

# MODELAMIENTO Y SIMULACIÓN DEL SECADO DE QUINUA POR LECHO FLUIDIZADO MEDIANTE LA ECUACION DE EULER

*Data de aceite: 02/08/2023*

### **Russel Allidren Lozada Vilca**

Universidad Nacional de Juliaca. Perú  
<https://orcid.org/0000-0002-8915-3964>

### **Cledi Puma Condori**

Universidad Nacional de Juliaca. Perú  
<https://orcid.org/0000-0002-5486-773X>

### **Jhon Erik Lima Caceres**

Universidad Nacional de Juliaca. Perú  
<https://orcid.org/0000-0002-2597-2426>

### **Madelaine Huánuco Calsín**

Universidad Nacional del Altiplano. Perú  
<https://orcid.org/0000-0002-4050-8146>

### **Valeriano Pari Torres**

Universidad Continental. Perú  
<https://orcid.org/0009-0009-4069-2607>

### **Ciro William Taipe Huamán**

Universidad Nacional de Juliaca. Perú  
<https://orcid.org/0000-0002-6075-5582>

### **Susana Gladis Vilca Achata**

Universidad Nacional del Altiplano. Perú  
<https://orcid.org/0000-0002-9914-6012>

### **Uriel Quispe Mamani**

Universidad Nacional de Juliaca. Perú  
<https://orcid.org/0000-0001-6101-3671>

### **Yanet Violeta Sucari Sucari**

Universidad Nacional de Juliaca. Perú  
<https://orcid.org/0000-0003-0547-4136>

### **Jhordy Neffy Benites Cruz**

Universidad Nacional de Juliaca. Perú  
<https://orcid.org/0000-0002-2532-5050>

**RESUMEN:** El presente trabajo se realizó con la finalidad de modelar el proceso de secado de quinua por medio del lecho fluidizado, primeramente se realizó el balance de materia y energía, así obtener una ecuación que nos ayude a predecir la temperatura de salida del producto y del aire, posteriormente se realizó el experimento de manera práctica donde se realiza el secado de quinua, ingresando al secador con un peso de 66.7g de quinua húmeda donde se tuvo una actividad de agua inicial de 12% la cual fue secada a una temperatura de 60°C, Mediante el uso de los software de Python y Matlab se obtuvo el análisis de datos para la curva de secado y obtención de calor específico de la quinua a partir de las tablas peruana de composición de alimentos, después del secado se obtuvo un peso promedio de 42.7g de quinua seca con una actividad de agua de 2.19%, con un rendimiento de 74.95%. La ampliación

en software como Qpython y Matlab junto a los métodos numéricos de la ecuación de Euler ayudaron a predecir la disminución de actividad de agua y peso.

**PALABRAS-CLAVE:** Humedad, Actividad de agua, Temperatura, Peso, Predicción

## MODELING AND SIMULATION OF QUINOA DRYING BY FLUIDIZED BED USING THE EULER EQUATION

**ABSTRACT:** The present work was carried out with the purpose of modeling the quinoa drying process through the fluidized bed, firstly the balance of matter and energy was carried out, thus obtaining an equation that helps us to predict the outlet temperature of the product and the air, later the experiment was carried out in a practical way where the drying of quinoa is carried out, entering the dryer with a weight of 66.7g of wet quinoa where there was an initial water activity of 12% which was dried at a temperature of 60° C, By using the Python and Matlab software, the data analysis was obtained for the drying curve and obtaining the specific heat of quinoa from the Peruvian food composition tables, after drying an average weight of 42.7g of dry quinoa with a water activity of 2.19%, with a yield of 74.95%. The extension in software such as Qpython and Matlab together with the numerical methods of Euler's equation helped to predict the decrease in water activity and weight.

**KEYWORDS:** Humidity, Water Activity, Temperature, Weight, Prediction

## INTRODUCCIÓN

El objetivo de este proyecto es desarrollar un modelo matemático y una simulación numérica que permita simular el comportamiento de la temperatura y la pérdida de humedad (entre otras variables) de la quinua sometidas a un proceso de secado por lecho fluidizado. La energía térmica empleada en este proceso puede proceder de cualquier fuente de calor. El secado es un proceso térmico que se basa en el intercambio de masa (agua) y energía (calor) entre el producto a secar (quinua) y el medio de procesamiento o fluido de secado (aire). Es necesario conocer los mecanismos de transferencia de calor y de masa asociados para poder diseñar un proceso térmico más económico y eficiente. Se partió de las curvas experimentales de la humedad de la quinua respecto al tiempo tomadas. Se estudió la cinética del secado de la quinua para una T de entrada variable, calculando la derivada de la curva de la humedad con el tiempo, es decir, la velocidad de secado que corresponde a cada valor de humedad, para cada temperatura. A partir de las condiciones iniciales (producto con 100% de humedad y temperatura inicial) se calcula la velocidad de secado inicial, y el resto de valores se calcularán resolviendo las ecuaciones asociadas de forma cíclica durante todo el proceso. La velocidad de secado permite calcular la variación de humedad del alga con el tiempo, necesaria para el cálculo de las ecuaciones presentes en los balances de calor y masa, comportamiento de las temperaturas y humedades en cada instante de tiempo, en función de una temperatura de entrada al secador variable. El modelo se simuló numéricamente utilizando la herramienta informática MATLAB®.

Método de Euler es un método de primer orden, es decir, el error local es proporcional

al cuadrado del tamaño del paso y el error global es proporcional al tamaño del paso. El método de Euler a menudo sirve como base para construir métodos más complejos. Considere el problema de calcular la pendiente de una curva desconocida que comienza en un punto dado y satisface una ecuación diferencial dada. Se puede pensar en una ecuación diferencial como una fórmula que nos permite calcular la pendiente de la tangente a una curva en cualquier punto de la curva después de calcular el punto. (Acosta, 2016) El método de Euler consiste en aproximar la derivada por la fórmula de dos puntos.

$$y'(x) \sim \frac{y(x+h) - y(x)}{h} \quad (1)$$

con lo que obtenemos la relación de recurrencia

$$y(x+h) = y(x) + hf(x, y) \quad (2)$$

El secado significa eliminar el agua de los materiales de proceso y otras sustancias. El término secado también se usa para eliminar otros líquidos orgánicos como benceno o solventes orgánicos de sólidos. Son equipos utilizados para separar un líquido de un sólido mediante la evaporación. Principalmente es utilizado para reducir o eliminar humedad. En estos equipos la fuente de calor es una corriente de gas caliente. El material para el secado puede estar estático, móvil, fluido o diluido. (Pontiles de Hernandez, 2012). Los secadores se clasifican según las operaciones de secado pueden clasificarse ampliamente según que sean por lotes o continuas. Estos términos pueden aplicarse específicamente desde el punto de vista de la sustancia que está secando. (Pontiles de Hernandez, 2012) Los secadores se clasifican según:

El método de transmisión de calor a los sólidos húmedos

- Secadores directos.
- Secadores indirectos.
- Secadores diversos.

Las características de manejo y las propiedades físicas del material mojado

- Secadores discontinuos o por lote.
- Secadores continuos.
- Secadores para sólidos granulares o rígidos y pastas semisólidas.
- Secadores que pueden aceptar alimentaciones líquidas o suspensiones.

El primer método de clasificación revela las diferencias en el diseño y el funcionamiento de secador, mientras que el segundo es más útil para seleccionar entre un grupo de secadores que se someten a una consideración preliminar en relación con un problema de desecación específico. El objetivo se secar la quinua consiste en prolongar

la vida útil de quinua por reducción de su actividad de agua, el término secado se usa también en referencia a la eliminación de otros líquidos orgánicos, tales como benceno o disolventes orgánicos de los materiales de sólidos. En general, el secado significa la remoción de cantidades de agua relativamente pequeños, de una cierta materia, en la evaporación, el agua se elimina en forma de vapor a su punto de ebullición, el secado, el agua casi siempre se elimina en forma de vapor con el aire. (Cerron, 2013). El secado de alimentos está relacionada con la ley de y los fenómenos de transferencia internos de difusividad líquida, se debe evaluar las propiedades de difusividad efectiva y la energía de activación,(Pantoja et al., 2016), la velocidad de secado se definirá por la difusión de la humedad desde el interior a su capa superficial, que se representa por la segunda ley de Fick para la difusión en estado no estacionario.(Chinenye et al., 2010)

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

Materia prima

- Quinua

Equipos

- Secador de lecho fluidizado
- Balanza analítica

Materiales

- Termómetro
- Recipiente
- Bolsas polietileno

## **MÉTODOS**

### **Diagrama de proceso**

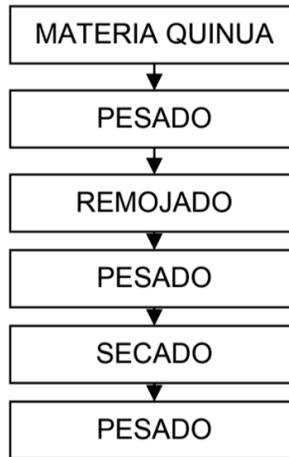


Figura 1. Diagramas de proceso de secado

### Balance de masa

La medición basada en el balance de masas permite inferir los niveles de desechos alimentarios al comparar los insumos o entradas con las salidas.

$$\text{Acumulacion} = \text{masas que entran} - \text{masas que salen} \quad (3)$$

### Balance de energía

Balance de energía aire:  $\frac{dE}{dt} = \sum \dot{Q}_{\text{entrada}} - \sum \dot{Q}_{\text{salida}}$

$$\frac{dE}{dt} = m_a C_{pa} \frac{dT_a}{dt} \quad \dots\dots (5)$$

Entra:  $\dot{m}_a C_{p,a} T_{a,int}^p \quad \dots\dots (6)$

Sale:  $(\dot{m}_a C_{p,a} T_{a,out}^p + h_c A_p (T_{a,out}^p - T_{p,out}^p)) \quad \dots\dots (7)$

Vamos a agrupar lo que entra al sistema y restarle lo que sale, si sustituimos ambos miembros en el Balance de Energía obtenemos la siguiente expresión:

$$m_a C_{p,a} \frac{dT_a}{dt} = \dot{m}_a C_{p,a} T_{a,int}^p - (\dot{m}_a C_{p,a} T_{a,out}^p + h_c A_p (T_{a,out}^p - T_{p,out}^p)) \quad \dots\dots (8)$$

Expresaremos los diferenciales como incrementos:

$$m_a C_{p,a} \frac{dT_a}{dt} = m_a C_{p,a} \frac{T_{a,out}^p - T_{a,out}^{p-1}}{\Delta t} \quad \dots\dots (9)$$

Multiplicamos todo por  $\frac{\Delta t}{m_a C_{p,a}}$  para simplificar a ambos lados:

$$\frac{\Delta t}{m_a C_{p,a}} m_a C_{p,a} \frac{T_{a,out}^p - T_{a,out}^{p-1}}{\Delta t} = \frac{\Delta t}{m_a C_{p,a}} \dot{m}_a C_{p,a} T_{a,int}^p - \frac{\Delta t}{m_a C_{p,a}} (\dot{m}_a C_{p,a} T_{a,out}^p + h_c A_p (T_{a,out}^p - T_{p,out}^p))$$

$$T_{a,out}^p - T_{a,out}^{p-1} = \frac{\Delta t}{m_a} \dot{m}_a T_{a,int}^p - \frac{\Delta t}{m_a C_{p,a}} (\dot{m}_a C_{p,a} T_{a,out}^p + h_c A_p (T_{a,out}^p - T_{p,out}^p)) \quad \dots\dots\dots (10)$$

Pasaremos todo a la derecha salvo el término que deseamos calcular  $T_{a,out}^p$  y operaremos:

$$T_{a,out}^p = T_{a,out}^{p-1} + \frac{\Delta t}{m_a} \dot{m}_a T_{a,int}^p - \frac{\Delta t}{m_a} \dot{m}_a T_{a,out}^p - \frac{\Delta t}{m_a} h_c A_p T_{a,out}^p + \frac{\Delta t}{m_a} h_c A_p T_{p,out}^p$$

Tomamos el 4º miembro de la ecuación y operamos:

$$-\frac{\Delta t}{m_a} h_c A_p T_{a,out}^p = -\frac{\Delta t}{\rho_a \varepsilon V_c C_{p,a}} h_c A_p T_{a,out}^p = -\frac{\Delta t}{C_{p,a}} \frac{h_c A_p V_p}{\rho_a \varepsilon V_c V_p} T_{a,out}^p$$

Simplificando con las relaciones conocidas tenemos:

$$\frac{h_c A_p V_p}{\rho_a \varepsilon V_c V_p} = \frac{h_c}{\rho_a \varepsilon} a_p (1 - \varepsilon) \quad \dots\dots\dots (11)$$

Así, el 4º sumando quedaría:  $= -\frac{\Delta t}{C_{p,a}} \frac{h_c}{\rho_a \varepsilon} a_p (1 - \varepsilon) T_{a,out}^p$

Aplicamos lo mismo para sumando 5 y tendremos lo siguiente

$$+\frac{\Delta t}{m_a} h_c A_p T_{p,out}^p = +\frac{\Delta t}{\rho_a \varepsilon V_c C_{p,a}} h_c A_p T_{p,out}^p = +\frac{\Delta t}{C_{p,a}} \frac{h_c A_p V_p}{\rho_a \varepsilon V_c V_p} T_{p,out}^p$$

$$= +\frac{\Delta t}{C_{p,a}} \frac{h_c}{\rho_a \varepsilon} a_p (1 - \varepsilon) T_{p,out}^p$$

Volviendo a la expresión original, pasamos todos los sumandos multiplicados por  $T_{a,out}^p$  a la izquierda y sacamos factor común  $T_{a,out}^p$ :

$$T_{a,out}^p = T_{a,out}^{p-1} + \frac{\Delta t}{m_a} \dot{m}_a T_{a,int}^p - \frac{\Delta t}{m_a} \dot{m}_a T_{a,out}^p - \frac{\Delta t}{C_{p,a}} \frac{h_c}{\rho_a \varepsilon} a_p (1 - \varepsilon) T_{a,out}^p + \frac{\Delta t}{C_{p,a}} \frac{h_c}{\rho_a \varepsilon} a_p (1 - \varepsilon) T_{p,out}^p$$

$$T_{a,out}^p + \frac{\Delta t}{m_a} \dot{m}_a T_{a,out}^p + \frac{\Delta t}{C_{p,a}} \frac{h_c}{\rho_a \varepsilon} a_p (1 - \varepsilon) T_{a,out}^p = T_{a,out}^{p-1} + \frac{\Delta t}{m_a} \dot{m}_a T_{a,int}^p + \frac{\Delta t}{C_{p,a}} \frac{h_c}{\rho_a \varepsilon} a_p (1 - \varepsilon) T_{p,out}^p$$

$$T_{a,out}^p \left( \frac{\Delta t}{m_a} \dot{m}_a + \frac{\Delta t}{C_{p,a}} \frac{h_c}{\rho_a \varepsilon} a_p (1 - \varepsilon) + 1 \right) = T_{a,out}^{p-1} + \frac{\Delta t}{m_a} \dot{m}_a T_{a,int}^p + \frac{\Delta t}{C_{p,a}} \frac{h_c}{\rho_a \varepsilon} a_p (1 - \varepsilon) T_{p,out}^p$$

Multiplicamos la ecuación  $\frac{1}{\Delta t}$ :

$$\frac{1}{\Delta t} T_{a,out}^p \left( \frac{\Delta t}{m_a} \dot{m}_a + \frac{\Delta t}{C_{p,a} \rho_a \varepsilon} a_p (1 - \varepsilon) + 1 \right) = T_{a,out}^{p-1} + \frac{\Delta t}{m_a} \dot{m}_a T_{a,int}^p + \frac{\Delta t}{C_{p,a} \rho_a \varepsilon} a_p (1 - \varepsilon) T_{p,out}^p$$

$$T_{a,out}^p \left( \frac{\dot{m}_a}{\rho_a V_a} + \frac{h_c}{C_{p,a} \rho_a \varepsilon} a_p (1 - \varepsilon) + \frac{1}{\Delta t} \right) = \frac{T_{a,out}^{p-1}}{\Delta t} + \frac{\dot{m}_a}{m_a} T_{a,int}^p + \frac{h_c}{C_{p,a} \rho_a \varepsilon} a_p (1 - \varepsilon) T_{p,out}^p$$

Despejando  $T_{a,out}^p$  tenemos:

$$T_{a,out}^p = \frac{\frac{T_{a,out}^{p-1}}{\Delta t} + \frac{\dot{m}_a}{m_a} T_{a,int}^p + \frac{h_c}{C_{p,a} \rho_a \varepsilon} a_p (1 - \varepsilon) T_{p,out}^p}{\frac{\dot{m}_a}{\rho_a V_a} + \frac{h_c}{C_{p,a} \rho_a \varepsilon} a_p (1 - \varepsilon) + \frac{1}{\Delta t}} \quad \dots\dots\dots (12)$$

## BALANCE DE ENERGÍA PRODUCTO

$$\frac{dE}{dt} = \sum \dot{Q}_{entrada} - \sum \dot{Q}_{salida} = m_p C_{p,p} \frac{dT_p}{dt}$$

Expresaremos los diferenciales como incrementos:

$$m_p C_{p,p} \frac{dT_p}{dt} = m_p C_{p,p} \frac{T_{p,out}^p - T_{p,out}^{p-1}}{\Delta t} \quad \dots\dots\dots (13)$$

Entra:

$$h_c A_p (T_{a,out}^p - T_{p,out}^p) \quad \dots\dots\dots (14)$$

Sale:

$$n_{w,out}^p A_p h_{fg} \quad \dots\dots\dots (15)$$

Vamos a agrupar lo que entra al sistema y restarle lo que sale, si sustituimos ambos miembros en el Balance de Energía obtenemos la siguiente expresión:

$$m_a C_{p,a} \frac{dT_a}{dt} = h_c A_p (T_{a,out}^p - T_{p,out}^p) - n_{w,out}^p A_p h_{fg} \quad \dots\dots\dots (16)$$

Multiplicamos todo por  $\frac{\Delta t}{m_p C_{p,p}}$  para simplificar a ambos lados:

$$\frac{\Delta t}{m_p C_{p,p}} m_p C_{p,p} \frac{T_{a,out}^p - T_{a,out}^{p-1}}{\Delta t} = \frac{\Delta t}{m_p C_{p,p}} h_c A_p (T_{a,out}^p - T_{p,out}^p) - \frac{\Delta t}{m_p C_{p,p}} n_{w,out}^p h_c A_p h_{fg}$$

$$T_{p,out}^p - T_{p,out}^{p-1} = \frac{h_c A_p T_{a,out}^p \Delta t}{m_p C_{p,p}} - \frac{h_c A_p T_{p,out}^p \Delta t}{m_p C_{p,p}} - \frac{n_{w,out}^p A_p h_{fg} \Delta t}{m_p C_{p,p}}$$

Pasaremos todo a la derecha salvo el término que deseamos calcular  $T_{p,out}^p$  y sacamos factor común  $T_{p,out}^p$ :

$$T_{p,out}^p + \frac{h_c A_p T_{p,out}^p \Delta t}{m_p C_{p,p}} = \frac{h_c A_p T_{a,out}^p \Delta t}{m_p C_{p,p}} - \frac{n_{w,out}^p A_p h_{fg} \Delta t}{m_p C_{p,p}} + T_{p,out}^{p-1}$$

$$T_{p,out}^p \left( 1 + \frac{h_c A_p \Delta t}{m_p C_{p,p}} \right) = \frac{h_c A_p T_{a,out}^p \Delta t}{m_p C_{p,p}} - \frac{n_{w,out}^p A_p h_{fg} \Delta t}{m_p C_{p,p}} + T_{p,out}^{p-1}$$

Multiplicamos la ecuación  $\frac{1}{\Delta t}$  :

$$\frac{1}{\Delta t} T_{p,out}^p \left( 1 + \frac{h_c A_p \Delta t}{m_p C_{p,p}} \right) = \frac{1}{\Delta t} \frac{h_c A_p T_{a,out}^p \Delta t}{m_p C_{p,p}} - \frac{1}{\Delta t} \frac{n_{w,out}^p A_p h_{fg} \Delta t}{m_p C_{p,p}} + \frac{1}{\Delta t} T_{p,out}^{p-1}$$

$$T_{p,out}^p \left( \frac{1}{\Delta t} + \frac{h_c A_p}{m_p C_{p,p}} \right) = \frac{h_c A_p T_{a,out}^p}{m_p C_{p,p}} - \frac{n_{w,out}^p A_p h_{fg}}{m_p C_{p,p}} + \frac{T_{p,out}^{p-1}}{\Delta t}$$

Sustituimos  $m_p = \rho_p V_p$

$$T_{p,out}^p \left( \frac{1}{\Delta t} + \frac{h_c A_p}{\rho_p V_p C_{p,p}} \right) = \frac{h_c A_p T_{a,out}^p}{\rho_p V_p C_{p,p}} - \frac{n_{w,out}^p A_p h_{fg}}{\rho_p V_p C_{p,p}} + \frac{T_{p,out}^{p-1}}{\Delta t}$$

Recordamos las siguientes relaciones entre volumen y áreas:

$$\varepsilon = \frac{V_a}{V_c}; \quad (1 - \varepsilon) = \frac{V_p}{V_c}; \quad a_p = \frac{A_p}{V_p}$$

Aplicamos las relaciones con los sumandos y obtendremos:

$$\frac{h_c A_p}{\rho_p V_p C_{p,p}} = \frac{h_c a_p}{\rho_p C_{p,p}}$$

$$\frac{h_c A_p T_{a,out}^p}{\rho_p V_p C_{p,p}} = \frac{h_c a_p T_{a,out}^p}{\rho_p C_{p,p}}$$

$$\frac{n_{w,out}^p A_p h_{fg}}{\rho_p V_p C_{p,p}} = \frac{n_{w,out}^p a_p h_{fg}}{\rho_p C_{p,p}} \quad \dots\dots\dots (17)$$

Despejando  $T_{p,out}^p$  tenemos:

$$T_{p,out}^p \left( \frac{1}{\Delta t} + \frac{h_c a_p}{\rho_p C_{p,p}} \right) = \frac{h_c a_p T_{a,out}^p}{\rho_p C_{p,p}} - \frac{n_{w,out}^p a_p h_{fg}}{\rho_p C_{p,p}} + \frac{T_{p,out}^{p-1}}{\Delta t}$$

$$T_{p,out}^p = \frac{\frac{h_c a_p T_{a,out}^p}{\rho_p C_{p,p}} - \frac{n_{w,out}^p a_p h_{fg}}{\rho_p C_{p,p}} + \frac{T_{p,out}^{p-1}}{\Delta t}}{\frac{1}{\Delta t} + \frac{h_c a_p}{\rho_p C_{p,p}}} \quad \dots\dots\dots (18)$$

Método de Fourier (determinación de calor transferido)

Ley de Fourier en la conducción de calor para una pared plana

$$\dot{Q}_{cond} = -kA \frac{dT}{dx} \quad \dots\dots\dots (19)$$

Aquí  $dT/dx$  es el gradiente de temperatura esto es la pendiente de la curva en el diagrama T-x. o sea la razón de cambio de T con respecto a la ubicación x. el calor es la conducido en la dirección de la T de creciente y el gradiente de temperatura se vuelve negativo al crecer x. El signo negativo garantiza que la transferencia de calor en la dirección de x positiva sea una cantidad positiva. El área A de transferencia siempre es normal a la dirección de esa transferencia.

$$\dot{Q} \int_0^L dx = -kA \int_{T_1}^{T_2} dT$$

$$\dot{Q} = -kA \frac{(T_2 - T_1)}{L} \dots\dots\dots (20)$$

Para paredes planas

$$\text{Velocidad de conduccion de calor} = \frac{(\text{Area de un lado})(\text{Diferencia de temperatura})}{\text{espesor}} \dots\dots\dots (21)$$

Donde:

K= conductividad térmica

$dT/dx$  = gradiente de temperatura esto es la pendiente de la curva en el diagrama T  
= gradiente de temperatura

A = área

L = espesor

## DETERMINACIÓN DE HUMEDAD

La humedad se usa para describir la cantidad de agua que tiene los materiales eso sustancias, debido a que la mayoría de los materiales solidos están constituidos de materia seca y agua, se puede establecer que la masa total  $m_s$  de material es igual a la suma secad  $m_s$  y de su masa de agua  $m_{h2o}$ .

$$m_h = m_s + m_{h2o} \dots\dots\dots (22)$$

El contenido de humedad se puede expresar de dos maneras contenido de humedad en base seca y contenido de humedad en base húmeda la diferencia radica por ejemplo cunado el valor de  $H_{bs}=200\%$  significa que la masa de agua presente en el material es 2 veces su masa seca.

$$H_{bh} = \frac{m_h - m_{sl}}{m_h} = \frac{m_1(h2o)}{m_h} \quad H_{bs} = \frac{m_h - m_{s2}}{m_{s2}} = \frac{m_2(h2o)}{m_{s2}} \dots\dots\dots (23)$$

## DETERMINACIÓN DE CALOR ESPECIFICO

El calor especifico en términos de su definición como cierta derivada parcial, que es una propiedad termodinámica más que la cantidad relacionada con la transferencia de calor en un proceso especial. De hecho, las derivadas anteriores se definen en cualquier punto

de cualquier proceso cuasi estático tanto si el proceso es a volumen constante o presión constante, calor específico son empleados son en realidad propiedades termodinámicas de una sustancia y por la definición.

$$C_p = \left(\frac{\partial h}{\partial T}\right) \quad C_p = m \int_{T_i}^{T_f} Q dT$$

$$C_p = \lim_{\Delta T \rightarrow 0} \frac{Q}{m\Delta T} \dots\dots (24)$$

$$C_p = C_A X_A + C_P X_P + C_G X_G + C_{Ca} X_C a + C_{Ce} X_{Ce} \quad (25)$$

## EFICIENCIA DE SECADO

Eficiencia es uno de los términos más usados en termodinámica e indica que tan bien se realiza un proceso de conversión o transferencia de energía. El desempeño o eficiencia se expresa en términos de la salida deseada y la entrada requerida

$$\eta_{maquina} = 1 - \frac{T_2}{T_1} = \frac{Q}{HV} \dots\dots (26)$$

## MÉTODO DE FICK

La difusividad efectiva se puede determinar mediante la ley de Fick, mediante su fórmula. (Chinenye et al., 2010)

$$MR = \frac{6}{\pi^2} \sum_1^{\infty} \frac{1}{n^2} \exp \left[ -\frac{n^2 \pi^2 D_e}{r^2} \right]$$

$$MR = \frac{m_i - m_s}{m_0 - m_s} \dots\dots (27)$$

MR = Relación de humedad

t = Tiempo

D<sub>e</sub> = Difusividad efectiva

n = Periodo largo de secado

n=1.(Chinenye et al., 2010)

Difusividad de efectiva: Utilizando la ley de Fick, se determina difusividad mediante para un plano a partir de la ecuación.(Bejarano-Martinez et al., 2019)

$$Y = \frac{X - X_{eq}}{X_0 - X_{eq}} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{t=1}^{\infty} \frac{1}{(2i+2)^2} \exp \dots\dots (28)$$

## RESULTADOS

### Balance de materia y energía

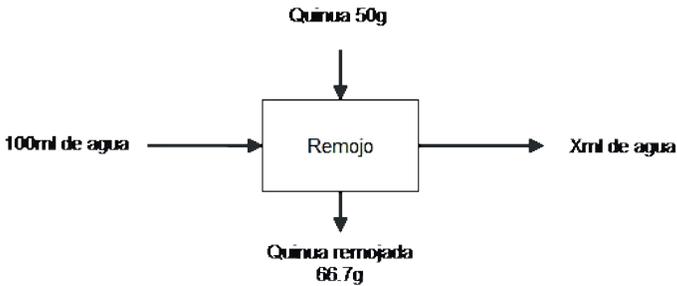


Figura 2. Balance de energía

### Balance de materia remojado

$$\text{Acumulado} = \text{Entrada} - \text{Salida}$$

$$m_4 = m_1 + m_2 - m_3$$

$$66.7 \text{ g} = 100 \text{ ml} + 50 \text{ g} - m_3$$

$$m_3 = 83.3 \text{ ml de agua}$$

Donde:

$m_1$  = cantidad de agua que ingresa al flujo

$m_2$  = cantidad de quinua que ingresa

$m_3$  = cantidad de agua que sale

$m_4$  = quinua remojada (remojada)

Figura 3. Balance de materia secado

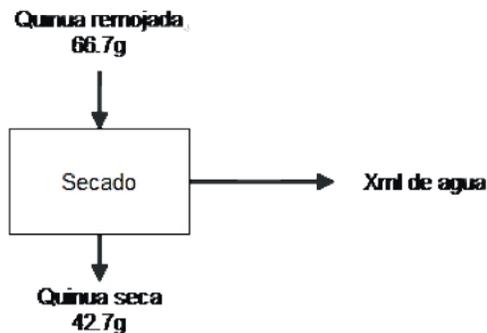


Figura 3. Balance de materia secado

$$\text{Acumulado} = \text{Entrada} - \text{Salida}$$

$$m_6 = m_4 - m_5$$

$$42.7 \text{ g} = 66.7 \text{ g} - m_5$$

$$m_5 = 24 \text{ ml de vapor agua}$$

**Donde:**

$m_4$  = quinua remojada (remojada)

$m_5$  = cantidad de agua eliminada mediante vapor

$m_6$  = cantidad de quinua seca obtenida

**Balance de energía**

Resolviendo  $T_{a,out}^p$ :

$$T_{a,out}^p = \frac{\frac{T_{a,out}^{p-1}}{\Delta t} + \frac{\dot{m}_a T_{a,int}^p}{m_a} + \frac{h_c}{C_{p,a} \rho_a \varepsilon} a_p (1-\varepsilon) T_{p,out}^p}{\frac{\dot{m}_a}{\rho_a V_a} + \frac{h_c}{C_{p,a} \rho_a \varepsilon} a_p (1-\varepsilon) + \frac{1}{\Delta t}}$$

**Datos:**

$$T_{a,out}^{p-1} = 60^\circ\text{C o } 333^\circ\text{K}$$

$$h_c = 773.6498 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$\dot{m}_a = 0.075 \text{ Kg/s}$$

$$C_{p,a} = 1006.59 \text{ J/Kg}^\circ\text{K}$$

$$m_a = 1.129054 * 10^{-3} \text{ Kg}$$

$$\rho_a = 1.129054 \text{ Kg/m}^3$$

$$\varepsilon = 0.023 \text{ m}$$

$$(1 - \varepsilon) = 33.4829$$

$$T_{a,out}^p = \frac{\frac{333^\circ\text{K}}{6\text{s}} + \frac{0.075 \text{ Kg/s}}{1.129054 * 10^{-3} \text{ Kg}} 333^\circ\text{K} + \frac{773.6498 \text{ W/m}^2\text{K}}{\frac{1006.59 \text{ J}^\circ\text{K}}{\text{Kg}} * \frac{1.129054 \text{ Kg}}{\text{m}^3} * 0.023 \text{ m}} 33.4829 T_{p,out}^p}{\frac{0.075 \text{ Kg/s}}{1.129054 * 10^{-3} \text{ Kg}} + \frac{773.6498 \text{ W/m}^2\text{K}}{\frac{1006.59 \text{ J}^\circ\text{K}}{\text{Kg}} * \frac{1.129054 \text{ Kg}}{\text{m}^3} * 0.023 \text{ m}} 33.4829 + \frac{1}{6\text{s}}}$$

$$T_{a,out}^p = \frac{22168.9058 + 991 T_{p,out}^p}{1057.5909}$$

Resolviendo  $T_{p,out}^p$

$$T_{p,out}^p = \frac{\frac{h_c a_p T_{a,out}^p}{\rho_p C_{p,p}} - \frac{n_{w,out}^p a_p h_{fg}}{\rho_p C_{p,p}} + \frac{T_{p,out}^{p-1}}{\Delta t}}{\frac{1}{\Delta t} + \frac{h_c a_p}{\rho_p C_{p,p}}}$$

**Datos:**

$$C_{p,p} = 1839.4 \text{ J/Kg}^\circ\text{K}$$

$$n_{w,out}^p = 1.80437 \text{ Kg/m}^2\text{s}$$

$$\rho_p = 580 \text{ Kg/m}^3$$

$$a_p = 34.483 \text{ m}^{-1}$$

$$T_{p,out}^{p-1} = 293^\circ\text{K}$$

$$h_{fg} = 2.257 * 10^6 \text{ J/Kg}$$

$$T_{p,out}^p = \frac{\frac{773.6498 \text{ W/m}^2\text{K} \cdot 34.483 \text{ m}^{-1} T_{a,out}^p}{580 \text{ Kg/m}^3 \cdot 1839.4 \text{ J/Kg}^\circ\text{K}} - \frac{1.80437 \text{ Kg/m}^2\text{s} \cdot 34.483 \text{ m}^{-1} \cdot 2.257 * 10^6 \text{ J/Kg}}{580 \text{ Kg/m}^3 \cdot 1839.4 \text{ J/Kg}^\circ\text{K}} + \frac{293^\circ\text{K}}{6\text{s}}}{\frac{1}{6\text{s}} + \frac{34.483 \text{ m}^{-1} \cdot 2.257 * 10^6 \text{ J/Kg}}{580 \text{ Kg/m}^3 \cdot 1839.4 \text{ J/Kg}^\circ\text{K}}}$$

$$T_{p,out}^p = \frac{0.025 T_{a,out}^p - 13.163 + 48.833}{7.4617}$$

$$T_{p,out}^p = \frac{0.025 \frac{22168.9058 + 991 T_{p,out}^p}{1057.5909} - 13.163 + 48.833}{73.117} = 296.4^\circ\text{K} \text{ o } 23^\circ\text{C}$$

$$T_{a,out}^p = \frac{22168.9058 + 991 * 296.4}{1057.5909} = 298.69^\circ\text{K} \text{ o } 25^\circ\text{C}$$

## RENDIMIENTO DE GRANO

CÓDIGO	NOMBRE DEL ALIMENTO	Energía <ENERC>	Energía <ENERC>	Agua <WATER>	Proteínas <PROCNT>	Grasa total <FAT>	Carbohidratos totales <CHOCDI>	Carbohidratos disponibles <CHOAVI>	Fibra dietaria <FIBTG>
		kcal	kJ	g	g	g	g	g	g
A 80	Quinoa rosada (↓uno)	356	1490	10.2	12.5	6.4	67.6	61.7	5.9

Cenizas <ASH>	Calcio <CA>	Fósforo <P>	Zinc <ZN>	Hierro <FE>	β caroteno equivalentes totales <CARBDQ>	Vitamina A equivalentes totales <VITA>	Tiamina <THIA>	Riboflavina <RIBF>	Niacina <NIA>	Vitamina C <VITC>	Ácido fólico	Sodio <NA>	Potasio <K>	CÓDIGO
g	mg	mg	mg	mg	µg	µg	mg	mg	mg	mg	µg	mg	mg	
3.3	124	205	3.39	5.20	8	8	0.24	0.25	1.60	0.00	8	30	776	A 80

Figura 4. Cálculo de cp - Tabla de composición peruana

Secado de quinua mediante lecho fluidizado

Se pesa 50 g de quinua se ata en un filtrante y se sumerge al agua durante 5 min determinación de secado, se pesa la quinua antes y después de su remojo

$$\text{Peso (g) antes de su remojo} = 50 \text{ g}$$

$$\text{Peso (g) despues de su remojo} = 68.71 \text{ g}$$

Mediante el secador de lecho fluidizado se realiza secado de aire caliente con una temperatura de 50°C con una velocidad de 6m/s de aire caliente del secador obteniendo los siguientes resultados.

Tiempos (min)	Peso (g)
0	66.71
2	59.96
4	51.76
6	46.03
8	45.70
10	45.40
12	42.73

Tabla 1. Disminución de peso según el tiempo

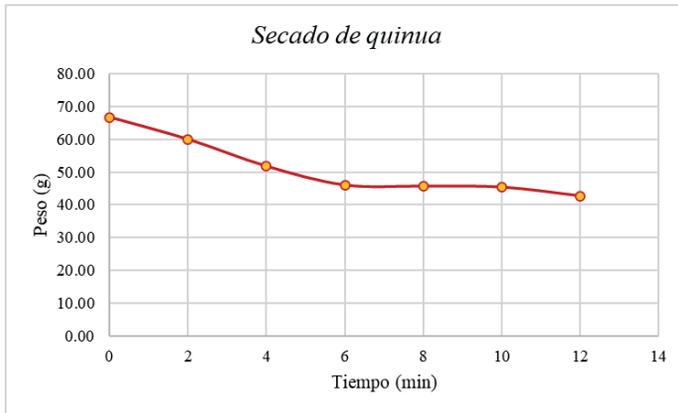


Gráfico 1. Curva de dependencia del peso en quinua

A partir de estos datos se determina la humedad

## DETERMINACIÓN DE HUMEDAD

Tomando los pesos de lecho fluidizado

Tiempos (min)	Peso (g)	% Humedad Aw	
0	66.71	10.12	0.101
2	59.96	12.29	0.123
4	51.76	5.59	0.056
6	48.03	6.94	0.069
8	43.40	1.11	0.011
10	42.66	2.19	0.022
12	41.20		
		38.24	0.382

Tabla 2. Tabla de datos sobre la pérdida de peso y humedad con respecto al tiempo

Entonces se puede la perdida la humedad en cada unidad de tiempo y peso obtenido donde la actividad des de 38.24% y quedando como actividad de agua 0.382

$$\%H = \frac{P_i - P_f}{P_i} * 100 = \frac{66.71 - 41.20}{66.71} * 100 = 38.24$$

$$Aw = \frac{\%H}{100} = \frac{38.24}{100} = 0.382$$

## DETERMINACIÓN DE CALOR ESPECIFICO

Para determinar el calor especifico de cada producto se utiliza la siguiente formula

$$C_p = C_A X_A + C_P X_P + C_G X_G + C_{Ca} X_{Ca} + C_{Ce} X_{Ce}$$

Para el caso de secado de quinua el calor especifico es diferente para cada temperatura. Obteniendo los valores iniciales de para secado de quinua se tiene lo siguiente.

Calor especifico (kJ/kg K)					
T°C	Agua	Proteina	Grasa	Carbohidratos	Cenizas
20	4.180	1.711	1.928	1.547	0.908
30	4.172	1.765	1.953	1.586	0.937
40	4.174	1.775	1.981	1.626	0.947
50	4.176	1.842	2.004	1.639	0.976
60	4.179	1.891	2.036	1.691	1.010
70	4.185	1.914	2.062	1.734	1.250
80	4.193	1.942	2.098	1.768	1.045

Tabla 3. Calor especifico de la quinua

Composicion Quinua				
Agua	Proteina	Grasa	Carbohidratos	Cenizas
10.2	12.5	6.4	67.6	3.3

Tabla 4. Composición química de la quinua

Calor especifico (kJ/kg K) Quinua						
T°C	Agua	Proteina	Grasa	Carbohidratos	Cenizas	TOTAL
20	42.636	21.388	12.339	104.577	2.996	183.94
30	42.554	22.063	12.499	107.214	3.092	187.42
40	42.575	22.188	12.678	109.918	3.125	190.48
50	42.595	23.025	12.826	110.796	3.221	192.46
60	42.626	23.638	13.030	114.312	3.333	196.94
70	42.687	23.925	13.197	117.218	4.125	201.15
80	42.769	24.275	13.427	119.517	3.449	203.44

Tabla 5. Calores especifico de la quinua en diferentes temperaturas

## CANTIDAD DE CALOR TRANSFERIDO Y ABSORBIDO

En un material de secador por lecho fluidizado con una velocidad de 9 m/s se seca la quinua con una temperatura inicial de 20°C hasta una temperatura de 60°C, disminuyendo su peso desde quinua remojada con 68.71 g llegando hasta un peso de 41.20 g, consideramos el valor promedio de calor específico de la quinua es 193.69 kJ/kg°C.

$$Q = mC_p\Delta T$$
$$Q = (68.71g) \left( \frac{193.69 \text{ kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \right) (60^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C})$$
$$Q = (68.71g) \left( \frac{\cancel{\text{kg}}}{1000g} \right) \left( \frac{193.69 \text{ kJ}}{\cancel{\text{kg}^\circ\text{C}}} \right) (40^\circ\text{C})$$
$$Q = 532.337596 \text{ kJ} \text{ Calor transferido}$$

Cálculo de eficiencia del secador de lecho fluidizado.

Temperatura inicial de secado 20°C

Temperatura final de secado 60°C

Humedad de grano 38.24%

Actividad de agua 0.382

Velocidad de secado 9 m/s

Aceleración 5m/s<sup>2</sup>

Radio 9.56 cm

Volumen especifico es de 0.845 m<sup>3</sup>/kg aire

$$Fuerza = m * a$$
$$Fuerza = 68.71 \text{ g} * 5 \text{ m/s}^2$$
$$Fuerza = 68.71 \cancel{\text{g}} \left( \frac{\text{kg}}{1000\cancel{\text{g}}} \right) * 5 \text{ m/s}^2$$
$$Fuerza = 0.34355 \text{ kg m/s}^2$$
$$Fuerza = 0.34355 \text{ N}$$
$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$
$$\eta = 1 - \frac{20}{60}$$
$$\eta = 0.667$$
$$\eta = 67\%$$

67% ES EL rendimiento de la maquina y con respecto al error la maquina se puede mejorar. *mejoracion de maquina* =  $\eta - e$

## MÉTODO DE FICK

Masa de agua 41.888

Masa de solidos 89.012

Cuadro de tiempo de secado, peso de la quinua y la humedad

TIEMPO (S)	Peso de Quinua (g)	Humedad Seca (Xw) db
0	130.9	0.32
120	126.3	0.30
240	120.1	0.26
360	112.1	0.21
480	103.2	0.14
540	100.8	0.12

Tabla 6. Tabla de datos de humedad y peso de quinua en el tiempo

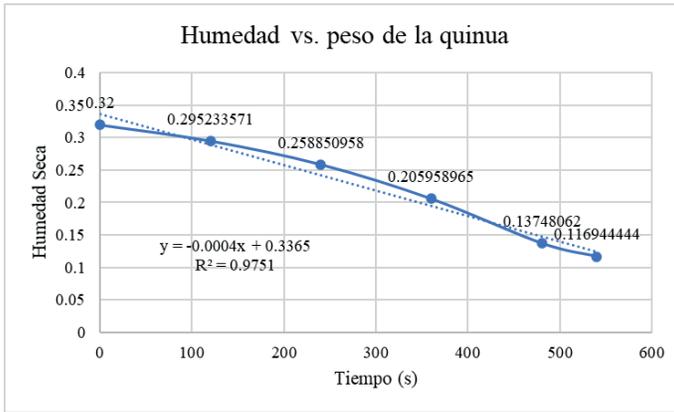


Gráfico 2. Grafica de la humedad y peso de la quinua

Actividad del agua

Humedad relativa= 2.84%

$$a_w = \frac{2.84}{100} = 0.0284$$

Cálculo del modelo de gab

Datos:

C 55.942

Wo 0.043

K 1.565

aw 0.0284

$$X_w = \frac{X_{w0} * C * K * a_w}{(1 - K * a_w)(1 + (C - 1)K * a_w)}$$

$$X_w = \frac{1.565 * 55.942 * 0.043 * 0.0284}{(1 - 1.565)(1 + (55.942 - 1)1.565 * 0.0284)}$$

$$X_w = 0.03250$$

Humedad de equilibrio

Tiempo (s)	Peso de Quinua (g)	Humedad Seca (Xw) db	Fuerza impulsora Fi	LN Fi
0	130.9	0.32	1	0
120	126.3	0.30	0.91385375	-0.09008473
240	120.1	0.26	0.78730238	-0.23914289
360	112.1	0.21	0.60332565	-0.50529818
480	103.2	0.14	0.36513417	-1.00749041
540	100.8	0.12	0.29370221	-1.22518892

Tabla 7. Tabla de datos

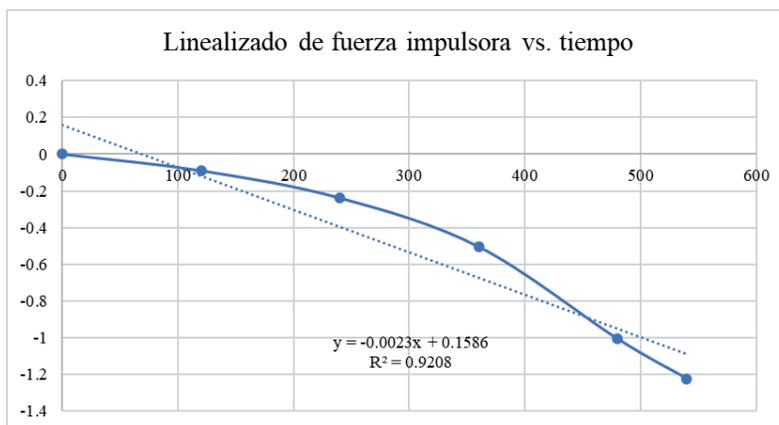


Gráfico 3. Linealización de los datos de fuerza impulsora y tiempo

Datos:

Pendiente 0.0023 Difusividad efectiva -3.64123E-10

Calcular el tiempo de secado:

$$\frac{X - X_1}{X_0 - X_1} = \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \text{EXP} - (n\pi)^2 \frac{D_e t}{r^2}$$

$$\frac{0.12 - 0.03250}{0.32 - 0.03250} = 0.6079 * \frac{\text{exp}(9.8696) - 3.6412^{-10} * t}{0.00125^2}$$

tiempo de secado de la quinua = 300.7793 seg

tiempo de secado de la quinua = 5.01 min

Rendimiento: % Rendimiento =  $\frac{50}{66.71} * 100 = 74.9512$

## EXPERIMENTACIÓN EN MATLAB

La cinética de secado, humedades según el número de instantes que se quieran representar y según la temperatura del aire a la entrada, aunque ahora la estemos considerando constante. De esta forma los cálculos se harán de forma repetida y automática:

```
for i=1:p+1
    %Taire(i)=Toutcol(i);
    Taire(i)=313;
    Talga=Tpini+273;
    %cálculo de los coeficientes d1,d2 y d3 en función de la T, para
    poder obtener la expresión de la derivada
    d1(i)=(coefd1(1)*(Taire(i)^2)+(coefd1(2)*Taire(i))+coefd1(3);
    d2(i)=(coefd2(1)*(Taire(i)^2)+(coefd2(2)*Taire(i))+coefd2(3);
    d3(i)=(coefd3(1)*(Taire(i)^2)+(coefd3(2)*Taire(i))+coefd3(3);
    %cálculo de la derivada, para el valor inicial de humedad
    Deriv(1)=(d1(1)*(HUM(1)^2) + (d2(1)*HUM(1)) + d3(1);
end
%repetimos tantas veces como indiquemos según valor del instante p
for i=2:p+1
    t(i)=At+t(i-1);
    HUM(i)=(Deriv(i-1)*At)+HUM(i-1);
    Deriv(i)=(d1(i)*(HUM(i)^2) + (d2(i)*HUM(i)) + d3(i);
end
```

Figura 5. Grafica de Matlab

En función al valor del instante p, podremos calcular los tiempos que se quieran, siempre indicando el número deseado. Se creará a la vez otro vector que será el tiempo, y que durará tantos incrementos  $\Delta t$  como tamaño p se especifique en el problema. Este código está integrado en el código final que permite calcular todo lo explicado en bloque.

## CONCLUSIONES

El balance de materia se realizó en proceso de secado y remojo con respecto a balance de energía solo se realizó en secado por las condiciones iniciales del proceso, posteriormente se realizó calor específico de la quinua tomando la composición del alimento en la tabla peruana de alimentos se pudo determinar calor específico con respecto a diferentes temperaturas de 20 °C a 60°C, se realizó una experimentación de secado de quinua roja en 12 minutos donde se remojo la quinua 50g obteniendo un peso de 66.71g quedando como peso final de secado 42.73 g y la velocidad de secado es de 6 m/s, como resultados de secado se obtuvo la quinua con un porcentaje de humedad 38.24% y dentro de su actividad de agua es de 0.382 posteriormente se determinó la cantidad de calor transferido generado por la secador de lecho fluidizado con un 532.3375 kJ entonces se puede predecir que la eficiencia de la maquina es de 67% menos el error obtenido se determinó el porcentaje que aún se puede mejorar en la máquina de secador de lecho fluidizado dejando un rendimiento 74% con respecto a su masa y finalmente se realizó la cinética de secado en macro Excel, Python y Matlab.

## DISCUSIONES

Según (Miranda, 2007) se puede obtener soluciones de las ecuaciones que modelan el comportamiento de un secador solar y determinar el valor de las temperaturas que intervienen, para nuestro trabajo también se pudo predecir la temperatura de entrada y salida para el secado en lecho fluidizado.

La investigación realizada por ( et al., 2018) que la manzana incrementaba su temperatura en un orden de 7°C lo que hace que se emplee una energía adicional a la solar, se presenta una energía de activación de 32.11KJ/mol, los parámetros para determinar la pérdida de humedad se establecieron a las temperaturas de 30 a 50°, mientras que en nuestro trabajo no se requirió de la adición de energía adicional para el secado.

En el trabajo realizado por (Jerez Ortiz, 2014) nos indica que la eliminación por convección forzada y por convección natural le dieron contenidos de humedad con los valores de 2.4% y 76.1% en 5 horas de secado, en el trabajo realizado se obtuvo una humedad del 38.24%.

Según (Minniti & Viglione Lara, 2016) Se encontró que existe una contracción volumétrica y una disminución de la densidad de los granos conforme aumenta el tiempo de secado. Las curvas de secado se ajustaron a un modelo matemático T60°C R2= 0,996 y se calcularon los parámetros cinéticos. Mediante la ley de Fick, se encontró el valor de la difusividad efectiva de agua T60°C,  $Def = 1,52 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ , el contenido de humedad se reduce exponencialmente con el tiempo de secado según comportamiento típico de materiales, el modelo teórico desarrollado presenta buen ajuste para bajos contenidos de humedad. En nuestro estudio se ha demostrado que a una temperatura de 60°C los ajustes de  $R=0.9208$ , y la difusividad efectiva de agua T60°C,  $Def = -3.64123 \times 10^{-10}$  de acuerdo a otros autores encontrados los valores obtenidos tienen similitud por la cual se llega a una conclusión de secador de lecho fluidizado reduce el contenido de humedad y resultan de gran utilidad en el proceso de secado conservación y posterior utilización del grano.

## REFERENCIAS

Ananias, r. A., & keyy, r. B. (2020). Transferencia de calor. *Teoría Del Secado*, 75–99. [https://doi.org/10.22320/978-956-9275-85-2\\_4](https://doi.org/10.22320/978-956-9275-85-2_4)

Cerron, F. G. (2013). *Efectos de Temperatura y Tiempo en el desamargado y secado de Quinoa (Chenopodium quinoa Willd)*. 1–134. [https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/2672/Cerron Mercado.pdf?sequence=1](https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/2672/Cerron%20Mercado.pdf?sequence=1)

Michelis, A., & Ohaco, E. (2012). Definiciones y algunos conceptos básicos. *DESHIDRATAACION Y DESECADO DE FRUTAS, HORTALIZAS Y HONGOS. Procedimientos Hogareños y Comerciales de Pequeña Escala*, 6–7.

Ochoa-Reyes, E., Ornelas-Paz, J. D. J., Ruiz-Cruz, S., Ibarra-Junquera, V., Pérez-Martínez, J. D., Guevara-Arauz, J. C., & Aguilar, C. N. (2013). TECNOLOGÍAS DE DESHIDRATACIÓN PARA LA PRESERVACIÓN DE TOMATE (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *BIOtecnia*, 15(2), 39. <https://doi.org/10.18633/bt.v15i2.148>

Physalis, U., With, L., & Dehydration, O. (2005). LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA COMO PRETRATAMIENTO EN LA CONSERVACIÓN DE MORA (*Rubus glaucus*) Y UCHUVA (*Physalis peruviana* L.) PRETREATMENT IN THE CONSERVATION OF BLACKBERRY (*Rubus glaucus*) AND UCHUVA (*Physalis peruviana* L.) WITH OSMOTIC DEHYDRATION. *Vitae*, 12(1), 15–22.

Michelis, A., & Ohaco, E. (2012). Definiciones y algunos conceptos básicos. *DESHIDRATACION Y DESECADO DE FRUTAS, HORTALIZAS Y HONGOS. Procedimientos Hogareños y Comerciales de Pequeña Escala*, 6–7. [https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta\\_cartilla\\_secado.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_cartilla_secado.pdf)

Ochoa-Reyes, E., Ornelas-Paz, J. D. J., Ruiz-Cruz, S., Ibarra-Junquera, V., Pérez-Martínez, J. D., Guevara-Arauz, J. C., & Aguilar, C. N. (2013). TECNOLOGÍAS DE DESHIDRATACIÓN PARA LA PRESERVACIÓN DE TOMATE (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *BIOtecnia*, 15(2), 39. <https://doi.org/10.18633/bt.v15i2.148>

Physalis, U., With, L., & Dehydration, O. (2005). LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA COMO PRETRATAMIENTO EN LA CONSERVACIÓN DE MORA (*Rubus glaucus*) Y UCHUVA (*Physalis peruviana* L.) PRETREATMENT IN THE CONSERVATION OF BLACKBERRY (*Rubus glaucus*) AND UCHUVA (*Physalis peruviana* L.) WITH OSMOTIC DEHYDRATION. *Vitae*, 12(1), 15–22. <http://www.scielo.org.co/pdf/vitae/v12n1/v12n1a02.pdf>

Minniti, A. C., & Viglione Lara, M. (2016). *Modelado y simulación de la operación de secado de material vegetal mediante la tecnología de lecho fluidizado*.