



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA**  
**“CALIDAD, PERTINENCIA Y CALIDEZ”**  
**UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD**  
**CARRERA DE INGENIERÍA EN ALIMENTOS**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DE TÍTULO DE INGENIERO EN ALIMENTOS**

**TEMA:**

**REPRESENTACIÓN MATEMÁTICA DE LA OPERACIÓN DE SECADO DE CACAO (*Theobroma Cacao L.*),  
EMPLEANDO HOJAS DE CÁLCULO (EXCEL).**

**CATEDRA: OPERACIONES UNITARIAS II**

**DOCENTE: Ing. LUIS CEDEÑO SARES, Mg.Ca**

**EGRESADO: KLEBER ENRIQUE VILLA MACHUCA**

**PERIODO: 2015 - 2016**

# INTRODUCCION

El secado es una operación unitaria simultánea de transferencia de calor y de masa, el calor es necesario para evaporar la humedad, la cual es removida de la superficie del producto por medio de un agente secador externo generalmente aire. La operación de secado de cacao desde el punto de vista físico, consiste en la reducción del contenido de agua de la almendra del 55 % a 7 % base húmeda, para evitar el crecimiento de hongos y ataque de insectos. El Ingeniero en alimentos debe aplicar principios de bioquímica de los alimentos y cinética de las reacciones para desarrollar diseños proximales para el secado de cacao mediante la caracterización de la materia prima y equipos utilizados en el diseño, los cuales deben ser lo más proximal a las condiciones de trabajo del productor y centros de acopio durante el beneficio de cacao, de esta manera reducir pérdidas económicas debido al sobrecalentamiento o pérdida de calidad del producto debido a la presencia de humedad durante el almacenamiento.



# REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA O FUNDAMENTACION TECNICA

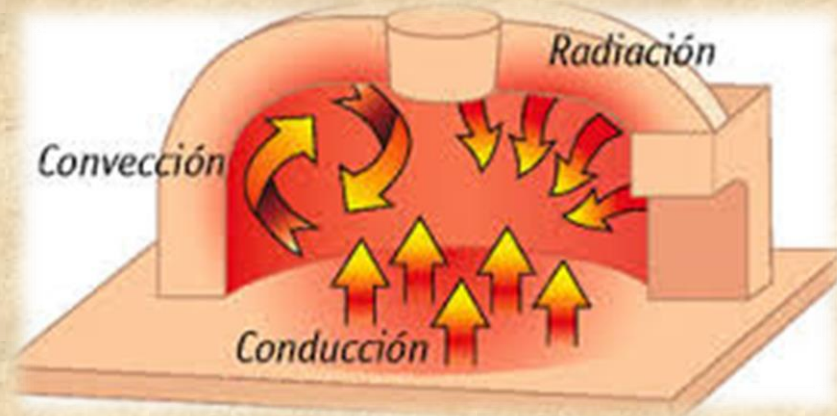
## Secado

Operación de transferencia de masa de contacto gas- sólido, donde la humedad que contiene el sólido se transfiere por evaporación hacia la fase gaseosa, en base a la diferencia entre la presión de vapor ejercida por el sólido húmedo y la presión parcial de vapor de la corriente gaseosa. Cuando estas dos presiones se igualan, se dice que el sólido y el gas están en equilibrio y el proceso de secado termina (2).



# METODOLOGÍA MÉTODO MATEMÁTICO TRANSMISIÓN DEL CALOR POR CONVECCIÓN.

Cuando en un fluido que se encuentra en un campo gravitatorio hay regiones de distinta densidad, siendo las zonas más densas por más frías las que se encuentran en la parte superior, éstas se mueven hacia las zonas de menor densidad que se encuentran en la parte inferior (más caliente) desplazando el fluido que allí se encuentra. La convección puede ser natural o forzada. Se dice que la convección es natural cuando las paredes en contacto con el sistema están en reposo, (por ejemplo, en un convector de los denominados radiadores), mientras que se dice que la convección es forzada cuando algunas de las paredes en contacto con el fluido se mueven favoreciendo la circulación de éste.



El número de Reynolds, que es un grupo adimensional, y es utilizado para caracterizar el movimiento de un fluido viene dado por el cociente de las fuerzas de inercia por las fuerzas debidas a la viscosidad (8).

**Número de Reynolds.**

N Re =

$$\text{N Re} = \frac{V(4R)}{\nu}$$

Dónde:

V=velocidad media

$\nu$

d=radio de tubería, r0 = radio de la tubería

$\nu$ =viscosidad cinemática del fluido

$\rho$ =densidad del fluido

$\mu$ =viscosidad absoluta

En caso de conductos de sección recta no circular se utiliza como sección recta por el perímetro mojado, el número de Reynolds es ahora

N Re =

En una tubería circular se considera:

Re < 2300 El flujo sigue un comportamiento laminar.

2300 < Re < 4000 Zona de transición de laminar a turbulento.

Re > 4000 El fluido es turbulento.

# CONVECCIÓN FORZADA.

En buena parte de los casos el número de Nusselt para la convección forzada puede ajustarse por una expresión de la forma

$$Nu = cte(N Re)^{rm} (N Pr)^n$$

Donde Re es el número de Reynolds y Pr es el número de Prandtl, dado por  
 $Pr =$

Con  $\alpha$  la difusividad térmica del fluido. L es una dimensión característica del sistema y cte, n y m son parámetros función de la geometría y del rango de números de Reynolds. Para los gases el número de Prandtl Pr apenas depende de la temperatura y en el caso concreto del aire puede tomarse  $Pr = 0,7$ .

Dependiendo del tipo de flujo (laminar o turbulento) y de la geometría de las superficies se utilizan distintas expresiones para el número de Nusselt (8). Así, para superficies planas en régimen laminar se utiliza una expresión de la forma

$$Nu = 0,664 Re^{1/2} Pr^{1/3}$$

Válida en el rango  $Pr < 0,6$  y  $Re < 5 \times 10^5$ . Para una superficie plana en régimen turbulento se utiliza la expresión

$$Nu = 0,037 Re^{4/5} Pr^{1/3}$$

# Pasos Para Elaborar El Diseño.

---

## **Determinar parámetros de trabajo**

Se caracteriza las propiedades de la materia prima e instrumentos u equipos a utilizar durante la realización del diseño los cuales deben trabajar a condiciones constantes.

## **Determinar fórmulas para el diseño.**

De acuerdo a las propiedades de estudio se determina las formulas a emplear durante el desarrollo del diseño, las cuales se detallaron en la metodología.

## **Establecer la correlación de fórmulas y resultados.**

Para hacer más fácil el diseño se deben relacionar los resultados obtenidos con las formulas consiguientes que se irán estableciendo de acuerdo al progreso de la resolución del problema.

## **Determinar las conclusiones de acuerdo a los resultados**

Obtenido el diseño se establecen los resultados obtenidos y se observa el posible error en alguno de sus cálculos o formulas mal planteadas, en caso de no haber alguna correlación entre datos.

---

## HERRAMIENTA

### Hoja de cálculo Excel.

La estructura principal que utiliza este software para almacenar y organizar la información es un área de trabajo en forma de matriz, como si fuera una hoja de papel cuadriculado, formada por un número determinado de filas y columnas, es lo que se llama hoja de cálculo (9).



---

## RESOLUCIÓN DEL PROBLEMA

### Problema

*El secado es una operación que aplicados en los alimentos brinda mayor tiempo de conservación del alimento, al mismo tiempo, proporciona en algunos alimentos el desarrollo de caracteres organolépticos deseados en el producto final, que brindan aspectos de calidad; como es el caso del café y el cacao, en base a esta operación de secado, la producción agrícola del café y del cacao, es evidente en nuestra provincia, por ende el desarrollo de procesos a escala piloto que permitan el desarrollo de la industrialización de estos productos.*

## CONCLUSIÓN

La simulación matemática del secado de granos de cacao en hojas de cálculo da a conocer un resultado proximal de acorde al proceso realizado bajo condiciones constantes, cabe tomar en consideración que las características propias de los granos deben ser homogéneas lo cual permita mantener parámetros de calidad para el procesamiento de la materia prima. La secadora de bandeja tiene una capacidad de 12,69 kg, siendo la capacidad de evaporación de 0,59 kg/h, cabe destacar que la capacidad de evaporación va a estar supeditada por la cantidad de cacao a secar, debido a que la capa de cacao tiene mayor espesor y la capacidad de transmisión de calor se verá reducida el tiempo de operación será mayor y los coeficientes individuales de película por convección y conducción en el interior ( $h_i$ ) y exterior ( $h_o$ ) de la tubería ubicados en la entrada y salida del secador se podrán ver afectados por la temperatura ambiente y el calor sensible generado por la fuente de calor la cual debe estar en un gradiente de  $60\text{ }^{\circ}\text{C} - 70\text{ }^{\circ}\text{C}$ , de esta manera evitando posibles defectos en el secado de cacao como la caramelización de los azúcares. Queda expresado que la eficiencia de secado va a depender de parámetros como la temperatura de bulbo seco, el caudal del aire de ingreso, el espesor de lecho o capa de secado y es debido a que mayor espesor de la capa menor es la capacidad de transferencia de calor. Por ende el trabajo aquí expuesto da resultados proximales a condiciones constantes.

## BIBLIOGRAFIA:

- ✘ 1. ROSSI, S, y ROA, G. *Secagem armazenamento de produtos agropecuarios, com uso de energfa solar e ar natural*. Sao Paulo : s.n., 1980.
- ✘ 2. BIZAMA, C. *Tipos de Operaciones Unitarias*. España : Academia, 2009.
- ✘ 3. MARQUES, J. *Secado de granos*. [aut. libro] FAO. *Manual de manejo poscosecha de granos a nivel rural*. Santiago, Chile : Oficina regional de la FAO para america latina y el caribe, 1993.
- ✘ 4. RIOS, A y PRADA, A. *Desarrollo de un prototipo de una máquina de secado para frutas tropicales*. Bucaramanga : s.n., 2010.
- ✘ 5. ANECACAO. [En línea] 21 de Febrero de 2006. [Citado el: 22 de Octubre de 2015.] : [www.anecacao.com/index.php/es/cacao-enecuador/historia-del-cacao.html](http://www.anecacao.com/index.php/es/cacao-enecuador/historia-del-cacao.html).
- ✘ 6. DELGADILLO. *Caramelización*. [En línea] 2009. [Citado el: 24 de 10 de 2015.] [pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/123456789/1564/PYT,\\_Informe\\_Final,\\_DPIMA,\\_v1.pdf?sequence=1](http://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/123456789/1564/PYT,_Informe_Final,_DPIMA,_v1.pdf?sequence=1).
- ✘ 7. MARTÍN, A. *Apuntes de transmisión del calor*. Madrid : s.n., 2011.
- ✘ 8. GILCES, H y SANMARTÍN, F. *Análisis y selección de proceso de cacao y diseño de prototipo de una unidad secadora tipo batch*. Milagro : s.n., 2013.
- ✘ 9. MICROSOFT. MICROSOFT. [En línea] 5 de 7 de 2013. [Citado el: 25 de 10 de 2015.] [http://www.uhu.es/zulema.nacimiento/excel/Apuntes/Acrobat/Microsoft%20PowerPoint%20-%20La%20hoja%20de%20calculo%20EXCEL\\_Pdf.pdf](http://www.uhu.es/zulema.nacimiento/excel/Apuntes/Acrobat/Microsoft%20PowerPoint%20-%20La%20hoja%20de%20calculo%20EXCEL_Pdf.pdf).
- ✘