

I. PRESENTACIÓN

Una de las aplicaciones industriales a las que son sometidos una gran variedad de alimentos es el secado, con el fin de obtener productos nuevos o simplemente deshidratados que permitan reducir el tamaño y el peso del producto original, teniendo como una consecuencia la modificación estructural del alimento. De dicha estructura dependen propiedades físicas, reológicas y de transporte del alimento que están íntimamente ligadas con la textura, la biodisponibilidad de nutrientes y la percepción sensorial. Además de que se sospecha que esta modificación estructural afecta la velocidad de migración de la humedad durante el proceso de secado. Esto se hace más evidente cuando se compara el secado en lecho fluidizado convencional contra el secado en lecho fluidizado con ciclos de atemperado, ya que con base en investigaciones previas se sospecha que el atemperado influencia a las interacciones entre los componentes bioquímicos del alimento de manera tal que se logra reducir el endurecimiento superficial del mismo, facilitando así la eliminación de la humedad. Además se ha observado que los ciclos de atemperado tienen beneficios palpables como la reducción en los tiempos de aireación del producto, con respecto al secado convencional. Por lo que es importante implementar técnicas que permitan observar la microestructura del alimento en cada etapa del proceso de secado para poder correlacionarlas directamente con los cambios sufridos en las propiedades termodinámicas de la muestra.

El objetivo de este trabajo es identificar mediante microfotografías los cambios estructurales de cubos de papa escaldados al final de un proceso de secado convencional y uno con ciclos de atemperado en un lecho fluidizado y, mediante la correlación de estos datos y los datos obtenidos en los análisis de calorimetría diferencial de barrido, obtener un coeficiente de difusión característico para esta técnica de secado. Además de analizar el efecto de dicha modificación en la capacidad de rehidratación de los cubos de papa.

II. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

II.1 Procesamiento de la muestra

El tipo de papa fue Alfa, la cual fue comercializada en un mercado local (Sam's Club Tepeyac, envasado en bolsas de 2Kg, marca propia) el cual asegura la frescura y calidad de la misma.

Reducción de tamaño

Se ocupó una cortadora de papas a la francesa para cubicar la papa; cortado primero manualmente las papas, ya lavadas con agua y jabón, en rebanadas de 0.9cm de espesor aproximadamente, usando un cuchillo.

Posteriormente cada rebanada se colocó en la cortadora para su corte en cubos, ya cortadas se seleccionaron los cubos del centro de la rebanada en la cual no hubiese residuos de cáscara y con lo cual se aseguraba que se utilizaba solo el parénquima de almacenamiento (central) y la médula del tejido del tubérculo.

Proceso de escalde e inactivación enzimática

Para evitar el oscurecimiento enzimático se debe realizar un escalde a $80 \pm 2^{\circ}\text{C}$ por 5 minutos en una solución de metabisulfito de sodio al 0.5%, enfriando la muestra al chorro de agua fría. Es importante aclarar que la solución de metabisulfito debe ser preparada antes del análisis con el fin de evitar la producción de gases tóxicos (dióxido de cobre).

II.2 Construcción de la curva de velocidad mínima de fluidización

La curva se construyó (no se muestra por falta de espacio) y se obtuvo la gráfica que nos indica en que punto se tiene la velocidad mínima de fluidización. Las líneas trazadas en la gráfica, son la representación del cambio de presión conforme la velocidad dentro del recinto de secado aumentaba, al trazar dos líneas tangentes (líneas punteadas) a los lados de la curva de regreso y al estas intersectar nos indican, en el eje de las ordenadas, el valor para la Velocidad Mínima de Fluidización, que para nuestro caso fue de 6.60 ms^{-1} . Y con esta velocidad como mínimo se debe trabajar, la velocidad real de operación a trabajar se fijó en el doble que corresponde a 13.20 ms^{-1} , en la

practica se manejo un valor de $14 \pm 0.5\text{m/s}$, para una muestra de 0.210Kg que ocupan 5cm de altura en el recinto de secado, equivalente a una $LD^{-1} = 0.5$.

II.3 Construcción de las curvas de secado

Con el fin de tener parámetros de comparación con respecto al efecto del escaldado en la velocidad de secado como lo reporta Arévalo-Pinedo y col. (2007) donde el escaldado favorece la salida de humedad en muestras de zanahoria comparadas con muestras sin tratamiento y con un tratamiento de congelación antes del secado, y es por ello se realizaron pruebas de secado en termobalanza con muestras frescas (sin tratamiento) y muestras escaldadas según lo mencionado en la metodología.

Aquí se puede observar que el escaldado de la muestra promueve la salida de la humedad en las primeras etapas del secado y que posteriormente se equilibran, se puede esperar que este comportamiento se repita en el secado en lecho fluidizado, por lo que las muestras utilizadas para esa operación fueron todas escaldadas. Por lo que con los datos obtenidos concuerdan con lo reportado por Aguilera (1990) y Arévalo-Pinedo y col. (2007) donde aseguran que algunos pretratamientos, como el escaldado en nuestro caso, mejoran la salida de la humedad en las muestras sometidas a deshidratación. Debido a que seguramente las estructuras externas de las células de tejido vegetal son parcialmente dañadas durante el escaldado, las sustancias pécticas reducidas por el calentamiento, algunas de las proteínas son desnaturalizadas dentro de ellas algunas de las enzimas son inactivadas, por lo comprobado por Morales (2004). Este pretratamiento al parecer produce un primer cambio estructural que beneficia la salida de la humedad de la muestra.

Por otro lado, ya conociendo el valor de velocidad mínima de fluidización y estableciéndola prácticamente en $14 \pm 0.5\text{m/s}$ para una muestra de 0.210Kg de peso, se realizaron las curvas de secado para lotes deshidratados convencionalmente y los tratados con ciclos de atemperado en un esquema de 5x5.

(no se muestran las curvas por falta de espacio). Se observa que la velocidad de eliminación de humedad es mayor cuando se trabaja en un secador de lecho fluidizado que en la termobalanza a la misma temperatura. Lo que concuerda con lo mencionado por diferentes investigadores citados quienes

afirman presentar mayores velocidades de secado en este tipo de equipos, lográndose ver que para una humedad adimensional de 0.5 en la termobalanza se requieren de aproximadamente 27 minutos, en el lecho fluidizado se requieren de aproximadamente 14, lo que representa una disminución en el tiempo en esta primera fase del secado del 52% aproximadamente si se tiene en consideración las condiciones de temperatura de ambos procesos. A los 100 minutos de proceso en ambas muestras la humedad es aproximadamente igual (alrededor de 10%) aquí se evidencia lo que los autores citados han dicho, que los ciclos de atemperado reducen los tiempo de aireación aunque no el tiempo de proceso, por lo tanto se tiene un ahorro considerable de energía de secado. En el secado convencional tenemos un tiempo de aireación de 100 minutos mientras que en el secado con ciclos de atemperado el tiempo de aireación es de 50 minutos por lo que el ahorro es del 50% infiriendo como beneficio del esquema de 5x5 la posibilidad de procesar dos lotes de muestra en el mismo tiempo que se procesaría sólo un lote de manera convencional en un secador de lecho fluidizado.

II.4 Capacidad de rehidratación

Se rehidrataron las muestras obtenidas de los procesos de secado y se calculó el coeficiente de rehidratación y el porcentaje de agua contenida en la muestra, aquí sólo se muestran los promedios.

En la Figura 9 (se omite por falta de espacio), se muestra un aumento en la capacidad de rehidratación de la muestra tratada con la técnica de atemperado, mostrando un 46% de diferencia con respecto al valor de coeficiente de rehidratación de la muestra de papa deshidratada en termobalanza, lo que coincide con las referencias consultadas en las cuales se concluye que dicha técnica mejora los resultados de rehidratación y esto se ve fortalecido con algunos estudios que mencionan que las muestras tratadas con esta técnica conservan mejor algunas propiedades como la de textura asemejándose a las de la muestra fresca (Campos, 2006; Witrowa-Rajchert & Lewicki, 2006; Lewicki & Wiczowska, 2006.).

En la Figura 10 (se omite por falta de espacio) se observa que las muestras no llegan a un % de contenido de agua idéntico a la muestra fresca, que correspondería al 100%, pero se acercan mucho, aunque físicamente se observan cubos con textura de una papa ya cocida pero gomosa, probablemente a la gelatinización del almidón y a que los tejidos pierden su rigidez original y también se puede pensar que se forman capilares botella que no permiten el libre paso del agua nuevamente al interior del tejido vegetal (Aguilera, 1990).

El coeficiente de rehidratación es cercano a la unidad y esto se puede relacionar con el encogimiento que sufre la partícula durante el secado ya que según los resultados obtenidos la muestra con una menor capacidad de rehidratación también corresponde a la muestra con un mayor encogimiento, representado como un menor diámetro equivalente o menor volumen, coincidiendo con las relaciones propuestas por Mayor & Sereno (2004).

II.5 Caracterización de la muestra

II.5.1 Diámetro equivalente de la partícula (dp)

Esta medición se tomó en las partículas obtenidas en cada lote secado y se hicieron los promedios correspondientes, aquí sólo se presentan los datos finales. Podemos ver en el Figura 11 (se omite por falta de espacio) que los diámetros se comportan según la tendencia presentada en los resultados de capacidad de rehidratación, donde aumenta el diámetro equivalente para las papas deshidratadas en lecho fluidizado, mientras que para las deshidratadas por termobalanza estos valores son inferiores. Se pone de manifiesto que los cubos rehidratados no llegan a alcanzar el diámetro de la partícula que tenían en promedio las papas frescas antes de la deshidratación. Lo que coincide con lo reportado por Mayor & Sereno (2004) y Witrowa-Rajchert & Lewicki (2006) y con los otros análisis realizados a las muestras como lo es el volumen y el radio equivalente.

II.5.2 Volumen

El cambio de volumen esta relacionado con el cambio estructural del tejido sometido a secado. Por los resultados de volumen obtenidos, podemos ver que estos valores son muy diferentes a los valores obtenidos para las muestras secadas en la termobalanza comparadas con los valores obtenidos el lecho fluidizado, coincidiendo con Mayor & Sereno (2004) y Aguilera (1990) que indican que este cambio de volumen y por consecuencia el grado de encogimiento dependen de las condiciones de operación y en este caso son diferentes los mecanismos de secado por lo que el encogimiento es consecuencia de ello.

Según las microfotografías mostradas posteriormente, es posible pensar que el encogimiento en la estructura del tejido no provocó un daño estructural en la muestra que presenta un menor grado de encogimiento (0.9409) ya que presenta un mayor coeficiente de rehidratación y un menor valor de encogimiento, ya que dicho valor se acerca mucho a la unidad.

II.5.3 Radio de esfera equivalente (r_{eq})

El radio equivalente es una relación que proviene del volumen de la partícula que debe considerarse como una esfera para poder aplicar las ecuaciones de Fick para establecer un coeficiente de difusión. En nuestro caso servirá además para caracterizar la muestra que se utilizó. También se observó que el radio del cubo de papa rehidratado que se sometida secado en lecho fluidizado con ciclos de atemperado tiene un valor mayor que el cubo de papa fresca, lo que nos puede estar indicando un hinchamiento debido a la gelatinización del almidón.

II.6 Microscopía

De acuerdo con la teoría de secado, el movimiento del agua se presenta desde el centro de la partícula hacia el exterior ya que en la superficie es donde se remueve el agua. Por ello se observó la morfología de las muestras en dos secciones: superficie y centro, a través de las imágenes tomadas en un MEB.

Tanto en la superficie como en el centro de los cubos antes del secado se

observan estructuras típicas del tejido celular de papa (Pimpaporn y Col., 2007, Aguilera y col., 1990). Es de destacar de la Figura 15 (figura eliminada por falta de espacio) que en el centro de las muestras frescas escaldada y sin escaldar, las paredes celulares del tejido tienen un daño menor con respecto a la superficie y se observa que en la muestra escaldada la pared celular cambia de aspecto y se puede suponer que las proteínas que la componen se han desnaturalizado y el origen péctico se modificó haciéndola mas flexible y permitiendo observar que, en el caso de las muestras deshidratadas de manera convencional en termobalanza mostradas en la Figura 16 (figura eliminada por falta de espacio), la superficie de la papa sin escaldar muestra los gránulos de almidón y la pared celular pierde totalmente la forma hexagonal mostrando que esta condición de deshidratación es muy agresiva para el tejido, sin embargo en la papa escaldada ya no hay gránulos y las paredes celulares al parecer se contraen dejando una superficie casi lisa, mostrando que tienen más resistencia que cuando no están escaldadas.

En estas mismas imágenes se puede apreciar que en el centro de las muestras, se presenta una compactación de las células provocada por la salida de humedad provocando espacios en el centro de la muestra y puede suponerse que es la misma pared celular que se separó de las células adyacentes, esto puede ser observado también en las Figuras 17 y 20. (no se muestran por falta de espacio) En la imagen mostrada en la Figura 17, se ve la formación de huecos y una probable capa endurecida en la estructura del tejido sometido a un secado convencional en el lecho fluidizado, esto es debido según la teoría al encogimiento como resultado de las condiciones de secado (Capriste y col., 1998; Aguilera y col.,1990; Gowen y col., 2006; Dong y col., 2006) y se observa que comparado con la imagen de la Figura 18 (omitida por falta de espacio), muestra el tejido de un cubo de papa sometido a secado en lecho fluidizado pero con ciclos de atemperado, que en este caso al estar sometido el tejido a condiciones menos agresivas el encogimiento es uniforme, por lo tanto no hay la formación de huecos y hay la formación de una capa parcialmente endurecida coincidiendo con lo reportado con Mayor & Sereno (2004).

En la Figura 19 (se omite por falta de espacio), muestra una imagen de la superficie de un cubo de papa deshidratado que muestra grietas las cuales son

consecuencia de las condiciones de secado, en este caso el mayor efecto lo tienen al momento de la rehidratación.

El mismo comportamiento se observó en las muestras deshidratadas en la termobalanza, en las cuales se puede ver la formación de huecos los cuales indican la exposición del tejido a un estrés térmico muy grande el cual produjo daños estructurales importantes que se manifiestan mas claramente en la capacidad de rehidratación de la muestra, esto se ve en la Figura 20 (figura omitida por falta de espacio) donde el hueco formado al ser observado mas de cerca (Figura 21, no se muestra por falta de espacio) se observa nuevamente una capa que al parecer es pared celular del tejido de la papa el cual se contrajo.

Las imágenes de papas deshidratadas de forma convencional utilizando un secador de lecho fluidizado se muestran en la Figura 22 (figura eliminada por falta de espacio) , aquí puede verse que las muestras sufren una compactación en las células de manera importante pero que no es tan drástica como se muestra en la Figura 16 (eliminada por falta de espacio), donde la compactación es muy pronunciada, en este caso se puede ver una capa de células mas densas a la orilla del corte del cubo y en el centro células menos compactas lo que puede indicar el efecto del estrés térmico en las células exteriores formando una costra o barrera que impide la salida del agua, además en las fotografías de la superficie (Figura 22, eliminada por falta de espacio) las muestras presentan diferencias en la estructura de la pared celular indicando que cuando la muestra se atempera no se “sellan” los poros entre las células debido a la continua humectación de las capas superficiales parcialmente secas durante el periodo de atemperado (Chua y col. 2003).

Las fotografías correspondientes a las muestras de papa rehidratadas se muestran en la Figura 38 (eliminada por falta de espacio), aquí podemos ver que las capacidades de rehidratación mostrada, expresadas como coeficiente de rehidratación, mostradas en la Figura 9 (eliminada por falta de espacio), coinciden con la estructura de la papa donde se observa que el tejido de la pared celular recupera casi por completo su condición original pero el almidón no, probablemente debido a los daños en los componentes estructurales, es decir, hubo un grado de colapso estructural.

El siguiente paso de este trabajo es investigar que cambios bioquímicos son los que impiden esta recuperación, mediante DSC, y correlacionarlos con las condiciones de secado a las cuales son sometidas las muestras de papa.

CONCLUSIONES

- ♣ La velocidad mínima de fluidización establecida en 6.5917ms^{-1} para un $\text{LD}^{-1} = 0.5$ y una masa de 0.210kg , es de suma importancia para poder realizar las corridas de manera estandarizada, evitar consumo de energía innecesario.
- ♣ El escaldado de los cubos de papa con metabisulfito de sodio al 0.5% a 80°C permite la inactivación enzimática además de cambios, provocados por la temperatura, en las proteínas y sustancias pecticas de la pared celular del parénquima de la papa y provocando, debido a ello, una mejora en la salida de humedad de las muestras durante el secado.
- ♣ Se corrobora que el tiempo de proceso requerido para deshidratar una muestra hasta un contenido de humedad del 10% en el secador de lecho fluidizado convencional es aproximadamente el mismo, que el utilizado para muestras sometidas a secado en lecho fluidizado con ciclos de atemperado con un esquema de 5x5, 100 minutos para ambos; pero que, hablando de tiempos de aireación, el secado convencional ocupa 50% más tiempo que el secado con ciclos de atemperado infiriendo un aumento en la velocidad de migración de agua de la muestra producido por los tiempos de reposo de la muestra.
- ♣ Se corrobora que las condiciones de secado influyen en la formación de huecos internos y de grietas en el tejido de papa deshidratado en lecho fluidizado y termobalanza.
- ♣ Las muestras tratadas con la técnica de atemperado tienen una mejor capacidad de rehidratación, coincidiendo con que presentan un mayor volumen final después del secado, comparado con el secado convencional;

coincidiendo en que las anteriores son condiciones requeridas para tener altos coeficientes de rehidratación, a diferencia del secado en termobalanza que es un método donde la muestra se somete a un estrés térmico mayor lo que daña mas las estructuras y no permite tener condiciones adecuadas de rehidratación, estructuralmente hablando.

- ♣ Los cubos de papa secados en lecho fluidizado con ciclos de atemperado y rehidratados presentan un radio equivalente mayor que el de la papa fresca indicando un aumento de volumen debido a una incorporación de agua siendo probable debido a una gelatinización alta del almidón de la muestra lo que se debe corroborar con la calorimetría diferencial de barrido.
- ♣ Las imágenes observadas sugieren que tanto en las muestras frescas como en las deshidratadas convencionalmente, el escaldado modifica los tejidos celulares mejorando aparentemente el proceso de secado.
- La estructura muy compacta de las muestras deshidratadas convencionalmente en termobalanza sugieren condiciones muy severas que se evidencian en la baja capacidad de rehidratación de la muestra. La estructura interna y superficial de la muestra de papa deshidratada convencionalmente por lecho fluidizado muestra daños severos aunados a la formación de una barrera que dificulta la salida de la humedad y su entrada al momento de la rehidratación.
- La estructura en la superficie y centro de la muestra de papa deshidratada con ciclos de atemperado en lecho fluidizado indica un menor estrés térmico y una migración de humedad controlada reflejándose en una mejor capacidad de rehidratación comparada con las otras muestras.

III. REFERENCIAS

- Aguilera, J. 2005. Why food microstructure? Journal of Food Engineering. 67: 3–11.

- Aguilera, J.M., Stanley, D. W. 1990. Microstructural principles of food processing & engineering. Ed. Elsevier Applied Science. England.
- Anaya, S. I. 2003. Evaluación de la calidad de frijol deshidratado a diferentes condiciones de tratamiento. Tesis Doctorado. ENCB-IPN. México.
- Anaya, S. I., Cruz, M. T., Santiago, T., Muñoz, J. L., Vizcarra, M. 2003. Quality assessment of dried-bean with biochemical parameters. International Journal of food properties. 6(3): 449-459.
- Barbosa-Cánovas, V. G., y Vegas, M. H. 1996. Dehydration of food. Ed. Chapman and Hall. USA.
- Bimbenet J.J., Bonazzi C. y Dumoulin E. 2002. Drying of foodstuffs. Proceedings of the 13th International Drying Symposium (IDS' 2002) Beijing, China, 27-30 August' 2002, vol. A, pp. 64.
- Campos, M. R. 2006. Modelamiento fractal de algunos cambios estructurales de un alimento durante el proceso de secado convectivo. Tesis de Doctorado. E. N. C. B. – I. P. N.
- Capriste y col. 1988. Citado por Aguilera, J.M., Stanley, D. W. 1990. Microstructural principles of food processing & engineering. Ed. Elsevier Applied Science. England.
- Charley, H. 1999. Tecnología de alimentos. Limusa - Noriega Editores. México.
- Cheftel, J. C., Cheftel, H. 1992. Introducción a la bioquímica y tecnología de los alimentos. Vol. 1. 2da. reimpresión. Ed. Acribia. Zaragoza, España.
- Chen, Ch. y Wu, P. 2000. The study the interrupted drying technique for rough rice. Drying Technol. 18 (19):2381 - 2397.
- Chou, S. K. y Chua, K. J., 2003. On the study of the drying behavior of a heat-sensitive biomaterial undergoing stepwise-varying temperature schemes. Industrial Engineering Chemistry Research., 42: 4939-4952.
- Chou, S. K. y Chua, K. J. 2001. New hybrid heat pump drying technologies-status and potential for drying food and heat sensitive materials. IADC Proceedings. Boca del río. Veracruz. México.
- Chua, K. J., Mujumdar, A. S., Chou, S. K. 2003. Intermittent drying of bioproductos – an overview. BioresourceTechnology. 90: 285-295.

- Chua, K. J., Mujumdar, A. S., Chou, S. K., Hawlader, M. N. A. y Ho, J. C. 2000. Convective drying of banana, guava y potato pieces: Effect of cyclical variation of air temperature on drying kinetics and color change. *Drying technology*. 18(4) y (5): 907-936.
- Desrosier, W. 1997. Conservación de alimentos. Vigésima reimpresión. CECSA. México.
- Dodd, J. W., Tonge, K. H., 1987. Thermal methods. Ed. Wiley. Great Britain.
- Dong, Ch. X, Lung, Ch. Y., Xuqi, L. S., James, B. 2006. In situ ESEM Examination of Microstructural Changes of an Apple Tissue Sample Undergoing Low-Pressure Air-Drying Followed by Wetting. *Drying Technology*. 24:965-972.
- Earle, R. L. 1979. Ingeniería de los alimentos. Editorial Acribia. España.
- Fano Castro, P. 2006. Secado de zanahoria (*Duacus carota*) en lecho fluidizado por lotes con ciclos de atemperado y su efecto sobre los carotenos. Tesis Maestría. E. N. C. B. – I. P. N.
- Farkas, J., Mohácsi-Farkas C. 1996. Application of differential scanning calorimetry in food research and food quality assurance. *Journal of thermal analysis*. 47:1787-13803.
- Fennema, O. R. 1985. Introducción a la ciencia de los alimentos. Editorial Revertè S. A. Parte 1. Barcelona, España.
- Foust, A. S. y Wenzel, L. A. 1987. Transferencia Simultánea de calor y masa - secado. Principio de Operaciones Unitarias. CECSA. México.
- Geankoplis, C. J. 1998. Procesos de transporte y operaciones unitarias. 3ra. Edición. Editorial CECSA. México.
- Geldart, D. 1973. Types of gas fluidization. *Powder Technol.* 7:285-292.
- Gowen, A. A., Abu-Ghannam, N., Frias, J. M., Barat, J. M., Andres, A. M., Oliveira, J. C. 2006. Comparative study of quality changes occurring on dehydration of cooked chickpeas (*Cicer Arietinum L.*) subjected to combined microwave-convective and convective hot air dehydration. *Journal of food science*. 71(6):E282-E289.
- Hall, C. E. 1966. Introduction to electron microscopy. McGraw-Hill.

- Hart, F., Leslie, A. M., Fisher, H. J. 1991. Análisis moderno de los alimentos. Ed. Acribia. 2da. reimpresión. Zaragoza. España.
- Keey, 1978. Citado por Barbosa-Cánovas, V. G., y Vegas, M. H. 1996. Dehydration of food. Ed. Chapman and Hall. USA.
- Kunii, D. y Levenspiel, O. 1991. Fluidization Engineering. Butterworth-Heinzmann. USA.
- Ladbury, J. E., Chowdhry, B. Z. 1998. Biocalorimetry. Applications of calorimetry in the biological sciences. Ed. Wiley. USA.
- Lewicki, P. P., Pawlak, G. 2005. Effect of mode of drying on microstructure of potato. Drying technology. 23:847-869.
- Lewicki, P. P. & Wiczowska, J. 2006. Rehydration of apple dried by different methods. International Journal of Food Properties. 9:217-226.
- Lisinska, G. & Golubowska G. 2005. Structural changes of potato tissue during French fries production. Food Chemistry. 93:681-687.
- Liu, Q., Lu, X., Yada, R. 2005. The effect of various potato cultivars at different times during growth starch content determined by DSC. Journal of thermal analysis and calorimetry. 79: 13-18.
- López, G. C. 2002. Interpretación microestructural del transporte de agua en tejido de papa durante el proceso de fritura por inmersión aceite. Tesis de Doctorado. E. N. C. B. – I. P. N.
- López, V. E. 2003. Secado de chícharo (*Pisum sativum*), por lote con ciclos de atemperado. Tesis licenciatura. Ingeniero bioquímico. ENCB-IPN. México.
- Lozano, J. E.; Urbican, M. J. & Rotstein, E. 1983. Shrinkage, porosity and bulk density of foodstuffs and changing moisture content. Journal of food Science. 48:1497-1502.
- Martínez N.N., Andrés, G.A.M., Chiralt, B.A. y Fito, M.P. 1999. Termodinámica y cinética de sistemas alimento entorno. 1ra. Edición. Editorial Servicio de Publicaciones. México (IPN) - España (UPV).
- Mayor, L. & Sereno, A. M. 2004. Modeling shrinkage during convective drying of food materials: a review. Journal of Food Engineering. 61:373-386.

- McCabe, W. L., Smith, J. C., Harriot, P. 2002 Operaciones unitarias en la ingeniería química. 6ta. edición. Editorial Mc Graw Hill. USA.
- Morales, Ch. N. 2004. Secado de papa (*Solanum tuberosum*) por lote con ciclos de atemperado. Tesis licenciatura. ENCB - IPN. México.
- Mujumdar, A. S. 1987. Handbook of industrial drying. A. S. Mujumdar. Ed., Marcel Dekker., Inc. New York.
- Mujumdar, A. S. 2000. Fluidized Bed Drying Technology. Devahastin, S. Ed. Mujumdar's Practical Guide to Industrial Drying Exergex Corp. Montreal.
- Pan, Y. K., Zhao, L. J., Dong, Z. X., Mujumdar, A. S., Kudra, T. 1999. Intermittent drying of carrot in a vibrated fluid bed: effect on product quality. Drying Technology – An international Journal. 17 (10): 2323-2340.
- Pan, Y. K., Wu, H., Li, Z. Y., Mujumdar, A. S., Kudra, T. 1997. Effect of a tempering period on drying of carrot in a vibro-fluidized bed. Drying Technology. 15(6-8):2037-2043.
- Prescott, L. M., Harley, J. P., Klein, D. A. 2000. Microbiología. Capítulo 2. Microscopia y preparación de muestras. 4ta. edición. Editorial Mc Graw-Hill – Interamericana.
- Ranganna, S. 1986. Handbook of analysis and quality control for fruit and vegetable products. 2nd Edition. McGraw-Hill Publishing Company. New Delhi.
- Raghavan, G. S. V., Rennie, T. J., Sunjka, P. S., Orsat, V., Phaphuangwittayakul, W. y Terdtoon, P. 2005. Overview of new techniques for drying biological materials with emphasis on energy aspects. Brazilian Journal of Chemical Engineering. 22 (02): 195-201.
- Reyes, A.; Moyano, P. & Paz, J. 2007. Drying of potato slices in a pulsed fluidized bed. Drying Technology. 25: 581-590.
- Rivera Bahena, D. 2007. Evaluación de la deshidratación de jitomate (*Lycopersicum esculentum*) en lecho vibrofluidizado considerando la retención de licopeno como parametro de calidad. Tesis Maestría. E. N. C. B. – I. P. N.
- Rojas-Molina, I.; Gutiérrez-Cortez, E.; Palacios-Fonseca, A.; Baños, L.; Pons-Hernández, J. L.; Guzmán-Maldonado, S. H.; Pineda-Gómez, P. y

- Rodríguez, M. E. 2007. Study of structural and thermal changes in endosperm of quality protein maize during traditional nixtamalization process. *Cereal Chem.* 84(4):304-312.
- San Martín, A. A. 2004. Efecto del secado por ciclos de atemperado sobre la actividad enzimática del nopal deshidratado. Tesis Maestro en Ciencias. ENCB - IPN. México.
 - SARH. 1994. Sistema-Producto Papa. Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos.
 - Seader, J. D., Henley J. E. 1998. Separation Process Principles. Ed. John Wiley & Sons. USA.
 - Sharma, S. K., Mulvaney, S. J., Rizvi, S. S. 2003. Ingeniería de los alimentos. Operaciones unitarias y prácticas de laboratorio. Editorial Limusa – Wiley. USA.
 - Stayler, E. M. 1970. Optical methods in biology. Wiley.
 - Tejeda, A.; Montesinos, R. M.; Guzmán, R. 1995. Bioseparaciones. Editorial Unison, Hermosillo Sonora, México.
 - Tolaba, M. P., Aguirre, R. J. y Suárez, C. 1999. Drying Simulation of corn with tempering. *Drying Technology.* 17(6) 1081-1093
 - Treybal, R. E. 1983. Secado. Operaciones de transferencia de masa Mc. Graw-Hill. México.
 - Vázquez, D. R. 2002. Termodinámica biológica. Editorial AGT editor, S. A. México.
 - Welty, J. R., Wicks C. S., Wilson, R. E. 1999. Fundamentos de transferencia de momento, calor y masa. 2da. edición. Editorial Noriega – Limusa. Colección de Libros Politécnicos.
 - Witrowa-Rajchert, D. & Lewicki, P. P. (2006) Rehydration properties of dried plant tissues. *International Journal Of Food Science and Technology.* 41:1040-1046.
 - Yacamán, M. J., Reyes, G. J. 1995. Microscopía electrónica. Una visión del microcosmos. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Fondo de Cultura Económica. México.

