

## La deshidratación como una alternativa en el aprovechamiento de residuos de repollo y lechuga para su utilización en alimentación animal

Luz M. Alzate T.<sup>1,2</sup>, Blanca L. Cardona S.<sup>2</sup>, Sara Hincapié<sup>2</sup>, Julián Londoño Londoño<sup>2</sup>, Claudio Jiménez Cartagena<sup>2</sup>

Recibido: 18 diciembre 2015 / Aceptado: 29 diciembre 2015

### ■ Resumen

**Introducción.** El consumo y comercialización de verduras se ha venido incrementando debido al reconocimiento de su valor nutricional. Sin embargo su comercialización y transformación genera residuos que representan un problema de salud pública. Colombia genera alrededor de 25.079 toneladas de residuos de origen orgánico por día, de las cuales 3.713 son generadas en Antioquia. Solo la Central Mayorista de Antioquia genera 12 m<sup>3</sup>/día de residuos de lechuga y repollo. Por ello una alternativa es su uso en la elaboración de premezclas para alimentación animal ya que son considerados fuente de carotenoides, importantes por su valor biológico. **Objetivo.** Se estudió el efecto del secado sobre la microestructura, color y Aw de los residuos de lechuga y repollo para el aseguramiento de su estabilidad en concentrados para animales. **Materiales y métodos.** La microestructura de los residuos fue analizada mediante microscopía electrónica de barrido, el cambio de color por coordenadas CIELAB y se determinaron las curvas de desorción y pérdida de humedad. **Resultados.** Las imágenes microscópicas evidenciaron cambios estructurales antes y después del secado, siendo mayores para la lechuga que tiene un tejido más delgado y frágil que el repollo. En cuanto al cambio de color, este fue muy notorio para el repollo, con un  $\Delta E$  fue 69,95, mientras que en la lechuga fue de 12,48. Las curvas de desorción y pérdida de humedad coincidieron con los modelos teóricos. **Conclusión.** Los resultados demuestran que una premezcla elaborada a partir de estos residuos tendrá estabilidad en el almacenamiento debido a la actividad acuosa obtenida.

**Palabras clave:** Microestructura, coordenadas de color, RGB, L\*a\*b\*, actividad acuosa, curva de desorción.

<sup>1</sup> Doctorado en Ciencias Farmacéuticas y Alimentarias, Facultad de Ciencias Farmacéuticas y Alimentarias, Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia. Email: lualzate@lasallistadocentes.edu.co

<sup>2</sup> Facultad de Ingenierías, Corporación Universitaria Lasallista, Caldas-Antioquia, Colombia.



## Dehydration as an alternative to the use of waste cabbage and lettuce for use in animal feed

### ■ Abstract

**Introduction.** The consumption and commercialization of vegetables has been increasing due to its nutritional value recognition. However its commercialization and processing generates residues representing a public health. Colombia produce 25,079 ton of organic wastes per day, from which 3,713 are generated by Antioquia. Only the "Central Mayorista de Antioquia" produces 12 m<sup>3</sup> per day of lettuce and cabbage. For this reason, an alternative to its use is to make a premix for animal alimentation, because are considered an important source of carotenoids as lutein, responsible of part of yolk color. **Objective.** It was studied the effect of drying process over microstructure, color and water activity of lettuce and cabbage residues to ensure stability in animal feeding. **Materials and methods.** The residues microstructure was analyzed through scanning electronic microscope (SEM), the color changes by CIELAB coordinates and desorption and moisture losses curves were determined. **Results.** The microscopic images shown structural changes before and after drying, being bigger to lettuce that has a thin and fragile tissue than cabbage. With regard to the color change, this was more evident in cabbage with a  $\Delta E$  of 69.95 while lettuce was 12.48. The sorption moisture losses curves matched the theoretical models. **Conclusion.** The results prove that a premix made of these residues will have stability during storage due to the water activity obtained.

**Key words:** Microstructure, Color coordinates, RGB,  $L^*a^*b$ , Water Activity, Desorption curve.

## A desidratação como uma alternativa no aproveitamento de resíduos de repollo e alface para sua utilização em alimentação animal

### ■ Resumo

**Introdução.** O consumo e comercialização de verduras se incrementou devido ao reconhecimento de seu valor nutricional. Embora sua comercialização e transformação gera resíduos que representam um problema de saúde pública. Colômbia gera ao redor de 25.079 toneladas de resíduos de origem orgânico por dia, das quais 3.713 são geradas em Antioquia. Só a Central Mayorista de Antioquia gera 12 m<sup>3</sup>/dia de resíduos de alface e repollo. Por isso uma alternativa é seu uso na elaboração de pré-misturas para alimentação animal já que são considerados fonte de carotenoides, importantes por seu valor biológico. **Objetivo.** Se estudou o efeito do secado sobre a microestrutura, cor e  $A_w$  dos resíduos de alface e repollo para a segurança de sua estabilidade em rações para animais. **Materiais e métodos.** A microestrutura dos resíduos foi analisada mediante microscopia electrónica de barrido, o câmbio de cor por coordenadas CIELAB e se determinaram as curvas de dessorção e perda de umidade. **Resultados.** As imagens microscópicas evidenciaram câmbios estruturais antes e depois do secado, sendo maiores para a alface que tem um tecido mais fino e frágil que o repollo. Em quanto ao câmbio de cor, este foi muito notório para o repollo, com um  $\Delta E$  foi 69,95, enquanto que na alface foi de 12,48. As curvas de dessorção e perda de umidade coincidiram com os modelos teóricos. **Conclusão.** Os resultados demostram que uma pré-mistura elaborada a partir de estes resíduos terá estabilidade no armazenamento devido à atividade aquosa obtida.

**Palavras Chave:** Microestrutura, coordenadas de cor, RGB,  $L^*a^*b^*$ , atividade aquosa, curva de dessecção.

## ■ Introducción

En los últimos años el consumo y comercialización de verduras se ha venido incrementando debido al reconocimiento de su valor nutricional ya que son ricas en minerales y vitaminas que contribuyen a mejorar y mantener la buena salud. (Ayala-Zavala et al., 2011, Silva et al., 2014). Sin embargo dichas actividades de comercialización y transformación generan gran cantidad de residuos y excedentes postcosecha que se convierten en focos de contaminación ya que al descomponerse aumentan su carga microbiana, especialmente coliformes fecales, mohos y levaduras y que además atraen a roedores e insectos, lo que representa un problema de salud pública para los centros de distribución incrementando también los costos de disposición de los mismos (Alzate T., 2013). A pesar de ello estos residuos y excedentes postcosecha son una oportunidad única para explorar su potencial en la extracción de fitoquímicos para ser usados en nutraceuticos, aditivos dietarios, alimentos y productos farmacéuticos y, de esta manera disminuir su impacto en el medio ambiente.

Se estima que en Colombia se generan alrededor de 25.079 toneladas de residuos de origen orgánico por día, de las cuales 3.713 son generadas por el departamento de Antioquia y 1.795 por la ciudad de Medellín (Superservicios, 2008). Puntualizando más el problema, solo en la Central Mayorista de Antioquia se generan diariamente 83 m<sup>3</sup> de residuos, siendo el 40% de éstos residuos orgánicos, procedentes de las labores de clasificación de los locales de comercialización de frutas y verduras (Antioquia, 2010). Por ejemplo diariamente se generan 8,17 m<sup>3</sup> de residuos de lechuga y 3,69 m<sup>3</sup> de repollo, constituidos en su mayoría por las hojas externas

que son retiradas durante las operaciones preliminares a su comercialización (Alzate T., 2013).

Sin embargo, estos residuos aún no han sido aprovechados eficientemente en nuestro país, en parte, porque su valor es aún desconocido y, sobretodo, por la falta de métodos apropiados para la preparación y caracterización de sustancias de mayor valor agregado con la suficiente calidad e inocuidad. Específicamente, los costos de secado, almacenamiento y transporte son factores que limitan económicamente su aplicación industrial y por lo tanto son a menudo utilizados con un escaso tratamiento como alimento para animales (Alzate T., 2013).

Dada esta gran cantidad de residuos y excedentes postcosecha generados, amerita que sea estudiada una alternativa para su conservación como lo es la deshidratación que garantice su estabilidad química, nutricional y microbiológica, permitiendo su uso en la elaboración de una premezcla para alimentación animal, ya que estos son considerados una fuente importante de carotenoides, pues en estudios anteriores se encontró que el aporte en mg de  $\beta$ -caroteno/100 g de muestra para el repollo es de 7,36 y para la lechuga 4,41 (Alzate T., 2013), compuestos principalmente por luteína (Álvarez et al., 2015), conocida por su función en la prevención de la degeneración macular asociada con la edad y sus propiedades antioxidantes antimutagénicas y anticarcinogénicas (Ribaya Mercado JD, 2004) y su poder de coloración en subproductos animales como yemas de huevo, canales de pollos y gallinas.

Por lo anterior, se ha convertido una costumbre generalizada que los productores de concentrados para animales incorporen pigmentos sintéticos para mejorar esta característica pero sin ningún beneficio nutricional, de ahí la importancia de agregar pigmentos naturales con los cuales se obtengan resultados similares y con un mayor



aporte de sustancias bioactivas (Beardsworth and Hernandez, 2013) (Hamelin and Altemueller, 2012).

Como los residuos deben estar deshidratados para ser adicionados en el concentrado del animal, es importante estudiar sus características como  $A_w$ , color y estructura con el fin de tener un producto en una forma más conveniente para su incorporación en el alimento concentrado, que además le dé cualidades especiales como sabor, textura y color. La disminución de la actividad acuosa, aumenta su estabilidad porque la probabilidad de crecimiento microbiano será menor (Berk, 2009).

En la deshidratación de los vegetales es necesario conocer el valor de la actividad acuosa del producto seco, por lo que es importante determinar la curva de desorción, en la cual se estudia el cambio en la actividad acuosa con respecto a la pérdida de humedad a una determinada temperatura. En la curva de desorción se grafica la humedad en base seca (eje Y) contra la actividad acuosa (eje X), cuya forma sigmoidea indica que al comienzo del proceso de deshidratación, sobre todo en alimentos con alto contenido de agua, como es el caso de los vegetales, la pérdida de humedad no presenta una disminución significativa en el valor de la actividad acuosa, pero se llega a un punto del proceso en el cual una pequeña disminución en contenido de humedad, causa una reducción importante en la actividad acuosa (Colina Irezabal, 2010) (Barbosa-Cánovas and Vega-Mercado, 2000).

Existen diferentes mecanismos por los cuales el agua es eliminada durante los procesos de deshidratación, en el caso de los tejidos vegetales, estos poseen una estructura porosa, con estrechos conductos llamados capilares, al comienzo de la deshidratación el agua es eliminada por capilaridad causando la disminución del diámetro de estos conductos,

provocando el encogimiento del alimento. Así, los elementos estructurales se van deformando reduciendo los espacios libres, que hacen que el agua se desplace por difusividad hacia la superficie del alimento que tiene menos concentración de agua. El entendimiento de dichos mecanismos da una idea del cambio físico que pueden sufrir los materiales vegetales al someterse a tratamientos térmicos, en este caso el contenido de humedad alto y las temperaturas usadas en procesos tradicionales de secado como el convectivo, provocan la contracción de su estructura; por ello en el caso de la pmezclas que se elaboran con dichos vegetales no tendrá importancia este cambio, ya que estas se usan secas; en caso contrario de que se requiera rehidratar se debería realizar un secado a bajas temperaturas como la liofilización en el cual se obtiene una estructura porosa que facilita la hidratación (Barbosa-Cánovas and Vega-Mercado, 2000).

Por lo anterior se pretende estudiar el efecto que tiene el secado sobre los residuos de lechuga y repollo de tal manera que puedan ser incorporados a los concentrados para animales sin afectar su estabilidad e inocuidad, conservando su color y calidad nutricional.

## ■ Materiales y métodos

### Preparación de muestras y materiales

Los residuos se recogieron en la Central Mayorista a los locales que los comercializan, para utilizarlos el mismo día en los ensayos. Fueron lavados y desinfectados con un desinfectante a base de ácido peracético al 15% (Titan 15% Plus, Diken, México) a razón de 1,3 mL por litro de agua, durante 20 minutos. Luego las hojas de repollo y lechuga se cortaron en trozos rectangulares de 7 cm de largo por 1 cm de ancho, con el grosor natural de la hoja, de 1 mm para el repollo y 0,5 mm para la lechuga y así proceder a su secado.

## Estructura microscópica de los residuos

Para analizar la estructura de los residuos húmedos se utilizó un microscopio óptico dotado de cámara fotográfica (Motic, China). Las fotos se tomaron con objetivos de 10 X y 40 X y se midió el tamaño de los poros mediante el software Motic del microscopio. Para dar contraste a las muestras en alguna de ellas se utilizó azul de lactofenol (Flint, 1996).

Los residuos deshidratados fueron analizados utilizando un microscopio de barrido electrónico JEOL JSM 6490 LV. Las muestras se fijaron en una cinta de grafito, a las cuales se les realizó un recubrimiento delgado en oro (Au) utilizando un equipo DENTON VACUUM Desk IV. Luego éstas se analizaron en el microscopio electrónico de barrido en alto vacío con el fin de obtener imágenes en alta resolución. Se empleó el detector de electrones secundarios para evaluar la morfología y topografía de las muestras (Kuo, 2008).

## Análisis de color

Para la medición del color se utilizó un analizador de color de Saturación y Luminancia, modelo RGB-1002 (Lutron Electronics, Taiwan). Los datos obtenidos en la escala RGB fueron convertidos al modelo CIE  $L^*a^*b^*$ , utilizando el software CIE Color Calculator (Lindbloom, 2012).

Para el cálculo del cambio en el color se utilizó la siguiente ecuación:

$$\Delta E = \sqrt{(L_0 - L)^2 + (a_0 - a)^2 + (b_0 - b)^2}$$

### Ecuación 1

Dónde:  $\Delta E$  = Cambio en el color

$L$ : Luminosidad (0=Negro y 100=Blanco).

$a$ : Cambio de rojo a verde (-60=Verde y 60=Rojo).

$b$ : Cambio de azul a amarillo (-60=Azul y 60=Amarillo) (Chong et al., 2013).

El cambio de color puede analizarse mediante un rango de tolerancia en el cual de cero a tres significa una diferencia apenas notoria, de 4 a 6 una diferencia notable y mayor de 7 una fuerte diferencia de color (Ploumidis, 2008).

## Construcción de la curva de desorción

Para construir la curva de desorción se utilizó metodología empleada por Soteras y colaboradores (Soteras et al., 2014); para ello se reservó una muestra para tomar humedad y actividad acuosa inicial. Los residuos fueron secados en un horno de convección forzada (Memmert®, Alemania), a 50°C, dispuesto en un cuarto cerrado con humedad relativa controlada a 40%, mediante un deshumidificador (kenmore, Modelo 580.52450, Sears, Roebuck and Co., USA). En el mismo cuarto cada 20 minutos se tomaron muestras de producto para determinar contenido de humedad por el método gravimétrico y actividad acuosa utilizando un Aqualab Series 3 (Decagon devices, USA) por la técnica de punto de rocío. Las mediciones se realizaron hasta alcanzar masa constante.

Con los datos de masa se calculó la humedad en base seca, como se muestra en la ecuación 2, se graficó la curva de desorción con respecto a humedad en base seca en el eje Y y el  $A_w$  en el eje X.

$$X = \frac{m - m_{ss}}{m_{ss}}$$

### Ecuación 2

Dónde:  $X$  = (Humedad en base seca).

$m$  = masa de la muestra húmeda.

$m_{ss}$  = masa de sólido seco.



## Construcción de las curvas de pérdida de humedad.

Con la humedad en base seca calculada como se muestra en el aparte anterior y los datos de tiempo de secado se grafica la curva de pérdida de humedad con la humedad en base seca en el eje Y y el tiempo en el eje X.

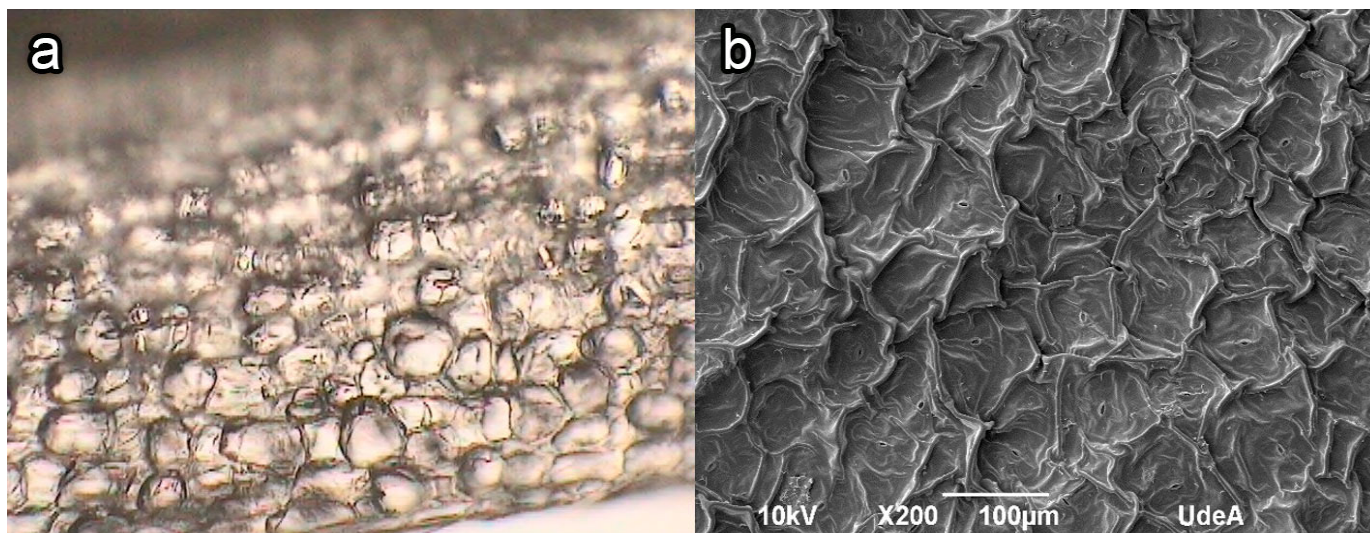
## ■ Resultados y discusión

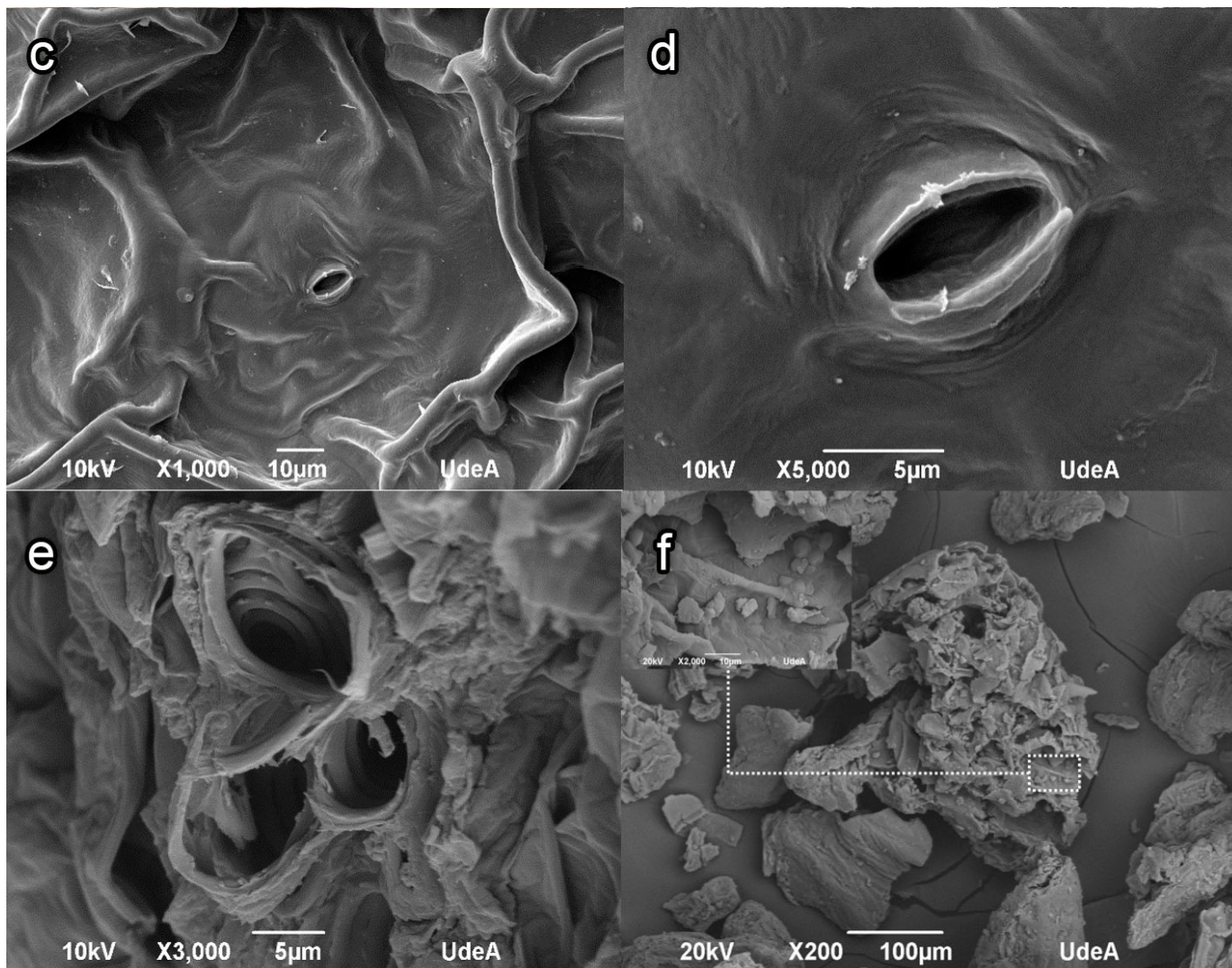
### Efectos del secado sobre los residuos

Los procesos de secado inducen una gran variedad de cambios en los alimentos que incluyen cambios físicos, químicos o fisicoquímicos. Sin embargo únicamente los cambios físicos están más directamente relacionados a los cambios en la microestructura de los materiales, aunque los cambios microestructurales también afectan otros tipos de cambios bien sea químicos o bioquímicos, debido a que pueden afectar la vía por la cual el calor y la masa se deben transferir (Niamnuy et al., 2014).

## Efectos del secado en la microestructura de los residuos.

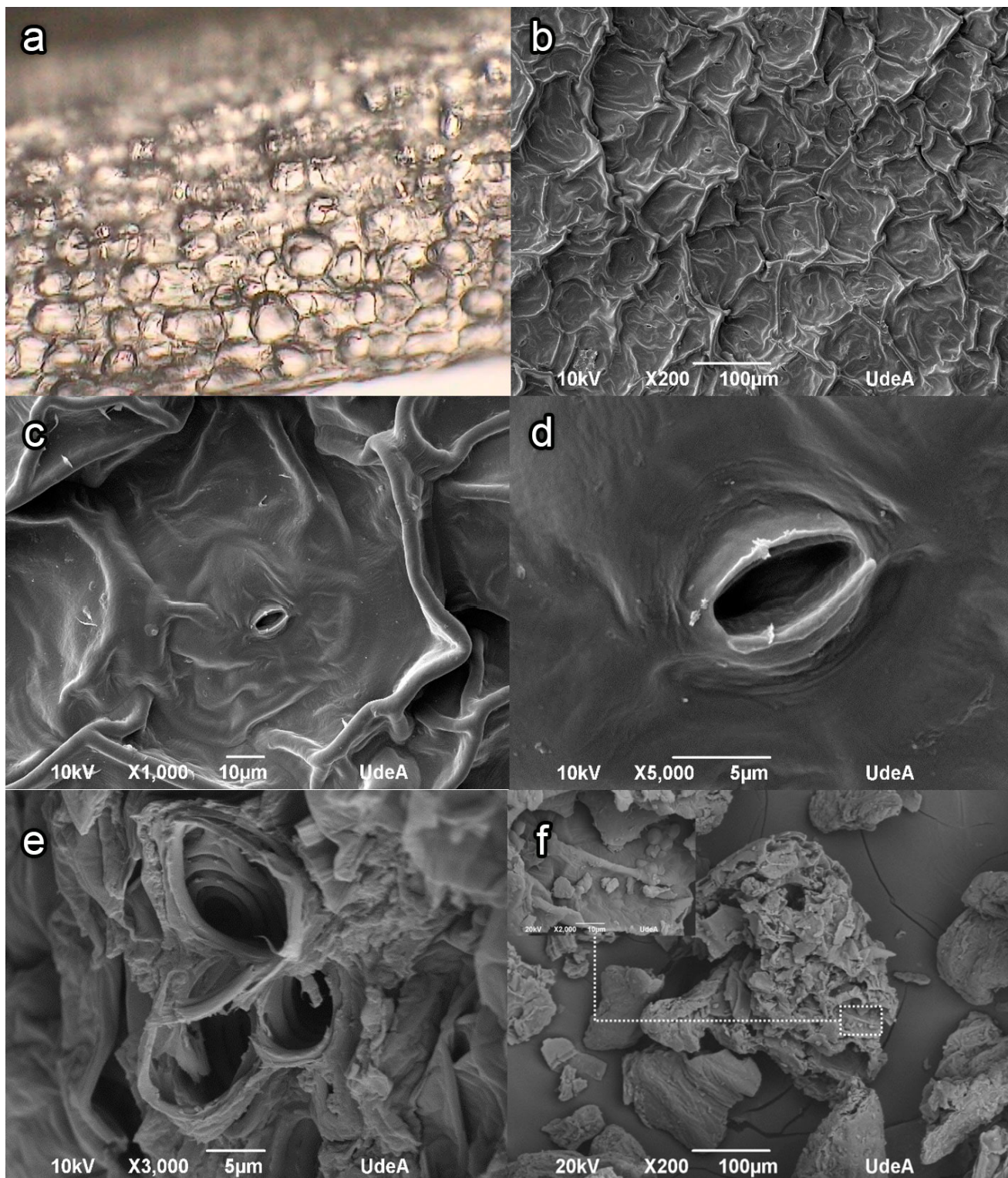
Para observar los cambios microestructurales producidos por el secado, actualmente se usan diferentes técnicas de microscopía como la electrónica de barrido y la microscopía electrónica de transmisión. Dichas técnicas permiten hacer una comparación entre el alimento fresco y seco para observar daños en la pared celular y en la membrana citoplasmática (Marín et al., 2006). A continuación se presenta la estructura microscópica de los residuos húmedos observados al microscopio óptico y de los secos observados en SEM, con diferentes cortes y magnificaciones (figuras 1 y 2).





**Figura 1. Estructura interna del repollo visto al microscopio.**

- a) Corte transversal de un trozo visto en microscopio óptico con objetivo de 10X .
- b) Fotografía de SEM del enves deshidratado a 200x.
- c) Fotografía SEM acercamiento del enves deshidratado a 1000x
- d) Fotografía SEM acercamiento al estoma a 5000X.
- e) Fotografía SEM corte longitudinal a 3000X.
- f) Fotografía SEM del repollo deshidratado y molido a 200X y 2000X en el recuadro superior.



**Figura 2.** Estructura interna de la lechuga vista al microscopio.

a) Corte transversal de un trozo de la lechuga húmeda vista en microscopio óptico con objetivo de 10X. b) Fotografía de SEM de la lechuga deshidratada a 200x. c) Fotografía SEM acercamiento de la lechuga deshidratada a 1000x. d) Fotografía SEM acercamiento al estoma a 5000X. e) Fotografía SEM corte transversal 8000X de la lechuga deshidratada. f) Fotografía SEM de la lechuga deshidratada y molida a 200X y 200X en el recuadro superior.



Con las fotografías tomadas en el microscopio óptico para producto fresco y en el electrónico para producto seco, se determinaron los cambios estructurales a nivel interno y externo, en cuanto a preservación de la pared celular y cambio de tamaño en los poros. En Tabla 1 se puede apreciar el diámetro en micras de la

red interna de los residuos antes y después del secado. Aunque el tamaño de las celdas en todo el vegetal no es uniforme, si puede dar una idea de cómo el secado provoca el encogimiento, por lo que los datos se han reportado como el promedio de tres mediciones vistas en un campo aleatorio del microscopio.

**Tabla 1.** Cambios en los diámetros de la estructura interna\*.

Residuo	Diámetro en micras $\mu\text{m}$		Razón de encogimiento
	Fresco	Seco	
Repollo Enves (cara interna de la hoja)	573,67 $\pm$ 38,02	71,30 $\pm$ 2,60	8,05
Lechuga Enves (cara interna de la hoja)	630,47 $\pm$ 25,32	32,40 $\pm$ 3,67	19,46

\*promedio de tres mediciones  $\pm$  la desviación estándar

Para el repollo se puede observar en la figura 1 a y b el cambio sufrido por la estructura durante el secado. En el producto fresco se aprecian células hidratadas, mientras que en el seco se observa un encogimiento en la pared celular pero conservando la forma geométrica, además se observa en la figura 1 c y d del producto seco una estructura repetitiva en el centro de la celda que corresponde a los estomas responsables del intercambio de gases en el proceso respiratorio de las hojas (Berg, 2008). En la figura 1 e, correspondiente al corte transversal de la hoja del repollo, se observan estructuras huecas con un área de alrededor de 7,97 X 3,43  $\mu\text{m}$ , que corresponden a los capilares que transportan los líquidos en la planta y conservan la rigidez de la pared. En cuanto al tamaño de las celdas se observó que el proceso de secado induce a un extensivo encogimiento celular pues en estado seco son 8 veces más pequeñas que en fresco. Similares resultados en cuanto a la estructura obtuvieron Laurienzo y colaboradores al deshidratar manzanas con aire caliente (Laurienzo et al., 2013).

La lechuga presenta una estructura similar al repollo cuando está fresco, en la que también se observan células hidratadas un poco más pequeñas, mientras que cuando está deshidratada, presenta colapsamiento de las paredes celulares y no se observan estructuras geométricas definidas, debido a que el tejido de la lechuga es más delgado y frágil que el repollo y con una razón de encogimiento de 19,46, mayor que en el repollo. También se pueden apreciar estomas con un área de alrededor de 13,29 X 3,45  $\mu\text{m}$  de mayor tamaño que los observados en el repollo.

El repollo y la lechuga seca son productos que naturalmente tienen tendencia a hidratarse ya que su humedad de equilibrio con el medio ambiente es muy alta, por lo que se recomienda que el almacenamiento una vez finalizado el proceso de secado sea en un empaque al vacío (Barbosa-Cánovas and Vega-Mercado, 2000), (Colina Irezabal, 2010).



## Efectos del secado en el color de los residuos de repollo y lechuga

El color es uno de los más importantes indicadores de calidad en los alimentos y en los productos agrícolas, por lo que cambios indeseables en él pueden hacer que estos pierdan calidad y valor en el mercado. Los cambios en el color durante y después de las operaciones de secado pueden ser producidos por reacciones enzimáticas y no enzimáticas como la reacción de Maillard y la caramelización (Adiletta et al., 2015).

Los resultados muestran que el proceso de secado produjo cambios significativos en los valores de color. La lechuga y el repollo secos tuvieron una disminución en el valor de L, lo que significa que tendieron a oscurecerse, siendo más notorio en el repollo, pues este pasa de 56,12 a 10,88 y para la lechuga de 34 a 24. En los valores de  $a^*$  se encontró un aumento en la escala para el repollo, pues pasa de -54,73 a -2,05 y muy poca disminución en la lechuga, que pasa de -4 a -5. Para los valores de  $b^*$  se encontró una tendencia hacia el amarillo por el aumento en dicha escala para la lechuga de 9 a 16 y para el repollo una disminución de 15,66 a 7,19 que indica una tendencia hacia el azul.

Los valores de longitud de onda permiten establecer el rango de color en el que se encuentra cada producto de acuerdo a  $\lambda$  obtenida, donde los valores entre 500 y 570 indican un matiz verde y de 570 a 590 amarillo. De acuerdo a estos rangos de longitudes de onda se observa que el repollo aumenta su matiz amarillo y la lechuga mantiene un matiz verde, quedando en el límite hacia el matiz amarillo.

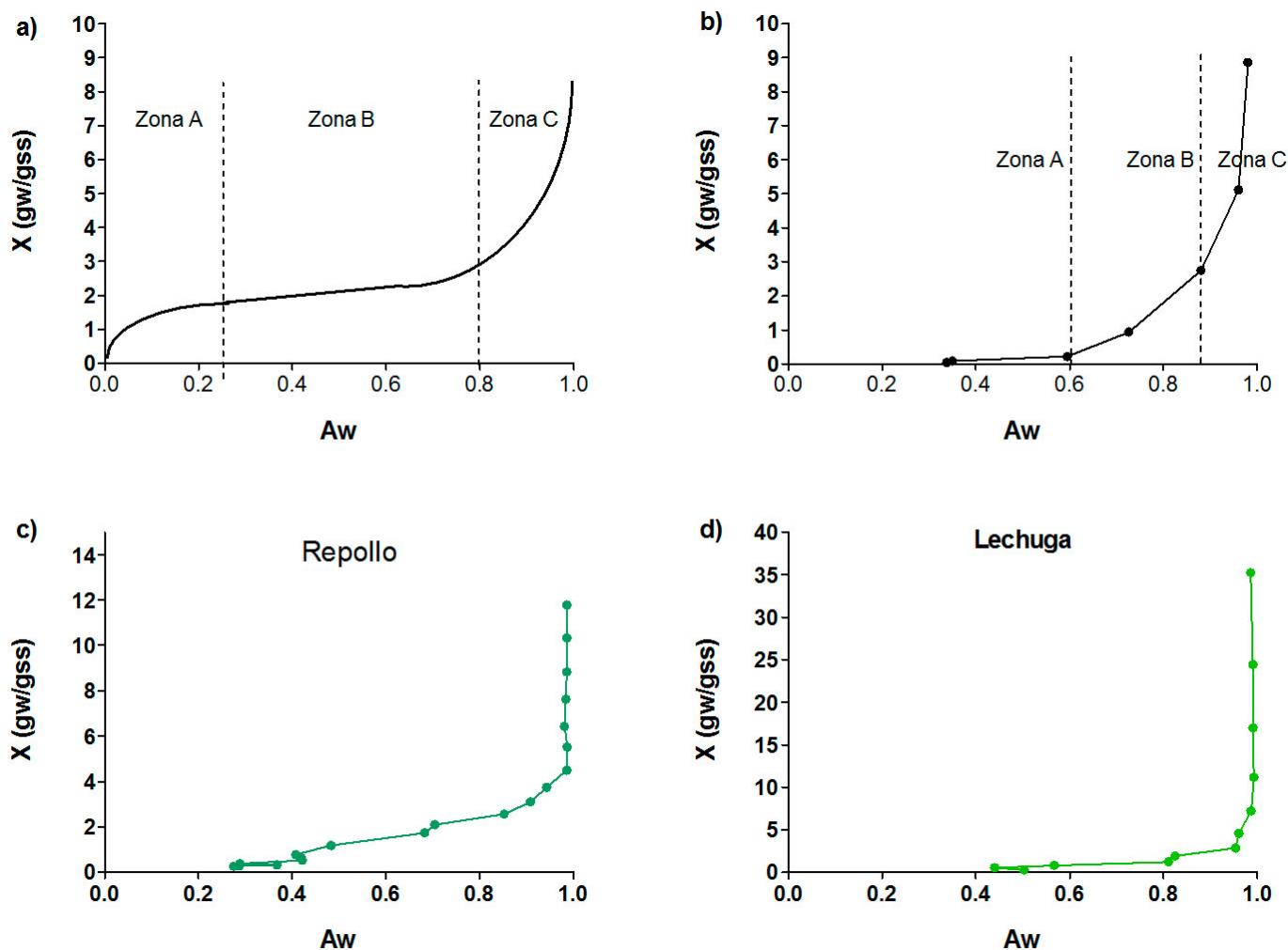
De acuerdo a la ecuación del cambio de color, este fue muy notorio para el repollo, donde el valor obtenido de  $\Delta E$  fue 69,95, mientras que en la lechuga fue menor con un valor de 12,48. Estos cambios de color pueden deberse a la presencia de clorofilas tipos a (Verde azulado) y clorofilas b (Verde amarillento). Por la eliminación del Mg

las clorofilas se transforman en feofitinas a y b de color oliva parduzco, además la sustitución del ión  $Mg^{++}$  presente en la clorofila, por  $Fe^{++}$  y  $Sn^{++}$  da lugar a la formación de colores pardo grisáceos, reacciones que tienen lugar durante los procesos de calentamiento (Maiocchi and Avanza, 2004).

## Curvas de desorción

Las curvas de desorción representan la pérdida de humedad con respecto a la disminución de la actividad acuosa a un valor determinado de temperatura y está relacionada con la forma en que se distribuye el agua en la matriz alimentaria (Damodaran et al., 2007). En la figura 3 y b, se observan tres zonas; la zona C representa el agua libre en el alimento que es fácilmente removida en el proceso de deshidratación, que además propicia el crecimiento de microorganismos, reacciones químicas y enzimáticas, además es donde se percibe que grandes cambios en el contenido de humedad produce pequeños cambios en el  $A_w$ , de manera general cuando se ha eliminado todo el agua tipo C, el contenido de humedad del alimento puede estar entre 15 y 35% y la actividad del agua mayor de 0,8, valores que dependen del tipo de alimento y la temperatura de secado. La Zona B representa el agua débilmente ligada y se desarrollan las reacciones de oxidación lipídica y de oscurecimiento no enzimático, en este caso una pequeña eliminación de agua reduce de modo notable el  $A_w$ ; cuando se ha eliminado el agua de esta zona el alimento contiene de 3 a 15% de humedad. La Zona A corresponde al agua fuertemente ligada, muy difícil de remover, por lo que en la mayoría de los alimentos esta agua no se elimina ya que se produce un deterioro irreversible en características físicas, químicas y sensoriales, aún con la presencia de esta agua se logra la conservación del alimento, ya que desde el final de la etapa B se ha inhibido el crecimiento microbiano y la mayoría de las reacciones químicas y enzimáticas, pero todavía

se puede presentar oxidación lipídica (Colina Irezabal, 2010).



**Figura 3.** Isothermas de sorción de agua en alimentos teóricas y obtenidas.

- a) curva modelo con bajo contenido de agua.
- b) curva modelo con alto contenido de agua.
- c) Curva obtenida para el repollo.
- d) Curva obtenida para la lechuga.

De acuerdo a lo anterior, las curvas de sorción obtenidas para lechuga y repollo de la figura 1c y d, coinciden con el modelo teórico mostrado en la figura 3, ya que estos alimentos tienen altos contenidos de humedad. La lechuga terminó con una actividad acuosa alrededor de 0,4, y el repollo 0,3, en este punto hay seguridad que se han inhibido las reacciones químicas y enzimáticas, así como el crecimiento de microorganismos, como los dos tienen bajo contenido de grasa no hay peligro de reacciones de oxidación lipídica que puedan ocasionar problemas durante el almacenamiento de la premezcla.



## Curvas de pérdida de humedad

En la Figura 4 se pueden apreciar las diferentes etapas del proceso de deshidratación. Entre A y B hay un período de estabilización de condiciones en la cual la superficie del sólido se equilibra con el aire de secado y se llega a la temperatura de evaporación del agua a las condiciones del secado, esta etapa es imperceptible en algunos productos dependiendo de la forma en que esté localizada el agua dentro del alimento. La etapa B-C corresponde a la evaporación del agua libre, durante la cual la superficie del producto

se mantiene saturada de agua, en este caso la deshidratación se logra por evaporación del agua desde la superficie del producto hacia la corriente de aire, aquí la temperatura del agua en la superficie corresponde a la de bulbo húmedo del aire de secado. Entre C y D se da la remoción del agua que está débilmente ligada en el alimento y entre D y E, se remueve el agua que está más hacia el interior de la matriz alimentaria; en estas dos últimas etapas la superficie del alimento comienza a resecaarse y la temperatura de la superficie del producto aumenta hasta llegar a la de bulbo seco del aire de secado (Colina Irezabal, 2010).

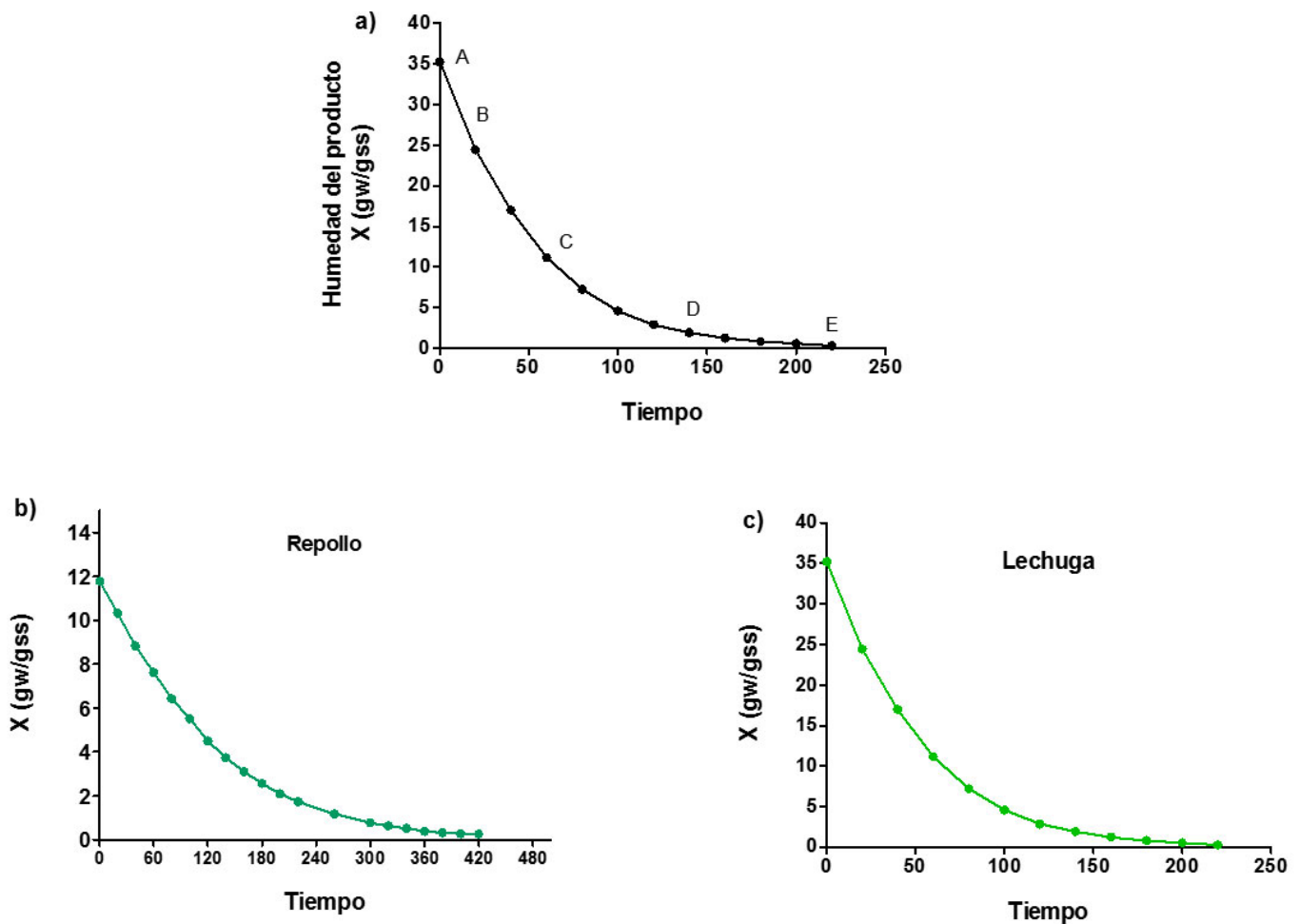


Figura 4. Curva típica de pérdida de humedad en alimentos.

Relacionando las figura 3 y 4 la zona comprendida entre A y C de la figura 4, corresponde a la Zona C de la figura 3, de C a D a la Zona B y de D a E a la Zona A. Según esto las curvas de secado obtenidas de repollo y lechuga corresponden con el modelo teórico propuesto en la literatura (Barbosa-Cánovas and Vega-Mercado, 2000) y se puede afirmar que se logró eliminar el agua libre y la débilmente ligada inhibiéndose las reacciones químicas y enzimáticas además del crecimiento microbiano.

Relacionando los fenómenos de secado explicados anteriormente con los cambios microestructurales revelados por las fotografías en el microscopio óptico y SEM, se puede decir que para estos residuos en gran parte del proceso de secado la remoción del agua del interior a la superficie se da por capilaridad y al final cuando se va perdiendo la integridad de la estructura el paso del agua de la parte interna a la superficie se da por el fenómeno de difusividad.

Comparando con otros estudios de secado para los productos trabajados, en el caso del repollo la actividad acuosa obtenida al final del tratamiento fue de 0,27 con un tiempo de secado de 420 minutos, similares a los obtenidos Phungamngoen y colaboradores, coincidiendo también la curva de pérdida de humedad obtenida, quienes también utilizaron secado por aire caliente. Igualmente reportan un oscurecimiento del repollo después de secado (Phungamngoen et al., 2013).

Para el caso de la lechuga comparado con un estudio realizado de liofilización en microondas con corazones de lechuga, la gráfica de pérdida de humedad sigue la misma tendencia, los autores también obtuvieron cambios similares en la microestructura y el color después del secado, con la diferencia de que los corazones de lechuga estaban congelados por lo que tomaron más tiempo en el secado que las hojas de lechuga usadas en este estudio (Wang et al., 2012).

## ■ Conclusiones

Los cambios estructurales observados durante el proceso de secado se evidencian en la fotografías antes y después del secado, siendo mayores para la lechuga que está constituida por tejido delgado y frágil en cambio el repollo con tejido más fuerte conserva su estructura.

Los datos obtenidos en las mediciones de color mostraron la influencia que tiene el proceso de secado sobre éstos, siendo muy notorio el oscurecimiento producido después del secado, en el repollo y lechuga, debido al cambio inducido en la clorofila por la temperatura.

De acuerdo a los resultados obtenidos en este estudio tanto los residuos de repollo como lechuga deshidratados podrán ser utilizados en una premezcla para alimentación animal, gracias a que los valores obtenidos de actividad acuosa de 0,4 o menos, permiten tener una excelente estabilidad en el almacenamiento, ya que se sabe por otros estudios realizados, que a estos valores hay inhibición de los procesos enzimáticos, reacciones químicas y crecimiento microbiano; sin embargo gracias a su higroscopicidad estos deben ser almacenados en un ambiente seco, preferiblemente empacados al vacío.

## ■ Agradecimientos

Este trabajo fue realizado gracias a los aportes realizados por la Secretaría de agricultura y desarrollo de la gobernación de Antioquia, a través del fondo de ciencia y tecnología (Sistema General de Regalías) (Contrato 4600001050), y al Departamento de Investigación de la Corporación Universitaria Lasallista. Los autores agradecen a la Central Mayorista de Antioquia por facilitar los residuos.



## ■ Referencias

- Adiletta, G., Russo, P., Senadeera, W., Di Matteo, M. (2015). Drying characteristics and quality of grape under physical pretreatment. *J. Food Eng.*
- Álvarez, M.V., Hincapié, S., Saavedra, N., Alzate, L.M., Muñoz, A.M., Londoño-Londoño, J., Jiménez Cartagena, C. (2015). Exploring feasible sources for lutein production: food by-products and supercritical fluid extraction, a reasonable combination. *Phytochem. Rev.* 1, 10–15.
- Alzate T., L.M. (2013). Aprovechamiento de residuos agroindustriales para la producción de alimentos funcionales: una aproximación desde la nutrición animal. Universidad de Antioquia. Antioquia, C.M. de, 2010. Manejo Integral de Residuos Sólidos.
- Ayala-Zavala, J.F., Vega-Vega, V., Rosas-Domínguez, C., Palafox-Carlos, H., Villa-Rodríguez, J.A., Siddiqui, M.W., Dávila-Aviáa, J.E., González-Aguilar, G.A. (2011). Agro-industrial potential of exotic fruit byproducts as a source of food additives. *Food Res. Int.* 44, 1866–1874.
- Barbosa-Cánovas, G. V., Vega-Mercado, H. (2000). Deshidratación de alimentos. Acribia, Zaragoza.
- Beardsworth, P.M., Hernandez, J.-M. (2013). Yolk colour – an important egg quality attribute. *Int. Poultry Prod.* 12, 2.
- Berg, L. (2008). *Introductory Botany: Plants, People, and the Environment*, Media, Second ed. Thomson.
- Berk, Z. (2009). Dehydration. In: *Food Process Engineering and Technology*. Elsevier, USA, pp. 459–510.
- Chong, C.H., Law, C.L., Figiel, A., Wojdyło, A., Oziembłowski, M. (2013). Colour, phenolic content and antioxidant capacity of some fruits dehydrated by a combination of different methods. *Food Chem.* 141, 3889–96.
- Colina Irezabal, M.L. (2010). Deshidratación de Alimentos. Trillas, Mexico.
- Damodaran, S., Parkin, K.L., Fennema, O.R. (2007). *Fennema's Food Chemistry*, Fourth. ed. CRC Press.
- Flint, O. (1996). *Microscopia de los Alimentos: manual de métodos prácticos utilizando la microscopía óptica*. Acribia, Zaragoza.
- Hamelin, C., Altemueller, U. (2012). The effect of carotenoids on yolk and skin pigmentation. *World Poultry*.
- Kuo, J. (2008). *Electron Microscopy, Conventional specimen preparation techniques for scanning electron microscopy of biological specimens*. Humana Press.
- Laurienzo, P., Cammarota, G., Di Stasio, M., Gentile, G., Laurino, C., Volpe, M.G. (2013). Microstructure and olfactory quality of apples de-hydrated by innovative technologies. *J. Food Eng.* 116, 689–694.
- Lindbloom, B. (2012). CIE Color Calc. Disponible en: <http://www.brucelindbloom.com/index.html?ColorCalculator.html> (accessed 10.22.15).
- Maiocchi, M.G., Avanza, J.R. (2004). Degradación de clorofilas y feofitinas a diferentes temperaturas en *Ilex dumosa* e *Ilex paraguariensis*. *Comunicaciones Científicas y Tecnológicas* Univ. Nac. del Nord. Argentina Resumen E-, 1–4.
- Marín, E., Lemus, R., Flores, V., Vega, A. (2006). La rehidratación de alimentos deshidratados. *Rev. Chil. Nutr.* 33.



Niamnuy, C., Devahastin, S., Soponronnarit, S. (2014). Some recent advances in microstructural modification and monitoring of foods during drying: A review. *J. Food Eng.* 123, 148–156.

Phungamngoen, C., Chiewchan, N., Devahastin, S. (2013). Effects of various pretreatments and drying methods on Salmonella resistance and physical properties of cabbage. *J. Food Eng.* 115, 237–244.

Ploumidis, D.(2008). Color Perception. e-FlexoGlobal — Tech. *J. Glob. Flexo Ind.*  
Ribaya Mercado JD (2004). Lutein and zeaxanthin and their potential roles in disease prevention. *J. Am. Coll. Nutr.* 567S–587S.

Silva, L.M.R. da, Figueiredo, E.A.T. de, Ricardo, N.M.P.S., Vieira, I.G.P, Figueiredo, R.W. de,

Brasil, I.M., Gomes, C.L. (2014). Quantification of bioactive compounds in pulps and by-products of tropical fruits from Brazil. *Food Chem.* 143, 398–404.

Soteras, E.M., Gil, J., Yacanto, P., Muratona, S., Abaca, C., Sustersic, M.G. (2014). Isotermas de adsorción y desorción de agua en leche en polvo: II. leche entera. *Av. en Ciencias e Ing.* 5, 57–66.

Superservicios. (2008). Situacion de la disposicion final de residuos sólidos en colombia introduccion [WWW Document].

Wang, Y., Zhang, M., Mujumdar, A.S., Mothibe, K.J., Roknul Azam, S.M. (2012). Effect of blanching on microwave freeze drying of stem lettuce cubes in a circular conduit drying chamber. *J. Food Eng.* 113, 177–185.