

**Título de la Tesis: “Diseño y simulación de la deshidratación de ajo y cebolla”**

**Doctorado en Ingeniería Química**

**Autor: Pezzutti, Adriana**

**Director: Dr. Guillermo Crapiste**

## **Resumen**

El diseño, la simulación y la optimización del proceso de deshidratación requieren principalmente de un conocimiento preciso de las propiedades fisicoquímicas y térmicas, del comportamiento sorcional, de la cinética de secado y de los fenómenos de encogimiento del material a procesar. En particular, cuando se consideran alimentos de gran potencial aromático que se emplean básicamente como especias o condimentos más que como fuente de nutrientes, como en el caso de ajo y cebolla, se incorpora una necesidad adicional: conocer sus propiedades organolépticas más importantes y la variación o alteración de las mismas a lo largo del proceso.

Teniendo en cuenta que la rentabilidad del proceso de secado y la buena calidad del producto final dependen fundamentalmente de las características de las materias primas y de las condiciones de operación, los objetivos de este trabajo de investigación fueron: (1) la caracterización de distintos materiales alimenticios pungentes, particularmente variedades locales de ajo, Colorado (C) y Blanco (B), y cebolla, Valenciana Sintética 14 (VS14), y del cultivar de cebolla Southport White Globe (SWG) producido en la provincia de Mendoza; (2) el estudio comparativo del comportamiento de secado y el deterioro organoléptico (basado en el cambio de color y pungencia) a causa del proceso y por último (3), el desarrollo de un modelo capaz de predecir de manera confiable la deshidratación y las pérdidas del aroma, sabor y color de estos alimentos.

La primera etapa de este trabajo (Capítulo 1) tuvo como finalidad la caracterización de los productos, basada fundamentalmente en el estudio y determinación de sus propiedades fisicoquímicas y térmicas, el comportamiento sorcional y los fenómenos de encogimiento. En cuanto a las propiedades, se implementaron las técnicas

## Título de la Tesis: “Diseño y simulación de la deshidratación de ajo y cebolla”

Doctorado en Ingeniería Química

Autor: Pezzutti, Adriana

Director: Dr. Guillermo Crapiste

---

analíticas necesarias para la determinación de sólidos totales, densidad, color, pungencia, azúcares y pH tanto en el producto fresco como procesado, como así también otros parámetros de calidad especificados por las normas existentes para el material deshidratado. En general, no se hallaron diferencias significativas al comparar las características de los distintos cultivares de ajo, sin embargo la cebolla SWG resultó ser la variedad más adecuada para fines de secado, básicamente por su elevado contenido de sólidos, alta pungencia y su coloración blanca.

Se analizó la influencia de la deshidratación sobre el encogimiento volumétrico y superficial, observándose que este fenómeno está originado principalmente en una contracción en la dirección del espesor. También se determinaron experimentalmente las isotermas de sorción de ajo y desorción de cebolla en función de la temperatura, utilizándose un higrómetro para la medida de la humedad relativa de equilibrio. Las curvas obtenidas correspondieron a las típicas curvas sigmoideas de muchos alimentos. El efecto de la temperatura fue más marcado en el caso de ajo y los resultados obtenidos para las dos variedades de cada producto fueron prácticamente coincidentes. Se comprobó que el fenómeno de histéresis, estudiado en ajo, disminuye al aumentar la temperatura. Tanto los datos experimentales de encogimiento como los correspondientes al equilibrio sorcional fueron representados a través de modelos existentes en la literatura.

El Capítulo 2 tuvo como objetivo realizar un estudio de la cinética de secado de los cuatro productos. Para el análisis se consideró un geometría de placa plana. Se empleó un secadero discontinuo de laboratorio con circulación de aire forzada a través del material. Se analizó la influencia de la temperatura, velocidad y humedad relativa del aire como así también del espesor de muestra sobre las curvas de secado. Se encontró que la velocidad de secado aumenta con la temperatura y el flujo de aire, siendo más sensible la variación cuando se consideran los valores más bajos de estas variables, lo que indicaría que las resistencias externas al transporte de calor y masa contribuyen en alguna medida a la resistencia global. Se observó que el efecto de la humedad relativa

**Título de la Tesis: “Diseño y simulación de la deshidratación de ajo y cebolla”**

**Doctorado en Ingeniería Química**

**Autor: Pezzutti, Adriana**

**Director: Dr. Guillermo Crapiste**

también debe ser considerada, especialmente para los valores más elevados y más aún en el caso de cebolla. Por otra parte, la indicación de que la resistencia interna a la migración de agua es verdaderamente importante fue dada por la gran dependencia de la velocidad de secado con el espesor de muestra.

La cinética de secado se representó adecuadamente mediante diferentes modelos difusivos. La primera etapa de secado, correspondiente a contenidos de humedad relativamente altos, fue simulada con un modelo difusivo con control mixto; mientras que la aplicación de un modelo difusional puro resultó suficiente para predecir el comportamiento de la zona de bajos niveles de humedad. A partir de los mismos se hallaron las difusividades efectivas para cada producto en función de la temperatura y el contenido de agua. Para la evaluación de esta propiedad de transporte en la zona húmeda fue necesario implementar un método iterativo que empleó regresión no lineal y que involucró numerosos cálculos relacionados fundamentalmente con el coeficiente externo de transferencia de masa y los cambios en las dimensiones del producto debido al encogimiento.

Una comparación entre las difusividades halladas en la zona húmeda por ambos métodos reveló que en esta etapa la resistencia externa al transporte de agua se debe contabilizar en la resistencia global del proceso. Los valores de difusividad efectiva en la zona seca resultaron prácticamente un orden de magnitud menores que los encontrados en la región de altos niveles de humedad. Los modelos empleados representaron adecuadamente la cinética de secado de ajo y cebolla en función de las condiciones de proceso.

Teniendo en cuenta que el proceso de deshidratación provoca pérdidas grandes e inevitables del aroma y sabor (pungencia), y la importancia de preservar estas características tan particulares del ajo y la cebolla, la finalidad del Capítulo 3 fue determinar experimentalmente el deterioro de estas propiedades organolépticas en función de la temperatura y el contenido de agua. El deterioro se cuantificó a través de la variación de la concentración de ácido pirúvico (total y enzimático), producto intermedio

## Título de la Tesis: “Diseño y simulación de la deshidratación de ajo y cebolla”

Doctorado en Ingeniería Química

Autor: Pezzutti, Adriana

Director: Dr. Guillermo Crapiste

estable de la reacción de formación del sabor, mediante técnicas analíticas propuestas en la literatura. Se determinó que la influencia de la deshidratación es mínima comparada con el efecto producido por la temperatura. Se observó que en general la pungencia disminuye con el transcurso del tiempo, comportamiento que se acentúa considerablemente al aumentar el nivel térmico, especialmente en cebolla. Los resultados obtenidos se explicaron en términos de la destrucción de los precursores del sabor e inactivación de la enzima aliinasa que cataliza la reacción de formación del sabor. De la comparación entre los diferentes productos se verificó un mayor deterioro en el caso de la cebolla y particularmente en la variedad VS14 a bajas temperaturas.

Finalmente se desarrolló un modelo para representar el cambio en la pungencia. Se encontró que las variaciones de ácido pirúvico total y enzimático responden a cinéticas de primer orden con respecto a la concentración de este último, con constantes de velocidad de reacción que siguen una funcionalidad potencial con la temperatura. Los parámetros de ajuste del modelo fueron determinados aplicando técnicas de regresión no lineal sobre los datos experimentales. El modelo cinético resultó confiable para reproducir el efecto de la temperatura sobre los cambios en la pungencia de todos los productos ensayados.

El color de un alimento es también un atributo de importancia al juzgar la calidad del mismo y desafortunadamente el desarrollo o evolución del color constituye otro problema esencial asociado a la operación de secado. Si bien este deterioro es difícil de evitar, resulta interesante al menos tratar de disminuirlo eligiendo condiciones de proceso adecuadas. El Capítulo 4 abarca el estudio del cambio de esta propiedad física en función del contenido de agua y la temperatura. Para ello se empleó un colorímetro triestímulo Hunter para medir los parámetros L, a y b de la escala Hunter y cuantificar la variación del color ( $\Delta E$ ) en puré y rodajas en función del tiempo. Los estudios se realizaron sobre muestras mantenidas a temperatura y humedad constantes. La obtención de las muestras con distintos niveles de humedad se realizó mediante el secado por liofilización. El

# Título de la Tesis: “Diseño y simulación de la deshidratación de ajo y cebolla”

Doctorado en Ingeniería Química

Autor: Pezzutti, Adriana

Director: Dr. Guillermo Crapiste

contenido de agua se varió desde el material fresco hasta prácticamente seco y el rango de temperatura fue de 45 a 75 °C.

Se encontró que la velocidad de deterioro, expresada como cambios en  $\Delta E$  por unidad de tiempo, aumenta con la temperatura, alcanzando valores mínimos para el material fresco y el producto prácticamente seco y un máximo para un contenido de humedad intermedio; un comportamiento típico de las reacciones de pardeamiento.

Una comparación entre productos indicó que el deterioro es mayor en ajo. Se observó una notable tendencia a la coloración marrón en este producto y en cebolla VS14 y una ligera tendencia a la tonalidad rojiza en la cebolla SWG, típica de las variedades blancas.

Se formuló una cinética de pseudo-primer orden, con una constante de velocidad de reacción dependiente del contenido de agua y la temperatura, para representar el pardeamiento obtenido. Se encontró que las predicciones de la misma son comparables con los resultados experimentales hallados, reproduciendo en particular los valores de cambio de color final en todos los casos.

El objetivo de la última etapa de esta tesis (Capítulo 5) fue desarrollar un modelo capaz de simular el secado de partículas individuales de ajo y cebolla y predecir los cambios de color, aroma y sabor originados durante el proceso en función de las variables operativas y comparar las predicciones con los resultados experimentales de deshidratación. El modelo se construyó básicamente a partir de los balances macroscópicos de masa y energía y las ecuaciones cinéticas del deterioro del color y la pungencia. El mismo incluye toda la información desarrollada tanto teórica como experimentalmente en los capítulos previos. La resolución de las ecuaciones diferenciales que representan el modelo se realizó numéricamente empleando la subrutina GEAR. La simulación se efectuó para ambos productos y diferentes variedades a todas las condiciones operativas ensayadas previamente en forma experimental.

El modelo resultó muy bueno para estimar el efecto de todas las variables asociadas a la deshidratación de ajo y cebolla. En todos los casos se observó que el

**Título de la Tesis: “Diseño y simulación de la deshidratación de ajo y cebolla”**

**Doctorado en Ingeniería Química**

**Autor: Pezzutti, Adriana**

**Director: Dr. Guillermo Crapiste**

modelo de simulación predice una menor degradación del color y la pungencia que la obtenida a partir del modelo cinético. Este comportamiento se debe obviamente a los perfiles de humedad y temperatura que resultan a lo largo del proceso de secado.

Se concluye que el modelo desarrollado en este trabajo es una herramienta muy útil para la optimización del secado de ajo y cebolla, especialmente cuando la función objetivo es garantizar la buena calidad del producto final.