



# **UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES**

### **CARRERA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**

#### **SECADO DE CAFÉ ARÁBIGO *Coffea arábica* L. DE LA VARIEDAD CATURRA MEDIANTE LECHO FLUIDIZADO.**

**Autor:** Unigarro Bolaños Diego Armando

**Director:** Ing. Luis Manosalvas

**Asesores:**

Ing. Jimmy Cuarán

Dr. José País

Dr. Ramón Cala

**Ibarra – Ecuador**

**2017**

## HOJA DE VIDA DEL INVESTIGADOR



**APELLIDOS:** Unigarro Bolaños

**NOMBRES:** Diego Armando

**C. CIUDADANÍA:** 040189441-5

**EDAD:** 26 años.

**NACIONALIDAD:** Ecuatoriana

**ESTADO CIVIL:** Soltero

**TELÉFONO CONVENCIONAL:** 2-291-755

**TELÉFONO CELULAR:** 0969519760

**CORREO ELECTRÓNICO:** diego-aub30@hotmail.com

**DIRECCIÓN:** Provincia: Carchi  
Ciudad: San Gabriel  
Parroquia: San José

**AÑO:** 2017

## REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

Diego Armando Unigarro Bolaños SECADO DE CAFÉ ARÁBIGO *Coffea arábica L.* DE LA VARIEDAD CATURRA MEDIANTE LECHO FLUIDIZADO. Universidad Técnica del Norte. Carrera de Ingeniería Agroindustrial, Ibarra 20 de enero del 2017.

**DIRECTOR:** Ing. Luis Armando Manosalvas

En la presente investigación se evaluó los parámetros operacionales del proceso de secado del café arábigo *Coffea arábica L.* de la variedad caturra, mediante lecho fluidizado. Para ello se determinaron las características físicas y gasodinámicas de la materia prima, se evaluaron la temperatura y velocidad de secado para determinar su influencia sobre el tiempo, además se aplicaron pulsaciones o intermitencia en el flujo de aire, así mismo se realizó análisis fisicoquímicos en el producto terminado y se determinó la uniformidad del secado en el tipo de secador utilizado.

El café obtenido de este proceso mantiene las características de calidad requeridas por las normas para este tipo de grano.



Ing. Luis Armando Manosalvas

DIRECTOR DE TESIS



Diego Armando Unigarro Bolaños

AUTOR

## 1. RESUMEN

El presente trabajo se desarrolló como parte del proyecto de investigación “Desaponificado y escarificado de la quinua *Chenopodium quinoa*” de donde se utilizó el equipo para la parte experimental en los laboratorios de Ingeniería Mecatrónica de Universidad Técnica del Norte, en la ciudad de Ibarra, Ecuador. En esta investigación se secó el café arábigo en lecho fluidizado y se determinó su influencia en el tiempo de secado comparándolo con los métodos tradicionales. Se utilizó un reactor de 0,1 m de diámetro y se mantuvo una altura constante del lecho de granos de 0,1 m. El equipo experimental es controlado por un computador interno a través del Software LabVIEW. Se diseñó un experimento factorial  $2^k$  donde los factores en estudio fueron la temperatura y velocidad del aire y la variable dependiente el tiempo de secado. Se realizó el procesamiento de los datos experimentales obtenidos de las curvas características del secado, donde el análisis estadístico determinó valores significativos tanto para la velocidad como para la temperatura del aire. Los resultados de este proceso determinó un tiempo de secado TAU mínimo de 50 minutos a valores bajos de temperatura de 50<sup>0</sup> C, siendo 10 veces menor el tiempo que los valores obtenidas en secadores de bandejas y aun superiores en los métodos tradicionales de secado al sol, con este tipo de secado fluidizado se logra evitar

el sobre secado y garantizar un secado más homogéneo del café.

### Palabras claves

Secado, café cereza, fluidización, MR, TAU

### SUMMARY

This study refers to the drying of Arábica coffee by fluidized bed and its comparison with other traditional methodologies. A reactor of 0.1 m diameter was used and the height was kept constant and equals to the diameter. The experimental equipment is controlled by the Data Capture Unit of the National Instruments NI cDAQ-9139, which makes the interface between the reactor and the internal computer through Lab VIEW software. A two factorial experiment was designed where the independent variables were the temperature and the air speed and drying time as dependent variable. The processing of the experimental data depicted characteristic curves of the drying. The statistical processing shown significant values for both speed and air temperature. As final result of this process reductions of drying time of 50 minutes were achieved with low values of temperature such as 50<sup>0</sup> C, being 10 times lower than the values obtained by the tray type dryers and even higher than the drying traditional methods such as intensive solar. On the other hand, mass loss by over-drying was avoided, guaranteeing a more homogeneous drying.

## **Keywords**

Drying, coffee, fluidization, MR, TAU

## **2. INTRODUCCIÓN**

La conservación de alimentos por secado es uno de los procedimientos más antiguos usados por el hombre (Mujumdar, 2014).

El secado para la conservación de alimentos proporciona al hombre una posibilidad de subsistencia en épocas de carencia. El secado se define como la remoción de humedad debido a la transferencia simultánea de calor y masa. Consiste en separar pequeñas cantidades de agua hasta que esta llegue a un valor aceptablemente bajo, es una de las etapas finales de una serie de operaciones (Mujumdar, 2014).

Durante el secado primeramente es removida el agua libre, ésta no cambia las propiedades del sólido durante el secado y después es removida el agua ligada que requiere la utilización mayor cantidades de energía (Liu et al., 2014).

En los alimentos al reducir el contenido de humedad se previene el crecimiento de microorganismos y se minimizan las demás reacciones de deterioro (Doymaz, 2004).

Por otra parte se reducen su volumen y su peso, lo cual reduce los costos de empaque y transporte, además el almacenamiento puede ser a temperatura ambiente por largos períodos de tiempo (Rivera & del Carmen, 2015).

Para el beneficio tradicional del café, que consta de los siguientes pasos: recibo del café cereza, despulpado, fermentación, lavado, escurrido y secado, este último proceso resulta muy importante para la calidad del grano de café óptimo para su utilización (Montilla et al., 2013).

El secado natural ha sido siempre el medio de deshidratación de los productos, pero no siempre se cuenta con las condiciones climáticas favorables para desarrollar esta labor, lo que impide secar grandes volúmenes (Tirabanti, 2016).

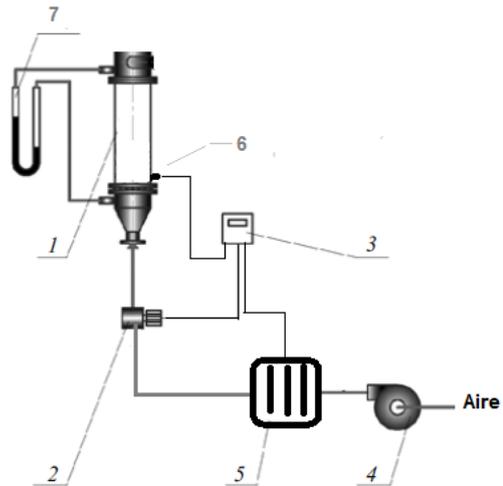
Teniendo en cuenta que el secado de materiales de poco nivel de adsorción y de pequeño diámetro ( 0.5 –15 mm), como el grano de café, se ven favorecidos por el uso de reactores de lechos fluidizados, disminuyendo el tiempo de secado y logrando un grano seco más uniforme que con otras tecnologías de secado (Jia et al., 2015).

## 2.1. OBJETIVOS SPECÍFICOS.

- Evaluar las propiedades físicas (tamaño, forma, color, uniformidad, humedad) y gasodinámicas (velocidad mínima de fluidización).
- Evaluar los parámetros de temperatura y velocidad del aire sobre el tiempo de secado.
- Aplicar pulsaciones en la velocidad del aire, a las condiciones de secado de los mejores tratamientos; para determinar su influencia sobre el tiempo de secado.
- Determinar las características fisicoquímicas del producto terminado: peso, humedad y actividad de agua.
- Evaluar la uniformidad del secado en el producto final.

## 3. MATERIALES Y MÉTODOS

Según Cala, (2007), inicialmente se debe construir la instalación experimental la cual tendrá dimensiones de laboratorio, altura de 50 cm y forma cilíndrica para un mejor diseño de rejilla. El esquema de la Instalación experimental se muestra a continuación:



**Fig.1:** Instalación experimental

Donde:

- 1- Reactor de columna cilíndrica de acrílico transparente Sistema de calefacción
- 2- Control de pulsaciones
- 3- Unidad de captura, almacenamiento y procesamiento de datos.
- 4- Soplador generador de flujo de aire
- 5- Sistema de calentamiento
- 6- Termocupla
- 7- Manómetro diferencial con columna de agua.

El reactor funciona con un flujo de aire a temperatura controlada, de material acrílico transparente que permite la visualización del proceso de fluidización que se estudia, con dimensiones de 100 cm de altura y un diámetro de 10 cm.

El control de todos los parámetros medidos en el proceso, como son temperatura del lecho, velocidad del flujo, se realiza con la Unidad de Captura, almacenamiento y procesamiento de datos de la National Instruments NI cDAQ-9139, la cual realiza la interfase con el reactor y su computador interno a través del Software LabVIEW.

### 3.1. Procedimiento experimental

Para el estudio del secado de café se procedió a realizar un diseño experimental de 2 factores, temperatura con 3 niveles, y velocidad del aire con 3 niveles.

Para la temperatura se tomaron los valores de 40, 45 y 50° C que garantizan que el grano de café no se ve afectado por el proceso de secado.

Para la velocidad se tomaron los valores de 3,9; 4,7 y 5,5 m/s, que son valores que varían desde cerca del valor de mínima fluidización hasta un poco antes del arrastre neumático de los granos de café.

En la tabla 1 se muestran los valores de las variables independientes generados por el diseño 2 factorial.

**Tabla 1.** Diseño 2 factoriales para el secado de café.

BLOQUE	V	T
1	3,9	45,0
1	3,9	50,0
1	5,5	50,0
1	5,5	40,0
1	4,7	45,0
1	4,7	50,0
1	5,5	45,0
1	3,9	40,0
1	4,7	40,0

Como variable dependiente se toma la Humedad en función del tiempo. De esta forma se obtuvieron 9 curvas características del secado para cada par de valores de T y V constantes.

### 3.2. Metodología experimental utilizada

Manteniendo una altura constante de la columna de café igual a 10 cm se procede a hacer circular el aire con valores de velocidad y temperaturas según la tabla 1.

Se toman muestras a intervalos variables de tiempo, a intervalos menores al inicio cuando la velocidad de secado es constante y superiores cuando el proceso de secado se encuentra en la segunda velocidad de secado (variable).

La humedad se determinó por el método de secado en una estufa a temperatura de  $105^{\circ}\text{C}$  y pesadas consecutivas de la muestra tomada hasta que su masa no varía.

### 3.3. Resultados y discusiones

A continuación, se muestran los resultados de las curvas de humedad contra tiempo para varios valores de temperatura y velocidad del aire. Fig. (2-4)

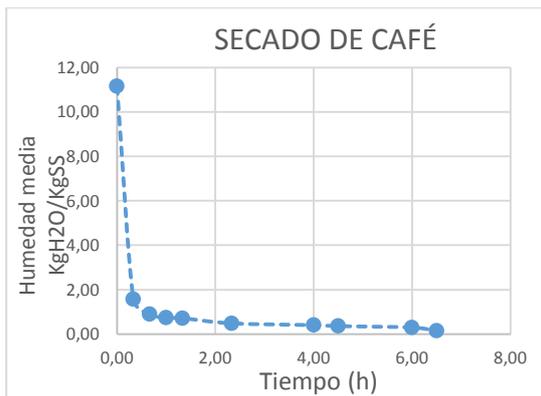


Fig. 2 Curva de secado  $v=3,9\text{ m/s}$ ,  $T=50^{\circ}\text{C}$

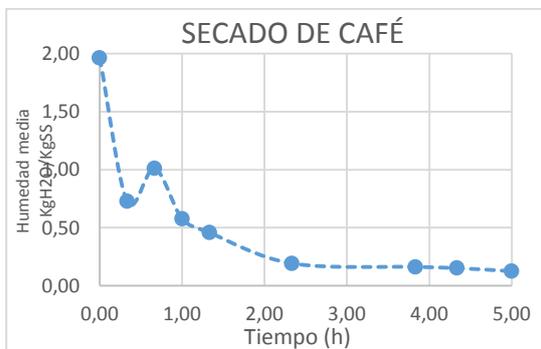


Fig. 3 Curva de secado  $v=4,7\text{ m/s}$ ,  $T=50^{\circ}\text{C}$

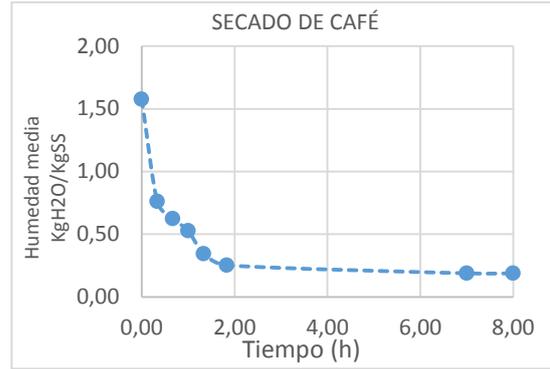


Fig. 4 Curva de secado  $V=5,5\text{ m/s}$ ,  $T=50^{\circ}\text{C}$

Para determinar los valores óptimos de secado se realizó un análisis estadístico donde se tomó el tiempo de secado (desde una humedad inicial de 60% hasta una humedad final de 10% en base seca) como variable de optimización y como variables independientes del proceso la velocidad del aire y su temperatura.

En la tabla 2 se muestran los valores alcanzados para el tiempo de secado designado por Tau en función de la velocidad y la temperatura utilizados.

Tabla 2. Tiempo de secado

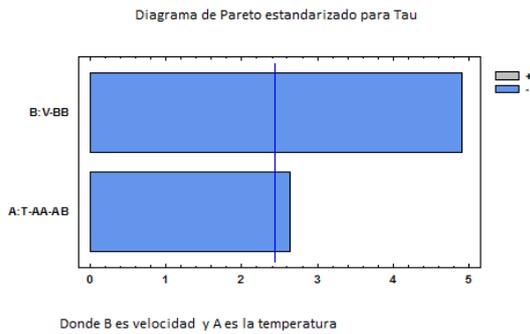
BLOQUE	T	V	Tau	
	grados C	m/s	minutos	
1	50,0	3,9	240	
1	45,0	3,9	280	
1	40,0	5,5	185	
1	40,0	3,9	300	El
1	50,0	4,7	120	
1	45,0	5,5	130	aná
1	50,0	5,5	50	
1	40,0	4,7	170	lisi
1	45,0	4,7	135	

s

estadístico muestra una dependencia significativa para la velocidad del aire y su temperatura en el proceso de secado de

café como se muestra en la fig. 5 a través del Pareto.

Siendo más significativo el cambio de velocidad dentro de los valores de temperatura utilizados.



**Fig. 5** Diagrama de Pareto para Tau

En la tabla 2 se puede observar que el valor de tiempo de secado mínimo de 50 min, se obtiene para una velocidad del aire de 5,5 m/s y una temperatura de 50° C.

En el trabajo (Fontal & Mauricio) se determinaron valores de tiempo de secado entre 6 y 8 horas en un reactor de 5000 gramos a temperatura de 46 y 49 ° C, pero no se informa sobre la velocidad del aire utilizado, parámetro muy significativo, como hemos visto, en el proceso de secado de café.

En el artículo (Montilla et al., 2013) se reporta tiempo de secado en lecho fijo de 18horas bajo un régimen de temperatura de 50 ° C, lo que coincide con nuestros

valores experimentales en lecho fijo y que resulta significativamente mayor que el tiempo de una hora en el lecho fluidizado a esta misma temperatura.

### 3.4. Conclusiones

Se lograron tiempos de secado con la utilización del lecho fluidizado más de 10 veces menores que por el método tradicional de lecho fijo u horno estático.

Se logró una alta homogeneidad del grano seco de café, con diferencias menores a 1% de humedad

El proceso de secado de café en grano muestra una alta significancia con la velocidad del aire y una dependencia moderada con la temperatura en el rango de 40 hasta 50 grados centígrados.

### 3.5. Referencias Bibliográficas

- Doymaz, I. (2004). Convective air drying characteristics of thin layer carrots. *Journal of food engineering*, 61(3), 359-364.
- Fontal, L., & Mauricio, E. Secado de café en lecho fluidizado. *Ingeniería e Investigación*; Vol. 26, núm. 1 (2006); 22-26 *Ingeniería e Investigación*; Vol. 26, núm. 1 (2006); 22-26 2248-8723 0120-5609.

- Jia, D., Cathary, O., Peng, J., Bi, X., Lim, C. J., Sokhansanj, S., . . . Tsutsumi, A. (2015). Fluidization and drying of biomass particles in a vibrating fluidized bed with pulsed gas flow. *Fuel Processing Technology*, *138*, 471-482.
- Lipták, B. G. (2013). *Process Control: Instrument Engineers' Handbook*: Butterworth-Heinemann.
- Liu, Y., Peng, J., Kansha, Y., Ishizuka, M., Tsutsumi, A., Jia, D., . . . Sokhansanj, S. (2014). Novel fluidized bed dryer for biomass drying. *Fuel Processing Technology*, *122*, 170-175. doi:10.1016/j.fuproc.2014.01.036
- Montilla, J., Arcila, J., Aristizabal, M., Montoya, E., Puerta, G., Oliveros, C., & Cadena, G. (2013). Propiedades físicas y factores de conversión del café en el proceso de beneficio.
- Mujumdar, A. S. (2014). *Handbook of industrial drying*: CRC Press.
- Rivera, V., & del Carmen, M. (2015). Estudio para la prolongación de la vida útil de variedades de higos y brevas interesantes para su consumo en fresco y estudio de técnicas alternativas para el secado de higos.
- Tirabanti, J. (2016). Sistema de beneficio húmedo de café.