido de las muestras en un tiempo determinado, los resultados se presentan en la Tabla XXI

Tabla XXI Tiempo y peso ganado en rehidratación de 1g de manzana de cada tipo de secado

Tipo de secado	Tiempo de rehidratación	Peso máximo ganado	% Rehidratación
Secado con aire caliente 35° C	2.30 minutos	4.9 g	
Liofilizado	1.20 minutos	5.5 g.	

4.8 Evaluación Sensorial

Se aplicó una evaluación sensorial con una escala hedónica de nueve puntos a 33 jueces no entrenados, a dichos resultados se les aplicó un análisis de varianza ANOVA, para verificar el nivel de agrado de los jueces. Para esta evaluación se utilizó manzana secada por liofilización y manzana secada con aire caliente a 35° C. No se utilizó la manzana secada a 40° C debido a que la cantidad de microorganismos está en el límite inferior de lo necesario para que se considere un alimento funcional. Los resultados que se obtuvieron se muestran en la Tabla XXII.

Tabla XXII. Nivel de agrado de las características de las manzanas secadas con aire caliente a 35° C y liofilizadas

Característica	Liofilizado	Secado con aire caliente a 35° C	Probabilidad
Color	7.79 ±	6.19±	0.001
Olor	7.33±	6.68±	0.071
Sabor	7.88±	7.96±	0.796
Textura	7.54±	7.28±	0.089
Aceptabilidad	8.15±	7.06±	0.003