



UNIVERSIDAD UTE

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA E
INDUSTRIAS**

CARRERA DE INGENIERÍA DE ALIMENTOS

**EFFECTO DE LA TEMPERATURA EN LA CINÉTICA DE
SECADO DE PULPA DE DOS VARIEDADES DE PAPAS
NATIVAS**

**TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO DE
ALIMENTOS**

DAVID SEBASTIAN ESPÍN LONDOÑO

DIRECTORA: CARLOTA MARTINA MORENO GUERRERO

Quito, agosto 2021

DERECHOS DE AUTOR

© Universidad UTE. 2021

Reservados todos los derechos de reproducción

FORMULARIO DE REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

PROYECTO DE TITULACIÓN

DATOS DE CONTACTO	
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1718397969
APELLIDO Y NOMBRES:	Espín Londoño David Sebastian
DIRECCIÓN:	Antonio José de Sucre y De las Magnolias S9-87
EMAIL:	david.espin@ute.edu.ec
TELÉFONO FIJO:	2796408
TELÉFONO MOVIL:	0983922564

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Efecto de la temperatura en la cinética de secado de pulpa de dos variedades de papas nativas.
AUTOR O AUTORES:	Espín Londoño David Sebastian
FECHA DE ENTREGA DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	12/07/2021
DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	Carlota Martina Moreno Guerrero
PROGRAMA	PREGRADO <input checked="" type="checkbox"/> POSGRADO <input type="checkbox"/>
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero de Alimentos
RESUMEN:	<p>El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de la temperatura en la cinética de secado de pulpa de papas nativas Puca Shungo y Yana Shungo. Rodajas de pulpa de cada variedad de papa se dividieron en dos grupos, sin tratamiento y con tratamiento de escaldado químico (inmersión durante 10 minutos en una solución ácido cítrico-ácido ascórbico al 1 % de cada ácido). Las rodajas con y sin tratamiento se deshidrataron en un secador de bandejas. Los experimentos de secado se realizaron a 30, 40, 50, 60 y 70 °C. Se usó dos modelos de difusión, considerando resistencias internas RI y resistencias internas y externas RIE, que se ajustaron a las cinéticas de secado experimentales para determinar el coeficiente de difusividad -De- y el coeficiente de transferencia de masa -k-. La humedad final del producto disminuyó aproximadamente 50 % y 40 % para las</p>

	<p>muestras Puca Shungo y Yana Shungo, respectivamente cuando se incrementó la temperatura de 30 a 70 °C. En el modelo RI, De varió de $2.39 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ a $6.20 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ y de $2.03 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ a $6.60 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ para las variedades Puca Shungo y Yana Shungo, respectivamente. Mientras que en el modelo RIE el incremento de De fue de un orden exponencial y fue mayor que en modelo RI, de $3.53 \cdot 10^{-10}$ a $23.5 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ y de $3.71 \cdot 10^{-10}$ a $30.6 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ para las variedades Puca Shungo y Yana Shungo, respectivamente, cuando la temperatura se incrementó de 30 a 70 °C. Por otro lado, k aumentó, con el incremento de temperatura, de $1.16 \cdot 10^{-3}$ a $1.75 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$ y $1.32 \cdot 10^{-3}$ a $1.98 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$ para las variedades Puca Shungo y Yana Shungo, respectivamente, esto pudo deberse a cambios estructurales, diferente porosidad, humedad inicial, así como la contracción de la muestra durante el secado. Se evidenció un mejor ajuste del modelo RIE a los datos experimentales (%VAR > 96 %) indicando no se pueden despreciar las resistencias externas.</p>
<p>PALABRAS CLAVE:</p>	<p>secado por aire, modelo difusivo, coeficiente de difusividad, coeficiente de transferencia se masa.</p>
<p>ABSTRACT:</p>	<p>The aim of this study was to evaluate the effect of temperature on drying kinetics of native potato pulp Puca Shungo and Yana Shungo. Slices of each potato were divided into two groups, without treatment and with treatment (immersion for 10 minutes in a 1 % citric acid-ascorbic acid solution of each acid). The slice with and without treatment were dried in a tray dryer at five temperatures: 30, 40, 50, 60 and 70 °C. It was used a diffusion model considering internal IR and external resistances IER that adjusted to experimental drying kinetics to determine the diffusivity coefficient -De- and mass transfer coefficient -k-. The moisture decreased approximately 50 % and 40 % for the variety Puca Shungo and Yana Shungo, respectively when the temperature increased to 30 to 70 °C. In IR model, De varied from $2.39 \cdot 10^{-10}$ to $6.20 \cdot 10^{-10}$</p>

	<p>m²/s and 2.03·10⁻¹⁰ to 6.60·10⁻¹⁰ m²/s for the variety Puca Shungo and Yana Shungo, respectively when the temperature increased to 30 to 70 °C. The data for diffusivity coefficient (De) varied from 3.53·10⁻¹⁰ to 23.5·10⁻¹⁰ m²/s and 3.71·10⁻¹⁰ to 30.6·10⁻¹⁰ m²/s for the variety Puca Shungo and Yana Shungo, respectively. While on the IER model, the results of De increased from 3.53·10⁻¹⁰ to 23.5·10⁻¹⁰ m²/s and from 3.71·10⁻¹⁰ to 30.6·10⁻¹⁰ m²/s for the variety Puca Shungo and Yana Shungo, respectively. The increase was of an exponential order and was greater than in the IR model. On the other hand, k increased with the increment of temperature from 1.16·10⁻³ to 1.75·10⁻³ m/s and from 1.32·10⁻³ to 1.98·10⁻³ m/s for the variety Puca Shungo and Yana Shungo, respectively. This could be due to structural changes, different porosity, initial humidity, as well as the shrinkage of the sample during drying. A better fit of the RIE model to the experimental data (% VAR> 96 %) was evidenced, indicating that external resistances cannot be neglected.</p>
<p>KEYWORDS:</p>	<p>air drying, diffusive model, diffusivity coefficient, mass transfer coefficient.</p>

Se autoriza la publicación de este Proyecto de Titulación en el Repositorio Digital de la Institución.

f: 

Espín Londoño David Sebastian

1718397969

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **ESPÍN LONDOÑO DAVID SEBASTIAN**, CI 1718397969 autor/a del proyecto titulado: **Efecto de la temperatura en la cinética de secado pulpa de dos variedades de papas nativas** previo a la obtención del título de **Ingeniero de Alimentos** en la Universidad UTE.

Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las Instituciones de Educación Superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

Autorizo a la BIBLIOTECA de la Universidad UTE a tener una copia del referido trabajo de graduación con el propósito de generar un Repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Quito, 23 de agosto de 2021

f: 

Espín Londoño David Sebastian

1718397969

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor, certifico que el presente trabajo que lleva por título **“Efecto de la temperatura en la cinética de secado de pulpa de dos variedades de papas nativas”** que, para aspirar al título de **Ingeniero de Alimentos** fue desarrollado por **Espín Londoño David Sebastian**, bajo mi dirección y supervisión, en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería e Industrias; y cumple con las condiciones requeridas para ser sometido a las evaluación respectiva de acuerdo a la normativa interna de la Universidad UTE.



Carlota Martina Moreno Guerrero

DIRECTORA DEL TRABAJO

C.I. 1713755336

DECLARACIÓN JURAMENTADA DEL AUTOR

Yo, **DAVID SEBASTIAN ESPÍN LONDOÑO**, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad UTE puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

f 

David Sebastian Espín Londoño

C.I. 171568205

Este trabajo de titulación se realizó como parte del proyecto “Extracción de compuestos con actividad antioxidante a partir de patatas andinas” que está ejecutando la Ing. Carlota Moreno Guerrero en el Programa de doctorado de Ciencia, Tecnología y Gestión Alimentaria de la Universidad Politécnica de Valencia.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi familia y a las personas quienes estuvieron conmigo durante todo este proceso, apoyándome y alentándome, cada paso que veía en gris ustedes me lo iluminaban.

A mi papá, gracias a sus sacrificios, esfuerzo y apoyo he podido culminar una etapa más de mi vida.

A mi madre, aquella mujer que me ha dado su amor incondicional, paciencia y palabras diarias de aliento han hecho la persona de que soy.

A mi hermanita, quién de broma en broma siempre me da alientos y ganas de seguir adelante.

A mi hermano, quién se encuentra lejos, aun así, sentía su apoyo a la distancia.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco en primer lugar a Dios por guiarme durante todo este tiempo, por cada día de salud y ayudarme en los momentos difíciles.

A mi familia, por estar cuando más lo necesité, apoyándome y la cual nunca me dejaron solo.

A la profe Carlota Moreno a quien siempre admiré por su dedicación, esfuerzo y compromiso. Durante todo el proceso por su paciencia y consejos.

A las Ing. María José Andrade, Silvana Cuaspud, Michelle Guijarro, Daniela Rubio, Paola Lárraga, Dayana Espinosa, Mariel a los Ing. Rubén Amagua, Daniel Arboleda, pues cuando entraba en un callejón sin salida ustedes me mostraban el camino correcto.

Finalmente, a mis amigos, Daya Piarpuezán Julio Luzcando, Santi Luzcando, Nicole, Sam, Mafer, Sebastian y Anita, quienes me apoyaron en el proceso.

A todos ustedes, muchas gracias de corazón.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN	3
2. METODOLOGÍA	6
2.1 MATERIAL VEGETAL	6
2.2 EXPERIENCIAS DE SECADO	6
2.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO	8
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	9
3.1 HUMEDAD INICIAL	9
3.2 CINÉTICA DE SECADO	9
3.3 COEFICIENTE DE DIFUSIVIDAD (De)	13
3.4 COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE MASA (k)	16
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	18
4.1 CONCLUSIONES	18
4.2 RECOMENDACIONES	19
5. BIBLIOGRAFÍA	20
6. ANEXOS	24

ÍNDICE DE TABLAS

		PÁGINA
Tabla 1	Humedad inicial de la pulpa de papa	9
Tabla 2	Humedad final y tiempo de secado de dos variedades de papa	10
Tabla 3	Coeficiente de difusividad efectiva (D_e) para los modelos RI y RIE y coeficiente de transferencia de masa para la cinética de secado de pulpas de papas nativas Puca Shungo (PS) y Yana Shungo (YS).	17

ÍNDICE DE FIGURAS

		PÁGINA
Figura 1	Cinética de secado de la pulpa de dos variedades de papa nativa a las diferentes temperaturas	12
Figura 2	Efecto de la temperatura sobre el coeficiente de difusividad efectiva (D_e)	15

ÍNDICE DE ANEXOS

		PÁGINA
Anexo 1	Papas nativas: Puca Shungo y Yana Shungo	24

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de la temperatura en la cinética de secado de pulpa de papas nativas Puca Shungo y Yana Shungo. Rodajas de pulpa de cada variedad de papa se dividieron en dos grupos, sin tratamiento y con tratamiento de escaldado químico (inmersión durante 10 minutos en una solución ácido cítrico-ácido ascórbico al 1 % de cada ácido). Las rodajas con y sin tratamiento se deshidrataron en un secador de bandejas. Los experimentos de secado se realizaron a 30, 40, 50, 60 y 70 °C. Se usó dos modelos de difusión, considerando resistencias internas RI y resistencias internas y externas RIE, que se ajustaron a las cinéticas de secado experimentales para determinar el coeficiente de difusividad $-D_e-$ y el coeficiente de transferencia de masa $-k-$. La humedad final del producto disminuyó aproximadamente 50 % y 40 % para las muestras Puca Shungo y Yana Shungo, respectivamente cuando se incrementó la temperatura de 30 a 70 °C. En el modelo RI, D_e varió de $2.39 \cdot 10^{-10}$ m²/s a $6.20 \cdot 10^{-10}$ m²/s y de $2.03 \cdot 10^{-10}$ m²/s a $6.60 \cdot 10^{-10}$ m²/s para las variedades Puca Shungo y Yana Shungo, respectivamente. Mientras que en el modelo RIE el incremento de D_e fue de un orden exponencial y fue mayor que en modelo RI, de $3.53 \cdot 10^{-10}$ a $23.5 \cdot 10^{-10}$ m²/s y de $3.71 \cdot 10^{-10}$ a $30.6 \cdot 10^{-10}$ m²/s para las variedades Puca Shungo y Yana Shungo, respectivamente, cuando la temperatura se incrementó de 30 a 70 °C. Por otro lado, k aumentó, con el incremento de temperatura, de $1.16 \cdot 10^{-3}$ a $1.75 \cdot 10^{-3}$ m/s y $1.32 \cdot 10^{-3}$ a $1.98 \cdot 10^{-3}$ m/s para las variedades Puca Shungo y Yana Shungo, respectivamente, esto pudo deberse a cambios estructurales, diferente porosidad, humedad inicial, así como la contracción de la muestra durante el secado. Se evidenció un mejor ajuste del modelo RIE a los datos experimentales (% VAR > 96 %) indicando no se pueden despreciar las resistencias externas.

Palabras clave: secado por aire, modelo difusivo, coeficiente de difusividad, coeficiente de transferencia de masa.

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the effect of temperature on drying kinetics of native potato pulp Puca Shungo and Yana Shungo. Slices of each potato were divided into two groups, without treatment and with treatment (immersion for 10 minutes in a 1 % citric acid-ascorbic acid solution of each acid). The slice with and without treatment were dried in a tray dryer at five temperatures: 30, 40, 50, 60 and 70 °C. It was used a diffusion model considering internal IR and external resistances IER that adjusted to experimental drying kinetics to determine the diffusivity coefficient -De- and mass transfer coefficient -k-. The moisture decreased approximately 50 % and 40 % for the variety Puca Shungo and Yana Shungo, respectively when the temperature increased to 30 to 70 °C. In IR model, De varied from $2.39 \cdot 10^{-10}$ to $6.20 \cdot 10^{-10}$ m²/s and $2.03 \cdot 10^{-10}$ to $6.60 \cdot 10^{-10}$ m²/s for the variety Puca Shungo and Yana Shungo, respectively when the temperature increased to 30 to 70 °C. The data for diffusivity coefficient (De) varied from $3.53 \cdot 10^{-10}$ to $23.5 \cdot 10^{-10}$ m²/s and $3.71 \cdot 10^{-10}$ to $30.6 \cdot 10^{-10}$ m²/s for the variety Puca Shungo and Yana Shungo, respectively. While on the IER model, the results of De increased from $3.53 \cdot 10^{-10}$ to $23.5 \cdot 10^{-10}$ m²/s and from $3.71 \cdot 10^{-10}$ to $30.6 \cdot 10^{-10}$ m²/s for the variety Puca Shungo and Yana Shungo, respectively. The increase was of an exponential order and was greater than in the IR model. On the other hand, k increased with the increment of temperature from $1.16 \cdot 10^{-3}$ to $1.75 \cdot 10^{-3}$ m/s and from $1.32 \cdot 10^{-3}$ to $1.98 \cdot 10^{-3}$ m/s for the variety Puca Shungo and Yana Shungo, respectively. This could be due to structural changes, different porosity, initial humidity, as well as the shrinkage of the sample during drying. A better fit of the RIE model to the experimental data (% VAR > 96 %) was evidenced, indicating that external resistances cannot be neglected.

Keywords: air drying, diffusive model, diffusivity coefficient, mass transfer coefficient.

1. INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

La papa (*Solanum tuberosum*) es el cuarto alimento de mayor consumo mundial, después del maíz, trigo y el arroz (Méndez, 2015). La región andina es una zona de alta producción agrícola, donde se encuentran aproximadamente 400 variedades de papa, que es uno de los productos agrícolas estrella de zonas rurales y un elemento importante en la economía nacional (Romero, 2019). La papa es un alimento esencial en la dieta de la población debido a su aporte de carbohidratos, vitamina C, proteínas, aminoácidos esenciales y minerales (Seijo-Rodríguez et al., 2017).

Las variedades de papas nativas son poco cultivadas porque han sido reemplazadas por variedades de mayor rendimiento, cambio de estilo de vida y la poca demanda por parte de los consumidores por falta de conocimiento del aporte nutricional que tienen estos tubérculos (Calliope et al., 2017). Sin embargo, las papas nativas sobresalen por sus propiedades nutricionales, debido al alto contenido de antioxidantes como fenoles, flavonoides, antocianinas, así como de vitaminas y aminoácidos esenciales, como por ejemplo las variedades con la pulpa de color morada y rosada (Mesa, 2018; Monteros et al., 2010). La industria ha encontrado en estas variedades oportunidad de procesamiento y mercado. En este sentido, Seijo-Rodríguez et al., (2017) mencionan el consumo de papas nativas tendría un impacto favorable en la salud y por lo tanto podría ser de interés para los consumidores y productores, convirtiéndose en una alternativa interesante frente a otros cultivares. Así, Las variedades Puca Shungo y Yana Shungo que tienen la pulpa de color rosa y morada, respectivamente, son industrializadas mediante fritura cuando tienen el tamaño y forma uniforme, pero es necesario buscar alternativas de procesamiento para aquellos tubérculos de forma irregular que no son procesados (Calliope et al, 2017). El secado puede ser una alternativa de un método de conservación para estos tubérculos (Baeza, 2018; Gamboa-Santos et al., 2012).

El secado es un método clásico para conservar alimentos que además de prolongar su vida útil, reduce el peso para su transporte y los requerimientos de espacio para su almacenamiento. Además, incrementa la estabilidad de los alimentos porque reduce su actividad de agua, limitando así la actividad microbiológica y enzimática, así como también los cambios físicos y químicos que se producen durante el almacenamiento (Santacatalina, 2011).

Todas las técnicas de secado producen cambios físicos, químicos y biológicos que pueden alterar la calidad del producto. La degradación de la calidad del alimento depende de la técnica de secado utilizada y de la temperatura del proceso (Carrión, 2019; Giraldo-Zuniga et al., 2010).

La industria alimentaria usa el secado por aire caliente como una tecnología que ofrece mejores beneficios frente otras, porque requiere inversiones iniciales relativamente bajas y ofrece alta productividad para obtener productos deshidratados bastante homogéneos y con una larga vida útil (Santacatalina, 2011; Torres et al., 2012). Sin embargo, las empresas deben considerar las características de la matriz alimentaria para seleccionar las condiciones de secado (Carranza & Sánchez, 2002) porque puede causar efectos sobre el color, la textura, la morfología de la muestra provocando su contracción y la pérdida de algunos compuestos bioactivos (Vallespir et al., 2018). Para minimizar estos efectos adversos en el secado, se pueden usar pretratamientos como inmersión en soluciones etanólicas, aplicación de ultrasonidos, radiación infrarroja, microondas, altas presiones, así como inmersión en soluciones de ácido cítrico, ácido ascórbico o la combinación de estos (Rojas et al., 2020; García-Paternina et al., 2015).

El secado es un proceso complejo en el que existe transferencia simultánea de calor y de agua. Para analizar este proceso y la influencia de las condiciones de operación se utiliza la modelización (Pinho & Henriques, 2012; Ozuna et al., 2011), que considera la ley de enfriamiento de Newton y la segunda ley de difusión de Fick. Entre los modelos que se pueden analizar están el difusivo, de Newton, de Page, Page modificado, Henderson y Pabis modificado, entre otros (Montes et al., 2008; Salcedo-Mendoza et al., 2016). El modelo difusivo considera a la muestra como una placa plana infinita homogénea e isotrópica, desprecia la contracción de la muestra, por lo tanto, el flujo de agua se produce en una sola dirección, es decir que la transferencia de materia dentro del alimento se produce únicamente por los gradientes de humedad (Giraldo-Zuniga et al., 2010; Santacatalina, 2011; Torres et al., 2012). Además, considera constante al coeficiente de difusividad efectiva (Baeza, 2018). El modelo difusivo considera dos resistencias, las internas y externas. Cuando considera solamente las resistencias internas R_I se asume que la superficie de la muestra alcanza el equilibrio al inicio del secado (Hassini et al., 2007). Existen varios estudios en diferentes matrices alimentarias como pimientos rojos (Akpınar et al., 2003), berenjena (García-Pérez et al., 2011; Santacatalina, 2011), champiñón (Baeza, 2018), banana, calabaza y yuca (Fernando et al., 2011), manzana (Rodríguez et al., 2014; Moreno et al., 2017; Rojas et al., 2020), apio (Jezek, 2008), cebolla (Praveen et al., 2005) entre otras. Estas investigaciones demuestran que existen una relación directa entre la temperatura y el coeficiente de difusividad (Puente-Díaz et al., 2013).

Por otro lado, para el estudio del modelo difusivo que considera resistencias internas y externas R_{IE} , se analizan dos etapas, en la primera el agua se transporta desde el interior a la superficie por difusión (D_e), siendo este el principal mecanismo de transferencia de humedad, mientras que en la segunda etapa el agua se transfiere desde la superficie de la muestra al aire

por convección (k). Así, la modelización de las cinéticas de secado permite determinar la difusividad efectiva D_e y el coeficiente de transferencia de masa k del producto, parámetros esenciales para abordar la optimización del proceso de secado (Santacatalina, 2011).

Baeza (2018) comprobó que para champiñón existe una relación directamente proporcional entre la temperatura de secado y el coeficiente de difusividad; y que la variación este coeficiente depende de las condiciones del modelo utilizado, así, en el modelo difusivo considerando resistencias internas incrementó 154 % y 433 % para el modelo difusivo considerando resistencias internas y externas. Por su parte Rojas et al., (2020) determinaron que el aumento de temperatura de secado de láminas de manzanas provocó el aumento del 146 % del coeficiente de difusividad aplicando el modelo de resistencias internas y 288 % para el modelo de resistencias internas y externas. Sin embargo, en el secado de ñame, los valores de « D_e » fueron menores a medida que la temperatura incrementaba correspondiendo $7.03 \cdot 10^{-9}$ y $1.70 \cdot 10^{-9}$ m^2/s para 30 °C y 70 °C, respectivamente (Torres et al., 2012). Por otro lado, García-Pérez (2006) demostró que el efecto de la temperatura presenta una correlación directa con el coeficiente de transferencia de masa « k », cuyo valor se aumentó 207 % en cubos de zanahoria cuando la temperatura cambió de 30 a 70 °C. Asimismo, en fresas el valor ascendió un 92 % (Gamboa-Santos et al., 2012).

Existen varios estudios sobre el aporte de antioxidantes de diferentes variedades de papas nativas, pero, no se registran investigaciones de la modelización de cinéticas de secado de estos tubérculos nativos. Este estudio se realizó como parte del proyecto “Extracción de compuestos con actividad antioxidante a partir de patatas andinas” que se está ejecutando en el programa de doctorado de Ciencia, Tecnología y Gestión Alimentaria de la Universidad Politécnica de Valencia. El objetivo general de la presente investigación fue estudiar el efecto de la temperatura sobre la cinética de secado de dos variedades de papa nativa: Puca Shungo y Yana Shungo. Para conseguir este objetivo general, se plantearon los siguientes objetivos específicos:

1. Determinar la cinética de secado de la pulpa de dos variedades de papa Puca Shungo y Yana Shungo.
2. Modelizar las cinéticas de secado de la pulpa de dos variedades de papa nativa.
3. Determinar efecto de la temperatura de secado sobre el coeficiente de difusividad D_e , en las dos variedades de papa nativa.
4. Determinar efecto de la temperatura de secado sobre el coeficiente de transferencia de masa, en las dos variedades de papa nativa.

2. METODOLOGÍA

2. METODOLOGÍA

2.1 MATERIAL VEGETAL

Tubérculos de dos variedades de papas nativas Puca Shungo (PS) y Yana Shungo (YS) cultivadas en la provincia de Tungurahua y provistas por la empresa INALPROCES se trasladaron a la Planta Piloto de Alimentos de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería e Industrias – Universidad UTE, donde se lavaron y sanitizaron. Se retiró la piel y se obtuvo rodajas de pulpa de aproximadamente 5 mm de espesor.

2.2 EXPERIENCIAS DE SECADO

Las rodajas de pulpa de las dos variedades se dividieron en dos grupos: muestras sin tratamiento (PS-ST y YS-ST) y muestras con tratamiento de escaldado químico que se sumergieron durante 10 minutos en una solución de ácido cítrico-ácido ascórbico al 1 % de cada ácido (PS-I y YS-I). La relación rodajas de papa: solución de ácido fue 1:3. Las muestras con y sin tratamiento se secaron en un secador de bandejas. Los experimentos de secado se realizaron a 30, 40, 50, 60 y 70 °C. Para determinar las cinéticas de secado se pesó periódicamente la masa de la pulpa. En todos los casos la carga de masa inicial en cada bandeja del secador fue aproximadamente 100 g. La cinética de secado se determinó a partir del contenido de humedad inicial de las muestras y de la evolución del peso de estas a lo largo del secado. Las experiencias, que se realizaron por triplicado, se prolongaron hasta alcanzar peso constante. Una vez finalizado el secado se determinó el contenido de humedad de las muestras de acuerdo con el método estándar 925.10 (AOAC, 1997)

Para evaluar la cinética de secado, se utilizó dos modelos:

1. Modelo RI: Modelo difusivo con resistencias internas, en donde se consideró las siguientes las condiciones ideales: geometría de lámina infinita, flujo de humedad unidimensional a través de la muestra, contenido de humedad inicial y temperatura homogéneas en toda la muestra, tamaño de la muestra constante durante el secado, resistencia externa despreciable a la transferencia de agua frente a la resistencia interna (Ecuación 1). Bajo estas condiciones la superficie de la muestra estará en equilibrio con el aire durante el tiempo de secado (Santacatalina, 2011).

$$\Psi_{(t)} = \frac{W_{(t)} - W_e}{W_o - W_e} = \left[\sum_{n=0}^{\infty} \frac{8}{(2n+1)^2 \pi^2} \exp\left(-\frac{D_e(2n+1)^2 \pi^2 t}{4L^2}\right) \right] \quad [1]$$

Donde:

$\Psi_{(t)}$:	Relación de humedad removida
$W_{(t)}$:	Humedad de la muestra (kg agua/kg materia seca, m.s.)
W_0 :	Humedad de la muestra fresca (kg agua/kg materia seca, m.s.)
W_e :	Humedad en equilibrio (kg agua/kg materia seca, m.s.)
L :	Espesor de las láminas (m)
D_e :	Difusividad efectiva (m ² /s)
t :	Tiempo (s).

2. Modelo RIE: en el cual se consideró las siguientes condiciones: geometría de lámina infinita, flujo de humedad unidimensional a través de la muestra, contenido de humedad inicial y temperatura homogéneas en toda la muestra, tamaño de la muestra variante, resistencia externa a la transferencia de agua frente a la resistencia interna (Ecuación 2). En estas condiciones estará la muestra en equilibrio con el aire durante el secado (Rojas, Duarte, & Cárcel, 2020).

$$-D_e \cdot \rho_d \frac{\partial M(L,t)}{\partial x} = k \cdot (a_w(L, t) - \varphi_{air}) \quad [2]$$

Donde:

ρ_d	Densidad de la muestra seca (kg muestra seca/m ³)
k :	Coefficiente de transferencia de masa (kg agua/m ² ·s)
φ_{air} :	Humedad relativa del aire de secado
a_w :	Actividad de agua superficial
M :	Contenido medio de humedad (kg agua/kg materia seca)
L :	Espesor de la lámina (m)
D_e :	Coefficiente de difusividad efectiva (m ² /s)
t :	Tiempo (s)
x :	Distancia en la dirección de transporte de agua (m)

En la modelización de las cinéticas de secado, De se determinó ajustando el modelo difusivo a los datos experimentales mediante el uso de la herramienta Solver de Microsoft Excel para el modelo RI y el programa Matlab para determinar De y k en el modelo RIE.

Para determinar la bondad del ajuste del modelo se calculó el porcentaje de varianza (Ecuación 3) (Santacatalina, 2011).

$$VAR(\%) = \left(1 - \frac{s_{xy}^2}{s_y^2}\right) \times 100 \quad [3]$$

Donde:

S_{xy} : Desviación estándar de la estimación

S_y : Desviación estándar de la muestra

2.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para evaluar el efecto de la variedad de papa nativa, tratamiento de escaldado y la temperatura de secado sobre los parámetros D_e y k se empleó un diseño factorial A x B x C. Los resultados se analizaron estadísticamente mediante el análisis de varianza ($p < 0.05$) y la significación de las diferencias entre las medias se determinó con la prueba de diferencia de Tukey utilizando el programa Statgraphics Centurion XVII.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 HUMEDAD INICIAL

En la Tabla 1, se presentan los resultados del contenido de humedad de la pulpa antes y después del escaldado químico de las dos variedades de papa. Se puede observar que la pulpa de papa de la variedad Yana Shungo presentó aproximadamente 7 % más humedad que la pulpa de papa Puca Shungo. Estos resultados concuerdan con los valores reportados por Luzcando (2020), 75.35 % y 80.80 % de humedad para papas de la variedad Puca Shungo y Yana Shungo, respectivamente. Asimismo, Serrano (2020), reportó 78 % y 84.07 % de humedad para las mismas variedades, respectivamente. A su vez, valores cercanos de humedad se determinaron en 5 variedades de papa, 77.63 % para la variedad Yungay, 77.52 % para Perricholi, 78.54 % para Canchán, 73.73 % para Huairo y 72.93 % para Peruanita (Contreras, 2017). Estas diferencias sugieren que el suelo, las condiciones climáticas, la madurez del tubérculo, el tipo de cultivo y el almacenamiento influyen en la humedad de los tubérculos.

Tabla 1. Humedad inicial de la pulpa de papa.^{1, 2}

Variedad ³	Tratamiento de escaldado ⁴	Humedad inicial (%)
PS	ST	76,06±2,50 ^b
	I	76,87±2,23 ^b
YS	ST	80,88±1,90 ^a
	I	82,19±1,94 ^a

¹ Valor promedio ± desviación estándar (n=30)

² Letras minúsculas diferentes en la misma columna muestran diferencias estadísticamente significativas (p<0.05)

³ Variedad: Puca Shungo (PS), Yana Shungo (YS)

⁴ Tratamiento: Sin Tratamiento (ST), Inmersión (I)

Aunque el tratamiento de escaldado químico no presentó efecto significativo sobre el contenido de humedad se evidencia valores de humedad ligeramente mayores para las muestras tratadas, esto puede deberse a la absorción de agua durante la inmersión en la solución ácida.

3.2 CINÉTICA DE SECADO

Los resultados de la evaluación del efecto de la variedad de papa, tratamiento de escaldado y temperatura de secado sobre la humedad final del producto seco y el tiempo de secado se presentan en la Tabla 2. Se evidenció efecto significativo de la variedad y la temperatura de secado sobre el contenido de

la humedad final de la pulpa seca. La variedad Puca Shungo presentó menor humedad final que la variedad Yana shungo, mientras que el aumento de temperatura disminuyó la humedad final del producto seco. El aumento de temperatura de 30 a 70 °C disminuyó la humedad final del producto aproximadamente el 32 % y 37 % para las para las muestras sin tratamiento de las variedades PS y YS, respectivamente. Mientras que para las muestras tratadas la reducción de humedad del producto seco, al aumentar la temperatura de 30°C a 70 °C, fue aproximadamente el 45 % y 33 % para las variedades PS y YS, respectivamente. Por otro lado, a pesar de que el tratamiento de escaldado no presentó efecto sobre la humedad final de la pulpa seca se observó que las muestras tratadas presentaron valores de humedad ligeramente mayores que las muestras no tratadas.

Tabla 2. Humedad final y tiempo de secado de dos variedades de papa. ^{1,2}

Variedad ⁴	Tratamiento de escaldado ⁵	Temperatura (°C)	Humedad final (%)	Tiempo de secado (min)
PS	ST	30	7.89±2.55 ^{abcde}	343.65±25.63 ^a
		40	9.46±2.02 ^{abc}	303.79±39.79 ^{abc}
		50	7.66±0.98 ^{abcde}	265.59±33.79 ^{bcd}
		60	5.45±1.42 ^{cde}	212.67±44.99 ^{de}
		70	5.30±3.05 ^{de}	183.36±30.73 ^e
	I	30	8.70±1.62 ^{abcde}	360.24±12.20 ^a
		40	8.76±0.88 ^{abcd}	307.03±39.11 ^{abc}
		50	6.80±0.45 ^{bcde}	263.44±39.69 ^{bcd}
		60	5.86±2.00 ^{cde}	208.83±23.56 ^{de}
		70	4.70±2.50 ^e	178.25±39.77 ^e
YS	ST	30	10.38±2.59 ^{ab}	333.65±30.73 ^{ab}
		40	11.03±1.37 ^a	303.79±41.27 ^{abc}
		50	9.07±1.17 ^{abcd}	262.26±26.33 ^{bcd}
		60	7.30±1.94 ^{abcde}	217.82±41.95 ^{de}
		70	6.49±2.46 ^{bcde}	171.78±28.50 ^e
	I	30	10.06±3.36 ^{ab}	330.18±23.44 ^{abc}
		40	10.35±0.77 ^{ab}	305.10±33.68 ^{abc}
		50	8.65±0.93 ^{abcde}	260.11±55.40 ^{cd}
		60	6.68±1.61 ^{bcde}	208.07±19.17 ^{de}
		70	6.71±1.36 ^{bcde}	155.02±24.21 ^e
Diferencia de Tukey $\alpha=0.05$			4,03	71,84
Significancia ³				
Variedad (V)			sig	-
Escaldado (E)			-	-
Temperatura (T)			sig	sig
VxE			-	-
V*T			-	-
ExT			-	-
VxExT			-	-

¹Valores promedio ± desviación estándar (n=6)

² Letras minúsculas diferentes en la misma columna muestran diferencias significativas ($p<0.05$)

³ sig = diferencia significativa $p<0.05$

⁴ Variedad: Puca Shungo (PS), Yana Shungo (YS)

⁵ Tratamiento: Sin Tratamiento (ST), Inmersión (I)

La variedad de papa y el pretratamiento escaldado no causaron efecto sobre el tiempo de secado. Mientras que el aumento de temperatura disminuyó significativamente el tiempo de secado de la pulpa de las dos variedades de papa. Así, la variedad Puca Shungo presentó una reducción de 49 % y 47 % para pulpa sin tratamiento PS-ST y tratada PS-I, respectivamente. En la muestra YS-ST el tiempo de secado disminuyó 51 % y en la muestra YS-I la reducción fue del 53 %. La muestra Yana Shungo presentó mayor reducción, esto puede deberse a que presenta mayor humedad inicial que la variedad Puca Shungo, así como cambios su porosidad facilitando la transferencia de agua de la matriz hacia el aire (Baeza, 2018). Resultados similares se han reportado en diversas matrices, en el caso de manzanas se redujo hasta un 81 %, se observó que la influencia sobre el tiempo de proceso es mayor cuando se aplican altas temperaturas de secado y ultrasonido (Rodríguez et al., 2014). En piel de naranja se consiguió el 70 % de reducción del tiempo de secado cuando la temperatura se elevó de 30 °C a 70 °C (Carme et al., 2007). Por su parte, García Pérez (2006) reportó una reducción del 68 % de l tiempo de secado en cubos de zanahoria cuando la temperatura varió de 30 °C a 70 °C, se evidenció que el incremento de la temperatura influyó significativamente en la reducción del tiempo de secado, sin embargo al combinar ultrasonido con altas temperaturas la reducción fue del 61 % aproximadamente. De igual manera, en berenjena se observó una reducción del 72 %, se pudo notar también la porosidad de la muestra facilitó la deshidratación y redujo el tiempo de secado (García-Pérez et al., 2011).

En la figura 1 se pueden observar las gráficas de las cinéticas de secado para los modelos RI y RIE de las dos variedades de papa con y sin tratamiento de escaldado químico. Para la muestra PS-ST en el modelo RI, la humedad final del producto seco se redujo el 47.11 % cuando aumentó la temperatura de 30 °C a 70 °C (Figura 1a), a diferencia de los resultados en el modelo RIE donde se evidenció una reducción del 96.14 % de la humedad cuando aumentó la temperatura de secado (Figura 1e).

Por otro lado, la humedad final de la muestra YS-ST, disminuyó el 38.92 % y 95.32 % para los modelos RI (Figura 1c) y RIE (Figura 1g), respectivamente. Mientras que para las muestras YS-I la humedad final disminuyó el 22.90 % y 98.12 % en los modelos RI (Figura 1d), y REI (Figura 1h), respectivamente. Se pueden observar que la variedad Puca Shungo presentó una mayor disminución de la humedad final en el modelo RI, mientras que en modelo RIE, la variedad Yana Shungo tuvo la mayor reducción de la humedad final cuando aumentó la temperatura de secado. Estas diferencias pueden deberse a la contracción de la muestra durante el secado que reduce el área de transferencia de masa (García-Pérez et al., 2011). Además, se debe considerar el coeficiente de transferencia de masa y la velocidad a la que el agua se elimina. Por ende, este comportamiento sugiere que las resistencias

externas no son despreciables y las experiencias de secado se acoplan de mejor manera a las hipótesis de un modelo difusivo que toma en cuenta resistencias internas y externas.

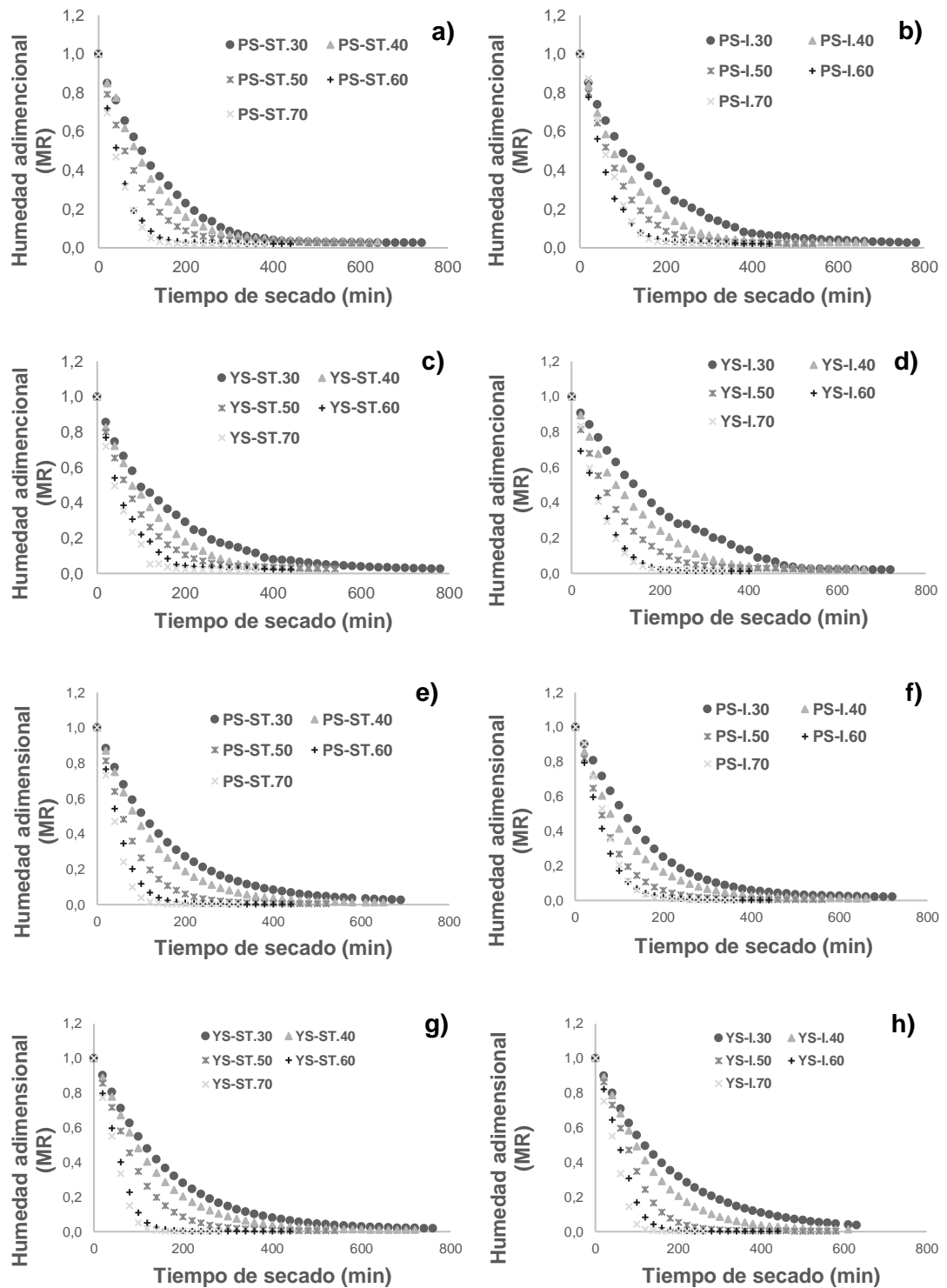


Figura 1. Cinética de secado de la pulpa de dos variedades de papa nativa a las diferentes temperaturas: a) PS-ST-RI, b) PS-I-RI, c) YS-ST-RI, d) YS-I-RI, e) PS-ST-RIE, f) PS-I-RIE, g) YS-ST-RIE, h) YS-I-RIE

Resultados similares se obtuvieron en pulpa de copoazú que disminuyó su humedad final un 32 % aproximadamente, esto debido al incremento de la temperatura de 30 °C a 50 °C (Giraldo-Zuniga et al., 2010). De la misma manera, en pimiento rojo se disminuyó hasta un 89 % humedad en el producto final al incrementar la temperatura de 55 °C a 70 °C junto a velocidad del aire de secado que varió entre 0-15 m/s, la combinación de altas temperaturas y velocidad de aire constante permitió obtener mejores resultados con respecto a humedad del producto (Akpinar et al., 2003). De la misma manera, la reducción de la humedad del plátano fue del 88 % y 89 % para la yuca, con el incremento de la temperatura junto a una mayor velocidad del aire de secado y menor grosor en la rodaja (Carranza & Sánchez, 2002).

3.3 COEFICIENTE DE DIFUSIVIDAD (De)

En el estudio de la cinética de secado se evidenció que los valores del coeficiente de difusividad efectiva «De» fue mayor a medida que la temperatura aumentó independientemente de la variedad y el pretratamiento de escaldado (Tabla 3), esto puede deberse porque a mayor temperatura de secado, mayor energía estará disponible para la transferencia de moléculas de agua, facilitando el transporte de esta. Estos valores están dentro del rango predeterminados para productos agrícolas que oscilan entre el orden de 10^{-9} y 10^{-11} (Salcedo-Mendoza et al., 2016). Al aumentar la temperatura de 30 °C a 70 °C, las muestras tratadas de la variedad Puca Shungo presentaron un incremento del 146 % en el coeficiente de difusividad en el modelo RI (de $2.40 \cdot 10^{-10}$ m²/s a 30 °C hasta $5.91 \cdot 10^{-10}$ m²/s a 70 °C) y 288 % (de $4.24 \cdot 10^{-10}$ a 30 °C hasta $16.4 \cdot 10^{-10}$ m²/s a 70 °C) en el modelo RIE. De igual forma, en las muestras tratadas de la variedad Yana Shungo se evidenció un incremento de 181% (de $2.27 \cdot 10^{-10}$ m²/s a 30 °C hasta $6.40 \cdot 10^{-10}$ m²/s a 70 °C) correspondiente al modelo RI y 1186 % ($2.47 \cdot 10^{-10}$ m²/s a 30°C y $35.3 \cdot 10^{-10}$ m²/s a 70 °C) en el modelo RIE. El modelo RIE presentó mayor incremento del coeficiente de difusividad efectiva «De» en comparación con el modelo RI. Este incremento se relacionó directamente con el aumento de temperatura, que pudo haber influido en mayor proporción en la etapa de transferencia del agua, logrando retirar la mayor cantidad de humedad posible, lo restante se extrajo en la etapa de difusividad de vapor, consiguiendo así incrementar el coeficiente De a 70 °C comparado con 30 °C. Además, al secar a altas temperaturas el encogimiento de la muestra es menor, por ende, la superficie de transferencia será mayor (García-Pérez et al., 2011). Estudios en diferentes matrices alimenticias evidenciaron incrementos del coeficiente de difusividad efectiva De, en manzana se alcanzó un incremento del 146 % en el modelo RI y 288 % en modelo RIE (Rojas et al., 2020). Asimismo, en

champiñones secados con ultrasonido a temperaturas de 30 °C y 70 °C, presentaron incrementos del 154 % y 433 % en modelo RI y modelo RIE, respectivamente (Baeza, 2018). De igual manera, el coeficiente de difusividad efectiva de yuca incrementó el 57 % y en manzana el aumento fue del 87 %, esto pudo deberse a su estructura mucho más porosa y la diferencia de humedad entre las matrices (Ozuna et al., 2014). Por su parte, Vega (2007) reportó un incremento del 250 % en pimiento rojo cuando la temperatura incrementó de 50 °C a 80 °C, el efecto de la temperatura se expresó en la ecuación de Arrhenius, siguiendo un comportamiento lineal frente a la temperatura. Giraldo-Zuniga (2010) obtuvo un incremento del 33 % de De en pulpa de cupuaçu, se pudo notar que mayor temperatura de secado favoreció la transferencia de masa y como consecuencia se presentó mayor difusividad efectiva. Fernando (2011) obtuvo un incremento del 2 % en el secado de banano, yuca y calabaza a temperaturas que oscilaron entre los 85 y 95 °C. Por el contrario, el ñame se evidenció valores menores de « De » a mayor temperatura, $7.03 \cdot 10^{-09} \text{ m}^2/\text{s}$ y $1.70 \cdot 10^{-09} \text{ m}^2/\text{s}$ para 40 °C y 70 °C, respectivamente (Torres et al., 2012).

Para analizar el ajuste de los modelos RI y RIE a los datos experimentales se analizó la varianza (% Var), como se puede observar en la Tabla 3. En el caso del modelo RI (Ecuación 1) la varianza fue mayor a 91.69 %, sin embargo, se evidenció una falta de ajuste de este modelo. Por otro lado, para el modelo RIE (Ecuación 2) se consiguió un ajuste mayor a 96.74 %, esto representó un incremento del 6 % en comparación con el modelo de resistencias internas. Esto sugiere que la transferencia de masa es controlada tanto por resistencias internas como externas, una de estas puede ser la velocidad de aire, así como la presión en la superficie de la matriz. Valores similares de varianza se determinaron en el estudio de la cinética de secado de fresas, 92.99 % y 99.67 % de varianza para los modelos RI y RIE, respectivamente (Gamboa-Santos et al., 2012). Asimismo, se obtuvieron valores con incremento del 89.30 % en berenjena y 91.60 % en zanahoria a 50 °C, el valor de % VAR que se obtuvo la berenjena puede deberse a que las consideraciones que se tuvo previo al secado no correspondieron a las experiencias del proceso (Santacatalina, 2011). Por otro lado, en champiñones liofilizados con aplicación de ultrasonidos se reportó valores de varianza superiores a 98.8 % y 99 % para los modelos RI y RIE, respectivamente. En secado de manzana con pretratamiento con etanol y asistencia de ultrasonido, en el modelo RI se obtuvo valores de varianza mayores a 80.16 %, esto pudo deberse a que las hipótesis no se cumplieron en el proceso de secado. Por otro lado, en el modelo RIE la varianza fue superior a 98.01 %, evidenciándose un mejor ajuste cuando se consideran tanto resistencias internas como externas (Rojas, Duarte et al., 2020).

En la figura 2 se presenta la gráfica del efecto de la temperatura sobre el coeficiente de difusividad efectiva De . Se puede observar que el modelo RIE presentó mayor efecto sobre De para la pulpa de las dos variedades de papa,

independiente que las muestras hayan sido pretratadas o no con escaldado químico. Esto se puede evidenciar en el valor de la pendiente de la ecuación de ajuste para el modelo RIE, que fue aproximadamente el doble de la pendiente del modelo RI.

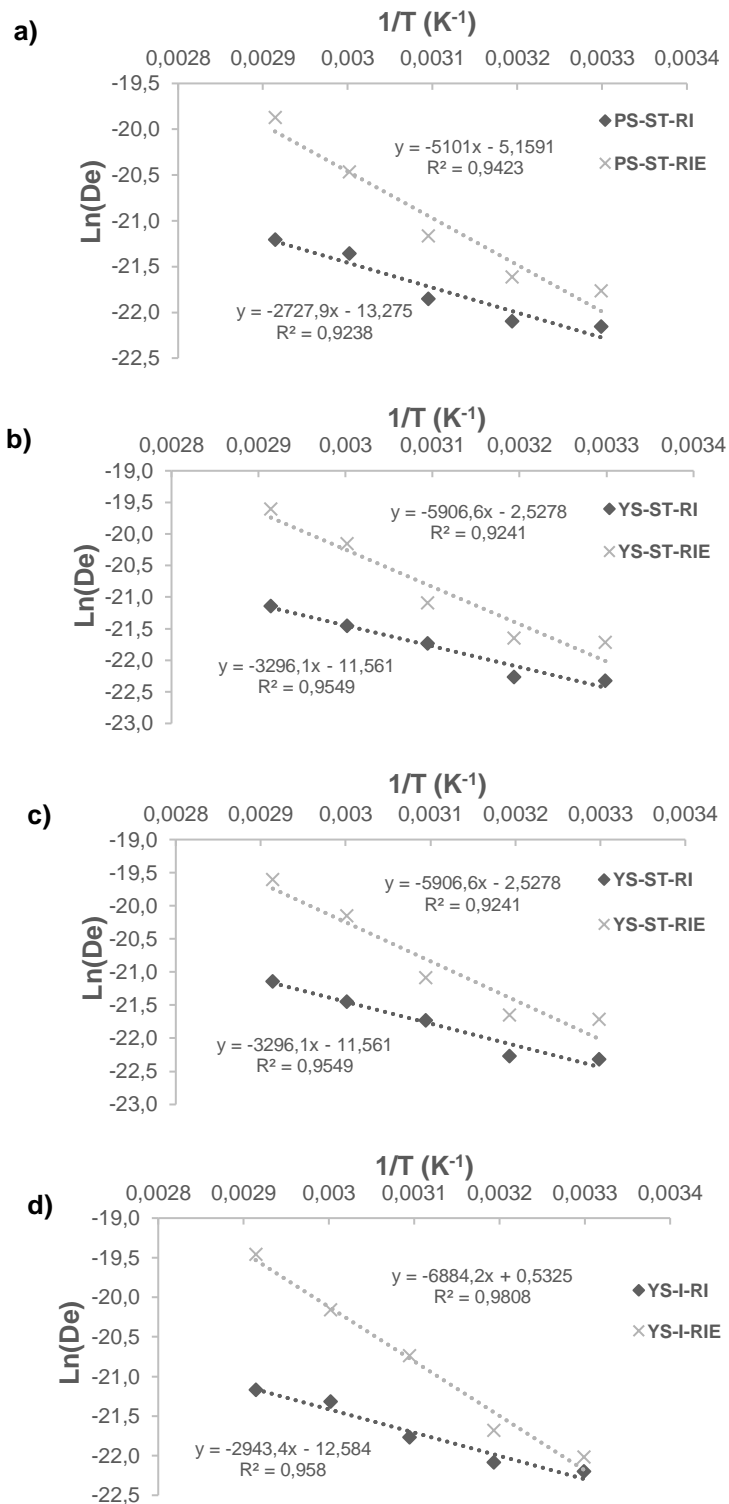


Figura 2. Efecto de la temperatura sobre el coeficiente de difusividad efectiva (De)
a) PS-ST; b) PS-I; c) YS-ST; d) YS-I

Además, se observó mayor efecto de la temperatura en el valor de De en las muestras de la variedad Yana Shungo en comparación con la variedad Puca Shungo. El coeficiente de determinación R^2 fue a 0.92 en todos los casos. Similares resultados fueron determinados por Pinho & Henriques (2012) en calabaza, en donde el valor de R^2 fue 0.901. De la misma manera, Doymaz (2007) reportó R^2 de 0.98 en láminas de calabaza. Por otro lado, el secado en el secado ñame a 45, 55 y 70 °C se determinó R^2 de 0.94 (Montes et al., 2008). Asimismo, en kiwi (Vallespir et al., 2018) y rábano asiático (Lee & Kim, 2009) se encontraron valores de R^2 que oscilaron los 0.98 y 0.99.

3.4 COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE MASA (k)

El coeficiente de transferencia de masa (k) fue otro parámetro determinado en el modelo RIE. La variedad y la temperatura afectaron significativamente al valor de k (Tabla 3). La pulpa de papa de la variedad Yana Shungo presentó mayores valores de k . Mientras que el incremento de temperatura aumentó el valor de k independientemente de la variedad de papa. Así, las muestras sin tratamiento presentaron incrementos en el coeficiente k aproximadamente del 50 % cuando se elevó la temperatura de 30 °C a 70 °C. Por otro lado, no se evidenció efecto significativo del pretratamiento de escaldado sobre k . Tanto el incremento de la temperatura como el pretratamiento disminuyeron la resistencia externa al secado, en consecuencia, facilitó la transferencia de moléculas de agua. Estas diferencias pueden deberse a las variaciones de presión, diferentes encogimientos de la muestra, así como las velocidades oscilantes (Rojas et al., 2020). Comportamientos similares para k , se reportó en champiñones (Baeza, 2018), manzana (Rojas et al., 2020), fresas (Gamboa-Santos et al., 2012), papa variedad *Monalisa* (Ozuna et al., 2011), zanahoria (García-Pérez et al., 2006), berenjena (García-Pérez et al., 2011). De esta manera se confirmó que se facilita la transferencia de agua por difusión y convección al incrementar la temperatura. Además, el incremento de k se puede asociar con la influencia de resistencias externas, a su vez están vinculadas con el efecto de capa límite y la estructura porosa de la matriz que mejora la velocidad de transferencia de masa (Rodríguez, 2014).

Tabla 3. Coeficiente de difusividad efectiva (De) para los modelos RI y RIE y coeficiente de transferencia de masa para la cinética de secado de pulpas de papas nativas Puca Shungo (PS) y Yana Shungo (YS).^{1, 2}

Variedad ⁴	Tratamiento de escaldado ⁵	Temperatura (°C)	Modelo RI (Ecuación 1)			Modelo RIE (Ecuación 2)			
			De (x 10 ⁻¹⁰ m ² /s)	R ²	VAR (%)	De (x 10 ⁻¹⁰ m ² /s)	k (x 10 ⁻³ kg agua /m ² -s)	R ²	VAR (%)
PS	ST	30	2.39±0.25 ^{kl}	≥0.94	≥96.97	3.53±0.43 ^f	1.16±0.122 ^{ef}	≥0.99	≥99.79
		40	2.54±0.38 ^{kl}	≥0.84	≥91.69	4.11±0.21 ^f	1.12±0.148 ^f	≥0.99	≥99.65
		50	3.23±0.14 ^{ijk}	≥0.85	≥92.69	6.45±0.34 ^{ef}	1.16±0.033 ^{ef}	≥0.99	≥99.43
		60	5.30±0.43 ^{cde}	≥0.93	≥96.90	13±1.28 ^{cd}	1.44±0.067 ^{cdef}	≥0.98	≥97.86
		70	6.20±0.48 ^{ab}	≥0.94	≥97.13	23.5±3.54 ^b	1.75±0.115 ^{bc}	≥0.99	≥98.10
	I	30	2.40±0.10 ^{kl}	≥0.88	≥94.30	4.24±0.32 ^f	1.23±0.263 ^{cdef}	≥0.99	≥99.55
		40	2.76±0.17 ^{kl}	≥0.95	≥97.73	4.21±0.19 ^f	1.15±0.141 ^f	≥0.99	≥99.60
		50	4.22±0.34 ^{fgh}	≥0.92	≥96.27	6.49±0.61 ^{ef}	1.16±0.046 ^{ef}	≥0.99	≥99.25
		60	4.45±0.59 ^{efg}	≥0.91	≥95.82	13.8±2.15 ^{cd}	1.48±0.012 ^{cde}	≥0.93	≥98.30
		70	5.91±0.52 ^{abc}	≥0.94	≥97.44	16.4±1.87 ^c	1.50±0.393 ^{cd}	≥0.99	≥98.28
YS	ST	30	2.03±0.06 ^j	≥0.87	≥93.69	3.71±0.43 ^f	1.32±0.146 ^{def}	≥0.99	≥99.55
		40	2.14±0.19 ^j	≥0.84	≥91.88	3.95±0.18 ^f	1.26±0.022 ^{def}	≥0.99	≥99.78
		50	3.66±0.21 ^{ghi}	≥0.92	≥95.98	6.96±1.26 ^{ef}	1.24±0.102 ^{def}	≥0.99	≥98.21
		60	4.84±0.29 ^{def}	≥0.91	≥95.61	17.8±1.50 ^c	1.67±0.069 ^{bc}	≥0.98	≥96.74
		70	6.60±0.36 ^a	≥0.95	≥97.67	30.6±3.64 ^a	1.98±0.104 ^{ab}	≥0.98	≥97.25
	I	30	2.27±0.24 ⁱ	≥0.95	≥97.55	2.74±0.28 ^f	1.18±0.022 ^{def}	≥0.99	≥99.57
		40	2.55±0.13 ^{kl}	≥0.93	≥96.82	3.83±0.13 ^f	1.23±0.023 ^{def}	≥0.99	≥99.79
		50	3.52±0.26 ^{hij}	≥0.89	≥94.71	9.86±1.15 ^{d^e}	1.43±0.067 ^{cdef}	≥0.99	≥97.56
		60	5.51±0.53 ^{bcd}	≥0.96	≥98.42	17.6±1.55 ^c	1.66±0.071 ^{bc}	≥0.98	≥96.96
		70	6.40±0.15 ^a	≥0.94	≥97.10	35.3±6.25 ^a	2.13±0.170 ^a	≥0.98	≥97.52
Diferencia de Tukey $\alpha=0.05$		8.60			5.39	0.32			
Significancia ³									
Variedad (V)		-			sig	sig			
Escaldado (E)		-			-	-			
Temperatura (T)		sig			sig	sig			
VxE		sig			sig	sig			
V*T		-			sig	-			
ExT		sig			-	-			
VxExT		sig			sig	sig			

¹ Letras minúsculas diferentes en la misma columna muestran diferencias significativas (p<0.05)

² Valores promedio ± desviación estándar (n=4)

³ sig = diferencia significativa p<0.05

⁴ Variedad: Puca Shungo (PS), Yana Shungo (YS)

⁵ Tratamiento: Sin Tratamiento (ST), Inmersión (I)

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- El incremento de la temperatura de secado de 30 °C a 70 °C redujo significativamente la humedad final de las muestras de pulpa de papa de las variedades Puca Shungo y Yana Shungo tanto en el modelo RI como en el modelo RIE. Para las dos variedades, la reducción de la humedad final fue mayor al 92 % cuando se analizó el modelo RIE, esta diferencia indica que las resistencias tanto internas como externas afectan al proceso y no se las puede despreciar.
- El tiempo de secado disminuyó en un 48 % para la variedad Puca Shungo y 52 % para la Yana Shungo con el incremento de temperatura de secado de 30 °C a 70 °C.
- La temperatura de secado afectó significativamente al coeficiente de difusividad D incrementando su valor independiente del modelo RI o RIE. Sin embargo, el modelo RIE presentó diferencias en un orden exponencial con respecto al modelo RI. Esta diferencia entre los modelos se debe a resistencias externas como la presión o la velocidad de aire que afectan al proceso, por lo que no se puede considerar únicamente un modelo de resistencias internas.
- El coeficiente de transferencia de masa k aumentó su valor cuando la temperatura cambió de 30 °C a 70 °C. Aunque la variedad no presentó diferencias significativas, la variedad Yana Shungo presentó valores ligeramente mayores con respecto a la variedad Puca Shungo, esto pudo deberse a cambios estructurales, por ejemplo, diferente porosidad, humedad inicial, así como la contracción de la muestra durante el secado.
- Los valores de la varianza son mayores al 91 % en ambos modelos, sin embargo, los datos tienen mejor ajuste en el modelo RIE en comparación con el modelo RI, esto debido a que las hipótesis del proceso son diferentes en las experiencias de secado y no se puede despreciar las resistencias externas.

4.2 RECOMENDACIONES

- Determinar la modelización de la cinética de secado de rodajas del papa sin retirar la piel y considerando la contracción de la muestra.
- Estudiar la cinética de rehidratación y el ajuste de los resultados experimentales a distintos modelos matemáticos.
- Considerar la modelización de la cinética de secado con otros modelos matemáticos y compararlos con el utilizado en este estudio.

5. BIBLIOGRAFÍA

5. BIBLIOGRAFÍA

- Akpinar, E., Bicer, Y., & Yildiz, C. (2003). Thin layer drying of red pepper. *Journal of Food Engineering*, 99-104.
- AOAC. (1997). *Official methods of analysis*. Virginia: Association of Official Analytical Chemist.
- Baeza, A. (2018). *Influencia de la temperatura y la aplicación de ultrasonidos en la cinética de secado y en la calidad final del champiñón*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia .
- Calliope, S., Lobo, M., & Sammán, N. (2017). *Biodiversity of Andean potatoes: Morphological, nutritional and functional characterization*. Argentina: Food Chemistry.
- Cárcel, J., Carcía-Pérez, J., Riera, E., & Mulet, A. (2007). Influence of high intensity ultrasound on drying kinetics of persimmon. *Drying Technology*, 185-193.
- Carne, M., Simal, S., Rosselló, C., & Femenia, A. (2007). Effect of air-drying temperature on physico-chemical properties of dietary fibre and antioxidant capacity of orange (*Citrus aurantium* v. Canoneta) by-products. *Food Chemistry*, 1014-1024.
- Carranza, J., & Sánchez, M. (2002). Cinética de secado de *Musa paradisiaca* L. "Plátano" y *Manihot esculenta* Grantz "Yuca". *Revista Amazónica de Investigación Alimentaria*, 15-25.
- Carrión, C. (2019). *Influencia de la velocidad de congelación y la aplicación de ultrasonidos en la liofilización a presión atmosférica de champiñón*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- Contreras, M. (2017). *Determinación de la relación entre el contenido de almidón y materia seca con la gravedad específica de cinco variedades de papa (*Solanum tuberosum*)*. Huancayo: Universidad Nacional del centro del Perú.
- Doymaz, I. (2007). The kinetics of forced convective air-drying of pumpkin slices. *Journal of Food Engineering*, 243-248.
- Durán, G., Albesa, F., Buonfiglio, G., & Goldner, M. (2018). *Ensayos de secado en laboratorio de papa andina y papa criolla. Obtención experimental de coeficientes de secado*. Argentina: ASADES.
- Fernando, W., Low, H., & Ahmad, A. (2011). Dependence of effective diffusion coefficient of moisture with thickness and temperature in convective

- drying of sliced materials. A study on slices of banana, cassava and pumpkin. *Journal of Food Engineering*, 310-316.
- Gamboa-Santos, J., Montilla, A., Villamiel, M., & García-Pérez, J. (2012). *Aplicación de ultrasonidos de potencia la secado convectivo de fresas*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- García-Paternina, M., Alvis-Bermudez, A., & García-Mogollon, C. (2015). Modelado de la cinética de secado de mango pre-tratadas con deshidratación osmótica y microondas. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 22-29.
- García-Pérez, J., Ozuna, C., Ortuño, C., Cárcel, J., & Mulet, A. (2011). Modeling ultrasonically assisted convective drying of eggplant . *Drying Technology*, 1499-1509.
- García-Pérez, J., Rosselló, C., Cárcel, J., De la Fuente, S., & Mulet, A. (2006). Effect of air temperature on convective drying assisted by high power ultrasound. *Defect and Diffusion Forum*, 563-574.
- Giraldo-Zuniga, A., Arévalo-Pinedo, A., Silva, A., Silva, P., Valdes-Serra, J., & Pavlak, M. (2010). Datos experimentales de la cinética del secado y del modelo matemático para la pulpa de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) en rodajas. *Ciencia y Tecnología de Alimentos* , 179-182.
- Hassini, L., Azzouz, S., Peczalshi, R., & Belghith, A. (2007). Estimation of potato moisture diffusivity from convective drying kinetics with correction for shrinkage. *Journal of Food Engineering*, 47-56.
- Jezek, D., Tripalo, B., Brncic, M., Karlovic, D., Rimac, S., Vikić-Topic, D., & Karlovic, S. (2008). Dehydration of Celery by Infrared Drying. *Croatica Chemica ACTA*, 325-331.
- Lee, J., & Kim, H. (2009). Vacuum drying kinetics of Asian white radish (*Raphanus sativus* L.) slices. *LWT - Food Science and Technology*, 180-186.
- Luzcando, S. (2020). Efecto de la temperatura de secado sobre el potencial antioxidante de la pulpa de dos variedades de papas nativas: Puca Shungo y Yana Shungo. Quito: Universidad UTE.
- Mendez, A. (2015). *Evaluación de diferentes orígenes de semilla de papa (Solanum tuberosum L.) provenientes de tres sistemas de producción en dos localidades de la sierra ecuatoriana*. Quito: Universidad Central del Ecuador.
- Mesa, J. (2018). *Influencia del método de deshidratación (secado convectivo y tambor rotatorio) en las propiedades óptimas de papillas infantiles*

elaborados con harina de papas nativas ecuatorianas (solanum andígena). Ambato: Universidad Técnica de Ambato.

- Monteros, C., Yumisaca, F., Andrade-Piedra, J., & Reinoso, I. (2011). *Papas Nativas. Sierra, Centro y Norte del Ecuador. Catálogo etnobotánico, morfológico, agronómico y calidad*. Quito: Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias.
- Montes, E., Torres, R., Andrade, R., Pérez, O., Marimon, J., & Meza, I. (2008). Modelado de la cinética de secado de ñame (*Dioscorea rotundata*) en capa delgada. *Revista Ingeniería e Investigación*, 45-52.
- Ozuna, C., Álvarez-Arenas, Tomás, Riera, E., Cárcel, J., García-Pérez, & Jose. (2014). Influence of material structure on air-borne ultrasonic application in drying. *Ultrasonics Sonochemistry*, 1235-1243.
- Ozuna, C., Cárcel, J., García-Pérez, J., & Mulet, A. (2011). Improvement of water transport mechanisms during potato drying by applying ultrasound. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2511-2517.
- Pinho, R., & Henriques, F. (2012). Mass transfer coefficients for the drying of pumpkin (*Cucurbita moschata*) and dried product quality. *Food Bioprocess Technol*, 176-183.
- Praveen, D., Umesh, D., Sukumar, D., & Ramesh, M. (2005). Infrared and hot air drying of onion. *Journal of Food Processing and Preservation*, 132-150.
- Puente-Díaz, L., Echegaray-Pacheco, E., Castro-Montero, E., & Di Scala, K. (2013). Aplicación de modelos matemáticos al proceso de secado asistido por infrarrojos de descartes de limón (*Citrus limon* (L.) Burm. F. Cv. Genova). *Dyna*, 91-97.
- Rodríguez, Ó., Santacatalina, J., Simal, S., García-Pérez, J. F., & Rosselló, C. (2014). Influence of power ultrasound application on drying kinetics of apple and its antioxidant and microstructural properties. *Journal of Food Engineering*, 21-29.
- Rojas, M., Duarte, P., & Cárcel, J. (2020). *Combining ethanol pre_treatment and ultrasound_assisted drying to enhance apple chips by fortification with black carrot anthocyan*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- Rojas, M., Duarte, P., & Cárcel, J. (2020). Ethanol pre-treatment to ultrasound-assisted convective drying of apple. *Journal of Food Engineering*, 17-27.

- Romero, C. (2019). *Rendimiento de semilla pre básica de papa (Solanum tuberosum) variedad chaucha roja proveniente del sistema de producción aeropónico*. Ambato: Universidad Técnica de Ambato.
- Salcedo-Mendoza, J., Contreras-Lozano, K., García-López, A., & Fernandez-Quintero, A. (2016). Modelado de la cinética de secado del afrecho de yuca (*Manihot esculenta* Crantz). *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 883-891.
- Santacatalina, J. (2011). *Estudio de la influencia del secado a baja temperatura en la capacidad de rehidratación y en la textura de berenjena y zanahoria*. Valencia : Universidad Politécnica de Valencia.
- Seijo-Rodríguez, A., Escuredo, O., Rodríguez-Flores, S., & Seijo-Coello, C. (2017). Assessment of antioxidant potencial of potato varieties and the relationship to Chemical and Colorimetric measurements. *Springer*, España.
- Serrano, G., & Fernanda, L. (2020). *Caracterización fisicoquímica de cinco (5) variedades de papa nativa de la región del Pantano de Arce (Subachoque, Cundinamarca)*. Bogotá: Universidad Nacional Abierta y a Distancia.
- Torres, R., Montes, E., Andrade, R., Perez, R., Perez, O., & Toscano, H. (2012). Drying kinetics of two yam (*Dioscorea alata*) varieties. *DYNA*, 175-182.
- Vallespir, F., Rodríguez, Ó., Cárcel, J., Rosselló, C., & Susana, S. (2018). Ultrasound assisted low-temperature drying of kiwifruit. Efects on drying kinetics, bioactive compounds and antioxidant activity. *Journal of the Science of Food and Agriculture* , 2901-2909.
- Vega, A., Fito, P., Andrés, A., & Lemus, R. (2007). Mathematical modeling of hot-air drying kinetics of red bell pepper (var. Lamuyo). *Journal of Food Engineering* 79, 1460-1466.

6. ANEXOS

6. ANEXOS

ANEXO 1

PAPAS NATIVAS: PUCA SHUNGO Y YANA SHUNGO

