



Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez

Departamento de Química y Bioquímica

Licenciatura en Ingeniería Química

*Informe Técnico de Residencia Profesional*

***Evaluación de los resultados del proceso de tostado de amaranto en lecho fluidizado y lecho fuente***

*Presenta:*

*Vicente Ramírez Carlos Armando*

*No. de Control: 13270815*

*Noveno Semestre*

*Asesor Interno: M.C. Roberto David Vázquez Solís*

*Asesor Externo: Dra. Guadalupe María Guatemala Morales (CIATEJ)*

*Revisores:*

*M.I.A. Roció Farrera Alcazar*

*M.C. Marco Antonio Mazariegos Morales*

*Enero 2018*

## CONTENIDO

JUSTIFICACIÓN.....	4
OBJETIVOS. ....	4
OBJETIVO DEL PROYECTO.....	4
OBJETIVO GENERAL. ....	4
OBJETIVOS ESPECÍFICOS. ....	4
PROBLEMAS A RESOLVER. ....	5
PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES. ....	6
CARACTERIZACIÓN DE LA SEMILLA.....	6
PROPIEDADES FÍSICAS ....	6
DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS.....	9
VELOCIDAD MÍNIMA DE FLUIDIZACIÓN Y FUENTEADO. ....	11
DETERMINACIÓN DE CINÉTICAS DE SECADO ....	12
CINÉTICAS DE SECADO POR TERMO-BALANZA.....	12
DETERMINACIÓN DE CINÉTICAS DE TOSTADO DE AMARANTO.....	13
LECHO FUENTE, ARRIOLA (1997) ....	13
LECHO FLUIDIZADO ....	13
CARACTERIZACIÓN DEL PRODUCTO ....	13
RESULTADOS. ....	14
CARACTERIZACIÓN DE LA SEMILLA.....	14
PROPIEDADES FÍSICAS ....	14
PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS.....	16
VELOCIDAD MÍNIMA DE FLUIDIZACIÓN Y FUENTEADO. ....	18
CINÉTICAS DE SECADO ....	19
CINÉTICA DE SECADO A 60 °C.....	19
CINÉTICA DE SECADO A 70 °C.....	19
CINÉTICA DE SECADO A 80 °C.....	20

CINÉTICAS DE SECADO.....	20
CINÉTICA DEL TOSTADO DE AMARANTO .....	21
LECHO FUENTE, ARRIOLA (1997). .....	21
Lecho fluidizado .....	25
CARACTERIZACIÓN DEL PRODUCTO.....	29
PROPIEDADES FÍSICAS .....	29
PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS.....	29
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	35
COMPETENCIAS DESARROLLADAS Y/O APLICADAS. ....	37
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS. ....	38

## *Informe Técnico*

### **JUSTIFICACIÓN.**

---

El presente trabajo tiene como finalidad validar experimentalmente el prototipo de lecho fuente para el tostado de la semilla de amaranto, así mismo, obtener información sobre el proceso de tostado utilizando un lecho fluidizado. El trabajo consiste en la realización de pruebas de tostado de la semilla en un sistema de lecho fuente de diseño original (Patente No. 298223) desarrollado por el Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C. (CIATEJ), en colaboración con la Universidad de Guadalajara. El CIATEJ es un Centro de investigación especializado en alimentos y bebidas, donde la Dra. Guatemala inventora de esta tecnología e investigadora en el área de Tecnología Alimentaria en CIATEJ ha estado trabajando en las aplicaciones de esta tecnología. Los resultados que se obtengan tendrán un gran impacto y beneficio a nuestro país en donde principalmente los beneficiados serán los productores y empresarios de este cereal.

### **OBJETIVOS.**

---

#### **OBJETIVO DEL PROYECTO.**

Validar el tostado de las semillas de amaranto en un tostador de lecho fuente patentado por CIATEJ-UDG.

#### **OBJETIVO GENERAL.**

Elaborar las pruebas de aplicación para el tostado de semillas de amaranto en el tostador de lecho fuente patentado por CIATEJ-UDG

#### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

- ◆ Caracterización de la semilla de amaranto
- ◆ Montaje de equipo en el laboratorio para pruebas
- ◆ Obtención e interpretación de cinéticas en secado
- ◆ Obtención e interpretación de cinéticas de tostado en lecho fuente y fluidizado

## PROBLEMAS A RESOLVER.

---

**La determinación de las propiedades:** son las propiedades físicas y fisicoquímicas de la semilla las cuales en el primer caso son: largo (diámetro de la partícula), ancho, espesor, densidad, densidad bulk, esfericidad, Angulo de reposo, en donde algunas se van a requerir de experimentación para su determinación y en otros casos uso de correlaciones para la su obtención.

De igual forma hay propiedades fisicoquímicas que hay que determinar de nuestra materia prima como son % de humedad, contenido de ceniza, grasas como extracto etéreo y almidones los cuales nos ayudaran a determinar las características de la semilla de amaranto, los cuales no servirán posteriormente para las cinéticas y punto de comparación con el producto que se obtenga de tostar en el lecho fuente.

**Obtención de las velocidades mínimas fluidización:** es necesario hacer el montado del equipo de lecho empacado de igual forma realizar las conexiones necesarias para la alimentación del aire en donde hay que verificar que no existan perdidas de aire, así también la conexión del intercambiador de calor para el suministro del aire caliente para poder lograr el tostado de la semilla, con uso de un termostato para la regulación de temperatura de este. Para la aspersion del aire se configuro un nuevo plato de distribución con arreglo triangular. En el caso de la velocidad mínima de fuentado es hacer manejo del lecho fuente de Arriola, (2007) en el que para este caso solo se hace uso del aire, y regular la alimentación para verificar datos experimentales los cuales son de primordial uso para su determinación.

**Cinéticas de sacado en termo balanza:** como un estudio preliminar para entender el comportamiento de la semilla se obtienen cinéticas de secado en una termo balanza. Se pondrán muestras de semilla de amaranto de 5 gramos aproximadamente para su secado en la Termo-balanza A&D MX-50 / MF-50, en donde tiene una exactitud media, la temperatura que se han de manejar son de 60, 70 y 80 °C respectivamente, para este fin se realizara una réplica.

**Cinéticas de tostado en lecho fuente y fluidizado:** con la información obtenida en los pasos previos y pruebas preliminares de tostado en un lecho fuente se seleccionarán las condiciones de velocidad de fuentado y temperatura del aire para obtener las cinéticas de tostado.

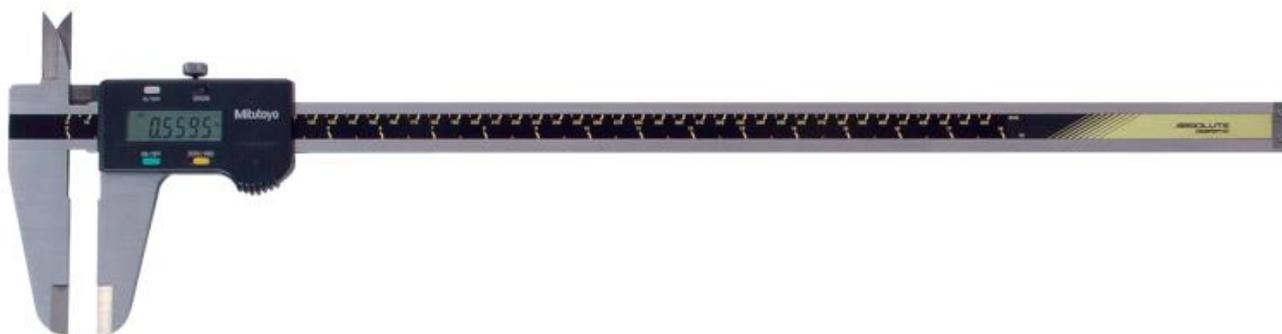
## PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES.

### CARACTERIZACIÓN DE LA SEMILLA

#### PROPIEDADES FÍSICAS

*Largo, ancho y espesor.*

La determinación del largo (L), ancho (W) y espesor (T) de la partícula, se hace uso de un vernier digital marca Mitutoyo modelo Digimatic Caliper (Figura 1), en donde primeramente hay que seleccionar la unidad de medida en nuestro caso milímetros (mm), seguidamente pulsar el botón zero/abs, posteriormente tomar lecturas de semillas tomas al azar.



**Figura 1.** vernier digital marca Mitutoyo modelo Digimatic Caliper

*Diámetro de la partícula ( $d_p$ )*

Para la determinación del diámetro de la partícula es igual a la longitud lineal máxima de la semilla (largo) previamente echo en el caso anterior.

*Densidad de la partícula ( $\rho_p$ )*

En la determinación de la densidad de la partícula se hizo la selección una muestra de 100 semillas de amaranto debido a su tamaño se optó por esta cantidad, se pesaron en una balanza analítica y se determinó su volumen por desplazamiento de tolueno en una probeta graduada de 10 ml. Dicho método es usado por Bayre (2001) y Singh y Goswani (1996) para maní bambara y semillas de comino.

*Densidad Bulk ( $\rho_b$ )*

En la determinación de esta propiedad física se utilizó una probeta, la cual se llenó hasta 100 ml, seguidamente se pesó en una balanza analítica para poder obtener dicha relación, por el entendido que “se define como la razón de la masa de una determinada cantidad de

granos entre el volumen que ocupa dicha masa en un lecho flojo” (Virgen Navarro, 2011), dicho método es aplicado por Atares Huerta (2015).

#### Fracción Vacía ( $\epsilon$ )

De acuerdo con Geankoplis (2006), la fracción vacía en un lecho empacada,  $\epsilon$ , se puede definir como:

$$\epsilon = \frac{\text{volumen de los huecos en el lecho}}{\text{volumen total del lecho (huecos + sólidos)}} \quad (1)$$

Y la fracción de volumen de sólidos en lecho será entonces  $(1 - \epsilon)$

Si se toma como base de cálculo un volumen conocido del lecho empacada,  $V_{base}$ , o volumen total del lecho, y se conocen los valores de la densidad global del amaranto,  $\rho_{bulk}$ , se puede obtener la masa total de los sólidos en el lecho:

$$M_{lecho} = \rho_{bulk} V_{base} \quad (2)$$

Para una densidad del amaranto – los sólidos –  $\rho_s$ , el volumen de los granos de amaranto será:

$$V_{sólidos} = \frac{M_{lecho}}{\rho_s} \quad (3)$$

Y,  $\epsilon$ , será entonces:

$$\epsilon = \frac{V_{total\ del\ lecho} - V_{sólidos}}{V_{total\ del\ lecho}} \quad (4)$$

#### Esfericidad ( $\phi_s$ )

La estimación de la esfericidad del grano de amaranto fue haciendo uso de la ecuación utilizada por Virgen-Navarro (2011) y Mohsenin (1970).

$$\phi = \frac{(LWT)^{\frac{1}{3}}}{L} \quad (5)$$

Siendo:

- $\phi$  = Esfericidad
- L = Largo de la partícula
- W= Ancho de la partícula
- T = Espesor de la partícula

### *Angulo de reposo ( $\theta_r$ )*

En su caso para su determinación se procedió a dejar caer las semillas sobre una superficie horizontal, hasta que este formara una pila. La Figura 2 muestra el ángulo formado.



**Figura 2.** Angulo de reposo ( $\Theta_r$ )

## DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS.

### *% Humedad*

Para la realización de dicha experimentación se hizo bajo Norma NMX-F-428-1982 Alimentos – Determinación de humedad, se hace una clasificación de los granos, esto con el fin de tener los granos en buen estado y de calidad, posteriormente se pasa en un molino para facilitar la determinación de humedad, finalmente se preparó la muestra según las especificaciones del manual de la termo-balanza A&D MX-50 / MF-50 (Figura 3). La cantidad a medir fue de 5 gr (base seca), a una temperatura de 103° C.



**Figura 3.** Termo balanza

### *Contenido de Ceniza*

#### Norma NMX-F-66-S Alimentos – Determinación de cenizas.

Se entiende por cenizas como el residuo inorgánico que queda tras eliminar totalmente los compuestos orgánicos existentes en la muestra, si bien hay que tener en cuenta que en él no se encuentran los mismos elementos que en la muestra intacta, ya que hay pérdidas por volatilización y por conversión e interacción entre los constituyentes químicos.

En un crisol a masa constante, poner de 3 a 5 g de muestra por analizar; colocar el crisol con muestra en una parrilla y quemar lentamente el material hasta que ya no desprenda humos, evitando que se proyecte fuera del crisol.

Llevar el crisol a una mufla y efectuar la calcinación completa. Dejar enfriar en la mufla, transferirlo al desecador para su completo enfriamiento y determinar la masa del crisol con cenizas.

Calcular el porcentaje de cenizas con la siguiente formula:

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{P_1 - P_2}{P - P_2} * 100 \quad (6)$$

Donde:

P= Peso en gramos de la cápsula más el de la muestra

P<sub>1</sub>= Peso en gramos de la capsula más la cenizas

P<sub>2</sub>= Peso en gramos de la cápsula vacía.

#### *Grasas como extracto etéreo*

##### Norma NMX-F-89-S Alimentos – Determinación de extracto etéreo (Método Soxhlet).

Transferir 2.0 g de muestra finamente dividida en el cartucho o dedal; cubrir con una porción de algodón.

Colocar el cartucho dentro del extractor Soxhlet. En la parte inferior ajustar un matraz con cuerpos de ebullición (llevados previamente a peso constante por calentamiento a 100 – 110°C). Colocar el refrigerante.

Añadir éter por el extremo superior del refrigerante en cantidad suficiente para tener 2 ó 3 descargas del extractor (alrededor de 80 ml).

Hacer circular el agua por el refrigerante y calentar hasta que se obtenga una frecuencia de unas 2 gotas por segundo.

Efectuar la extracción durante 4 a 6 horas. Suspender el calentamiento, quitar el extractor del matraz y dejar caer una gota de éter del extractor a un papel o vidrio de reloj, si al evaporarse el éter se observa una mancha de grasa, ajustar el Soxhlet de nuevo al matraz y continuar la extracción.

Evaporar suavemente el éter del matraz y secar a 100 °C hasta peso constante.

$$\% \text{ Extracto Etéreo} = \frac{P - p}{M} * 100 \quad (7)$$

Donde:

P= Masa en gramos del matraz con grasa

p= Masa en gramos del matraz sin grasa

M= Masa en gramos de la muestra

### *Almidones*

#### Norma NMX-F-374-S Alimentos – Prueba de lugol.

Tomar una pequeña cantidad de muestra en un matraz Erlenmeyer, añadir un poco de agua, colocar el matraz sobre la parrilla eléctrica hasta que esté en ebullición y después enfriar. Añadir unas gotas de lugol, si aparece una coloración azul oscura, indica la presencia de almidón.

Cuando se obtiene la coloración azul/morado debe expresarse el resultado como "positivo".

Cuando no se obtiene la coloración azul/morado el resultado se expresa como "Negativo".

## **VELOCIDAD MÍNIMA DE FLUIDIZACIÓN Y FUENTEADO.**

El flujo mínimo de fuenteado, o velocidad mínima requerida para levantar los sólidos a través del tubo de arrastre, es estimado con los valores obtenidos de: densidad,  $\rho$ , diámetro de la partícula,  $d_p$ , esfericidad,  $\phi$ , espacios vacíos,  $\varepsilon$ , y las propiedades del gas, se obtuvo un valor estimado de la mínima de fluidización,  $u_{mf}$ . Con la ayuda de algunas correlaciones empíricas desarrolladas por Pallai y Nemeth (1969) y Smith y Reddy (1964), se estimó la velocidad mínima de fuenteado y se pudo formar un criterio en la selección de los flujos de aire a utilizar por el sistema.

Para encontrar la velocidad mínima de fluidización del gas, se utiliza la ecuación de Ergun (Ergun 1952) para lechos fijos.

Se calculó la velocidad mínima de fluidización  $u_{mf}$ , y en base a la experimentación se seleccionó una velocidad superficial mayor a la de fluidización como criterio de operación.

$$\frac{1.75}{\varepsilon_{mf}^3} \left( \frac{d_p u_{mf} \rho_g}{\mu} \right)^2 + \frac{150(1 - \varepsilon_{mf})}{\varepsilon_{mf}^3} \left( \frac{d_p u_{mf} \rho_g}{\mu} \right) = \frac{d_p^3 \rho_g (\rho_s - \rho_g) g}{\mu^2} \quad (8)$$

Para el caso particular de partículas muy pequeñas, la ecuación anterior puede simplificarse y obtener:

$$u_{mf} = \frac{d_p^2(\rho_s - \rho_g)g}{150\mu} \frac{\varepsilon_{mf}^3 \phi_s^2}{1 - \varepsilon_{mf}} \quad \text{Re}_{p,mf} < 20 \quad (9)$$

$$u_{ms} = u_{mf} \left( \frac{H/H_m}{1.5} + 1 \right) \quad (10)$$

$$u_{ms} = d_p \left( \frac{g(\rho_s - \rho_g)^{\frac{1}{2}}}{\rho_g D_c} \right) \left[ 1.64 + 26.8 \left( \frac{D_i}{D_c} \right)^2 \right] \left( \frac{H}{D_c} \right)^{0.5-1.76 \left( \frac{D_i}{D_c} \right)} \quad (11)$$

Donde:

Nomenclatura	Variable	Unidad
$u_{mf}$	Velocidad mínima de fluidización	m/s
$u_{ms}$	Velocidad mínima de fuenteado	m/s
$d_p$	Diámetro de la partícula (largo)	m
$\rho_s$	Densidad del solido	kg/m <sup>3</sup>
$\rho_g$	Densidad del gas (aire T <sub>amb</sub> )	1.16 kg/m <sup>3</sup>
$g$	Aceleración de la gravedad	9.8 m/s <sup>2</sup>
$\varepsilon_{mf}$	Fracción vacía	-
$\mu$	Viscosidad del gas (aire)	1.95 E-05 kg/m s
$\phi_s$	Esfericidad	-
$H_m$	Altura del lecho fijo	m
$H$	Altura de los sólidos fuenteados	m
$D_i$	Diámetro del orificio de la esprea	m
$D_c$	Diámetro del lecho	m

## DETERMINACIÓN DE CINÉTICAS DE SECADO

### CINÉTICAS DE SECADO POR TERMO-BALANZA

Para la determinación de cinética de secado de la semilla de amaranto, se procedió a tomar muestras de 5 gramos aproximadamente, en donde con esta cantidad tenemos una exactitud media en la termo-balanza A&D MX-50 / MF-50, la cual se usará, las temperaturas a determinar su cinética son: 60, 70 y 80 °C, la cuales se les realizara a cada una réplica y se tomara lectura del % humedad cada 5 min.

## DETERMINACIÓN DE CINÉTICAS DE TOSTADO DE AMARANTO

### LECHO FUENTE, ARRIOLA (1997)

Para las determinaciones de las condiciones de operación del lecho fuente se realizaron pruebas preliminares a diferentes condiciones, en la cuales incluían la variación de la presión del aire, flujo y temperatura, de igual forma al realizar el tostado de la materia prima se puede observar el tiempo requerido para que este alcance tostarse uniformemente.

Una vez determinadas, las condiciones de operación (390 °C, 400 °C y 410 °C a una presión 3 kg/cm<sup>2</sup> con un flujo de 150 l/min) se procedió a realizar la experimentación, para fines de obtener mejores resultados, se introdujeron lotes de materia prima a diferentes tiempos como se muestran en los resultados, esto con el fin de garantizar mejores resultados.

### LECHO FLUIDIZADO

Al igual que para el lecho fuente, Arriola (1997) se realizaron pruebas preliminares a diferentes condiciones, variando la presión del aire, flujo y temperatura, de la misma manera que se determinó el tiempo de tostado para el equipo anteriormente mencionado se aplicó para este hasta alcanzar la uniformidad del tostado del amaranto.

Para realizar una buena comparación de los resultados, las condiciones de operación fueron las mismas de temperatura, presión y flujo del aire, para fines de obtener mejores resultados, se introdujeron lotes de materia prima a diferentes tiempos esto con el fin de garantizar mejores resultados.

### CARACTERIZACIÓN DEL PRODUCTO

Para la caracterización del producto se le midió a este su diámetro de la partícula ( $d_p$ ), densidad de la partícula ( $\rho_p$ ) y densidad *bulk* ( $\rho_b$ ) metodología que es exactamente la misma que la caracterización de la materia de la semilla.

## RESULTADOS.

### CARACTERIZACIÓN DE LA SEMILLA

#### PROPIEDADES FÍSICAS

*Largo, ancho y espesor.*

	<b>Largo (mm)</b>	<b>Ancho (mm)</b>	<b>Espesor (mm)</b>
	1.39	0.97	0.74
	1.38	0.92	0.83
	1.46	1.26	0.93
	1.49	0.98	0.91
	1.42	1.07	0.88
	1.32	0.95	0.86
	1.38	0.96	0.76
	1.36	1.17	0.87
	1.42	1.2	0.88
	1.38	1.08	0.85
	1.4	1.23	0.86
	1.38	1.13	0.83
	1.43	1.2	0.93
	1.2	1.02	0.74
	1.38	1.19	0.87
	1.31	1.09	0.83
	1.39	1.11	0.81
	1.49	1.28	0.92
	1.4	1.21	0.9
	1.38	1.13	0.94
<b>Promedio</b>	1.388	1.1075	0.857

*Diámetro de la partícula*

<b>Diámetro (mm)</b>	
1.39	
1.38	
1.46	
1.49	
1.42	
1.32	
1.38	
1.36	
1.42	
1.38	
1.4	
1.38	
1.43	
1.2	
1.38	
1.31	
1.39	
1.49	
1.4	
1.38	
<b>Promedio</b>	1.388

*Densidad de la partícula*

<b>No.</b>	<b>M<sub>p</sub> (g)</b>	<b>V<sub>p</sub> (ml)</b>	<b>Densidad</b>	
1	0.0894	0.1	0.894 g/ml	894 kg/m <sup>3</sup>
2	0.0888	0.1	0.888 g/ml	888 kg/m <sup>3</sup>
3	0.0931	0.1	0.931 g/ml	931 kg/m <sup>3</sup>
4	0.0901	0.1	0.901 g/ml	901 kg/m <sup>3</sup>
5	0.0923	0.1	0.923 g/ml	923 kg/m <sup>3</sup>
<b>Promedio</b>			907 kg/m <sup>3</sup>	

*Densidad Bulk.*

$$\rho_b = 900 \frac{kg}{m^3}$$

*Espacio vacío.*

$$\varepsilon = 0.4103$$

*Esfericidad*

$$\phi = 0.7898$$

*Angulo de reposo*

$$\theta_r = 30.29^\circ$$

## PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS.

*% Humedad*

No.	Peso de la muestra	Humedad
1	5.002 g	12.18%
2	5.004 g	12.03%
3	5.001 g	12.05%
<b>Promedio</b>		12.09%

*Actividad del Agua*

No.	A <sub>w</sub>
1	0.6223
2	0.6226
3	0.6264
<b>Promedio</b>	0.6238

*Contenido de Ceniza*

$$\text{Contenido de Ceniza} = 2.67 \%$$

*Grasas como extracto etéreo*

En la siguiente tabla se presentan los resultados obtenidos de la extracción por el Método de Soxhlet.

N o.	Peso del matraz sin grasa (g)	Pesos del matraz con grasa (g)	Peso de la muestra (g)	% Grasa
1	104	104.4	5.0399	7.94%
2	112	112.37	5.0322	7.35%

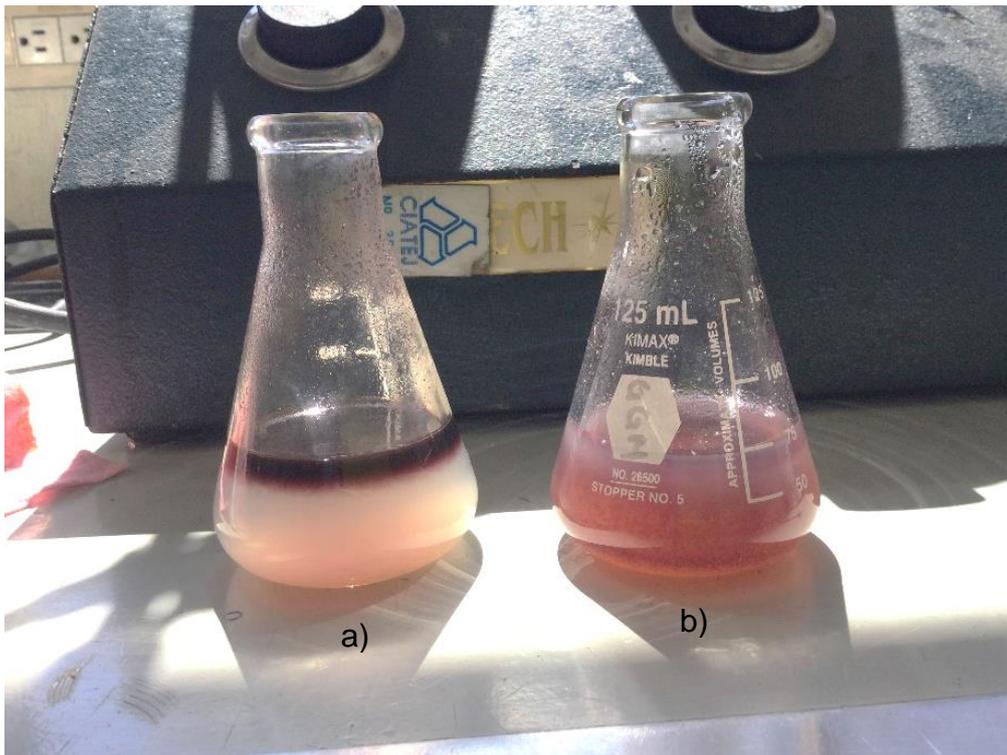


**Figura 4.** Grasa extraída posteriormente de la separación del solvente.

*Almidones*

En la siguiente tabla se presentan los resultados obtenidos de la presencia de almidones en la semilla de amaranto, en la Figura 5 se muestra como ocurre el proceso para observar el proceso de presencia de almidones.

No.	Peso de la muestra (g)	Resultado
1	0.5025	Positivo
2	0.5092	Positivo
3	0.5103	Positivo



**Figura 5.** Presencia de almidón en la semilla de amanto a) al agregar el lugar a la muestra y b) después de agitar el matraz para la disolución de este.

### VELOCIDAD MÍNIMA DE FLUIDIZACIÓN Y FUENTEADO.

$$u_{mf} = 0.4273 \frac{m}{s}$$

$$D_i = 0.0027 \text{ m}$$

$$D_c = 0.21 \text{ m}$$

$$H = 0.18 \text{ m}$$

$$H_m = 0.075 \text{ m}$$

Velocidad de fuenteado (Pallai & Nemeth,  
1972)

$$u_{ms} = 1.1109 \frac{m}{s}$$

Velocidad de fuenteado (Smith & Reddy,  
1964)

$$u_{ms} = 2.5681 \frac{m}{s}$$

## CINÉTICAS DE SECADO

### CINÉTICA DE SECADO A 60 °C

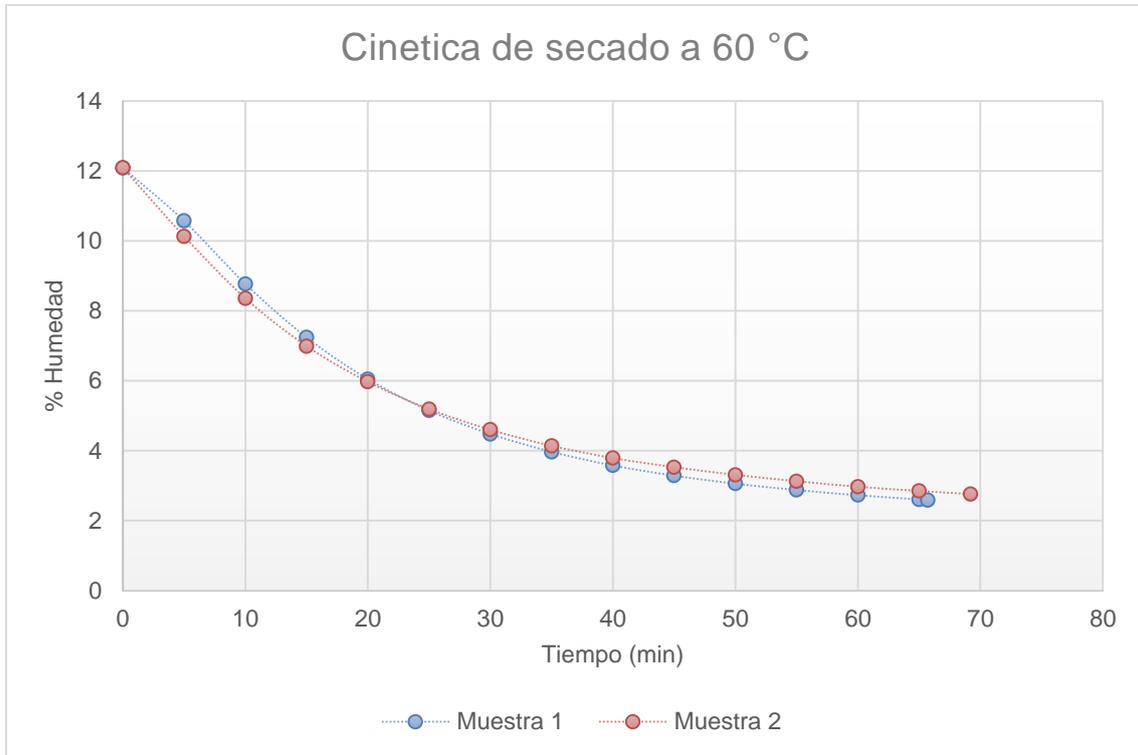


Figura 6. Cinética de secado de amaranto obtenidas por termo balanza a 60 °C.

### CINÉTICA DE SECADO A 70 °C

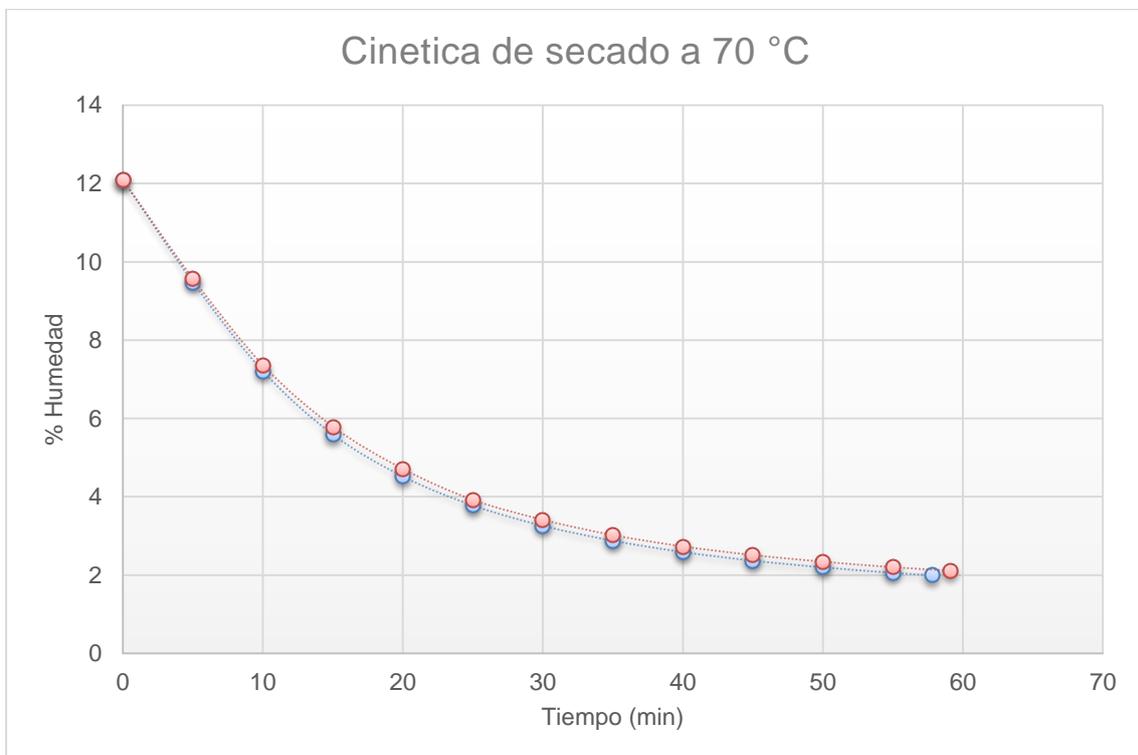


Figura 7. Cinética de secado de amaranto obtenidas por termo balanza a 70 °C.

CINÉTICA DE SECADO A 80 °C

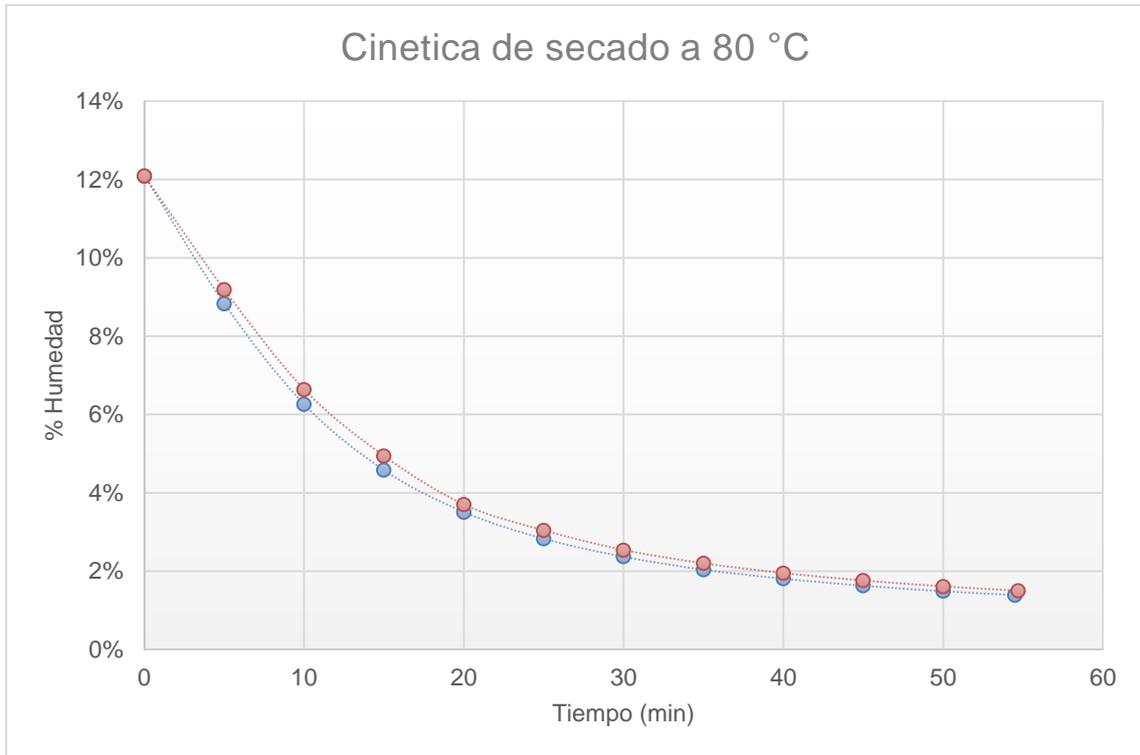


Figura 8. Cinética de secado de amaranto obtenidas por termo balanza a 80 °C.

CINÉTICAS DE SECADO

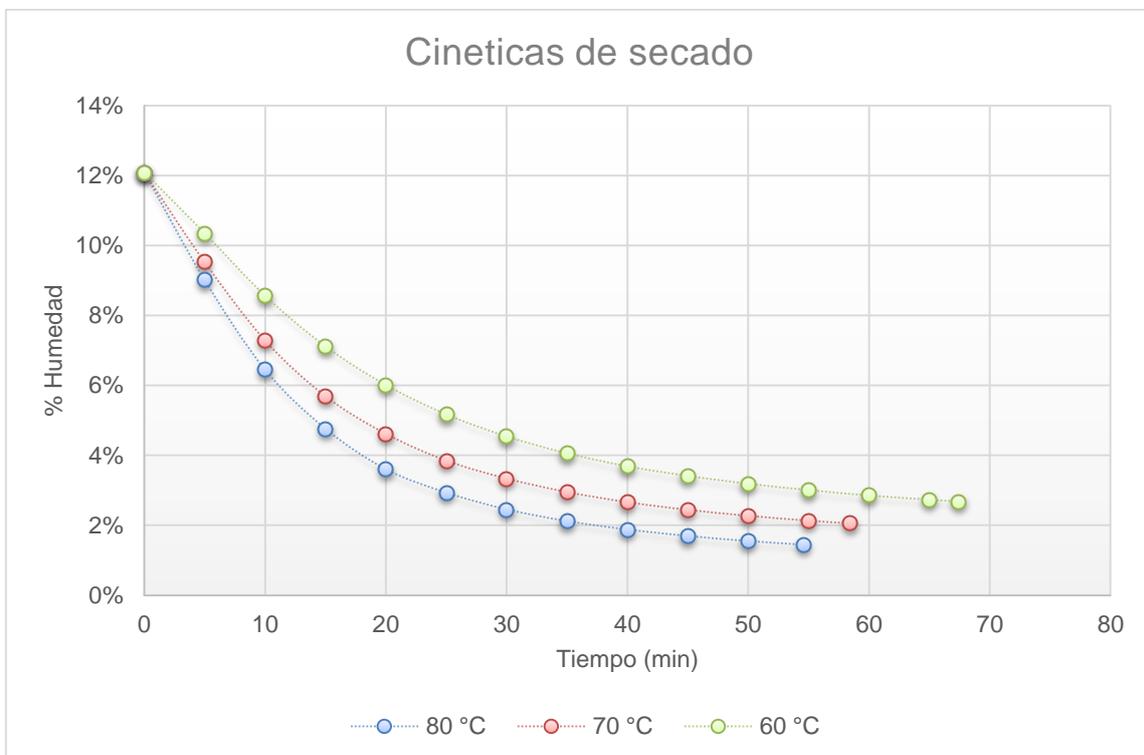


Figura 9. Cinéticas de secado de amaranto

## CINÉTICA DEL TOSTADO DE AMARANTO

LECHO FUENTE, ARRIOLA (1997).

Cinética obtenida en Lecho Fuente a 390 °C a una presión del aire de 3kg/cm<sup>2</sup>

t (s)	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3
0	12.09%	12.09%	12.09%
8	8.24%	8.01%	8.15%
15	7.15%	7.01%	6.89%
23	6.21%	6.15%	6.23%
30	5.46%	4.36%	5.65%
45	4.28%	4.26%	4.34%

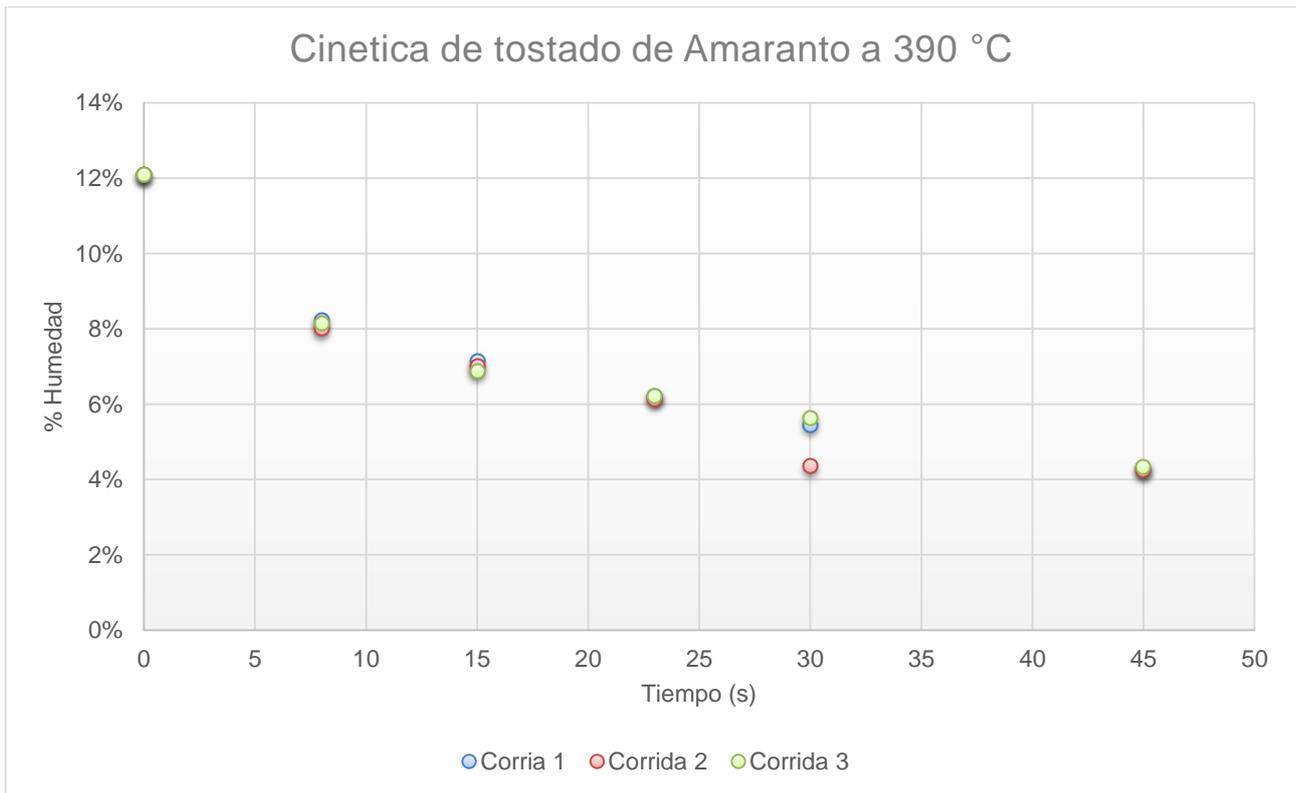


Figura 10. Cinéticas de tostado de amaranto a 390 °C

Cinética obtenida en Lecho Fuente a 400 °C a una presión del aire de 3kg/cm<sup>2</sup>

t (s)	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3
0	12.09%	12.09%	12.09%
10	6.33%	5.97%	6.25%
15	5.06%	5.41%	5.01%
20	4.51%	4.46%	4.39%
25	4.46%	4.29%	4.01%
30	4.19%	4.05%	3.77%

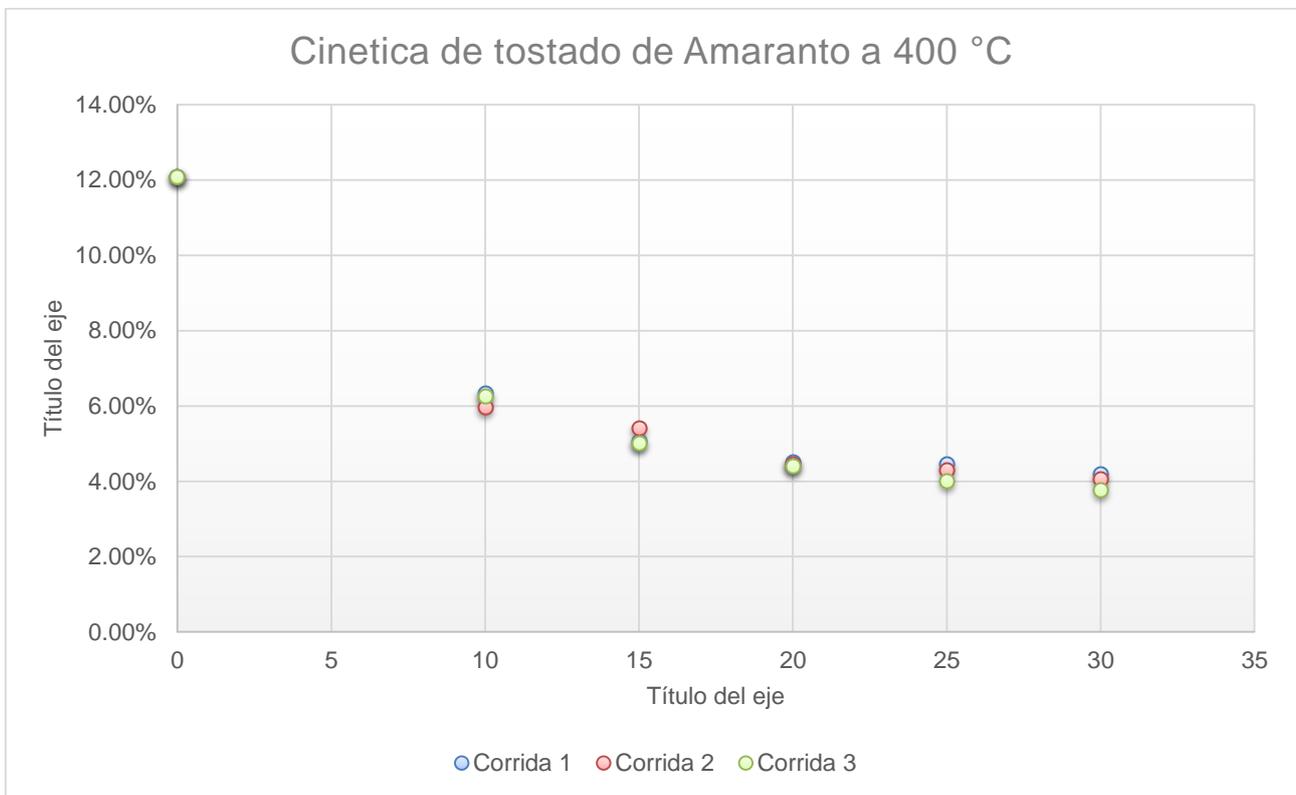


Figura 11. Cinéticas de tostado de amaranto a 400 °C

Cinética obtenida en Lecho Fuente a 410 °C a una presión del aire de 3kg/cm<sup>2</sup>

t (s)	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3
0	12.09%	12.09%	12.09%
5	6.01%	5.87%	5.76%
10	4.65%	4.70%	4.33%
15	3.82%	3.92%	3.30%
20	3.25%	3.15%	3.28%
25	2.41%	2.20%	2.44%

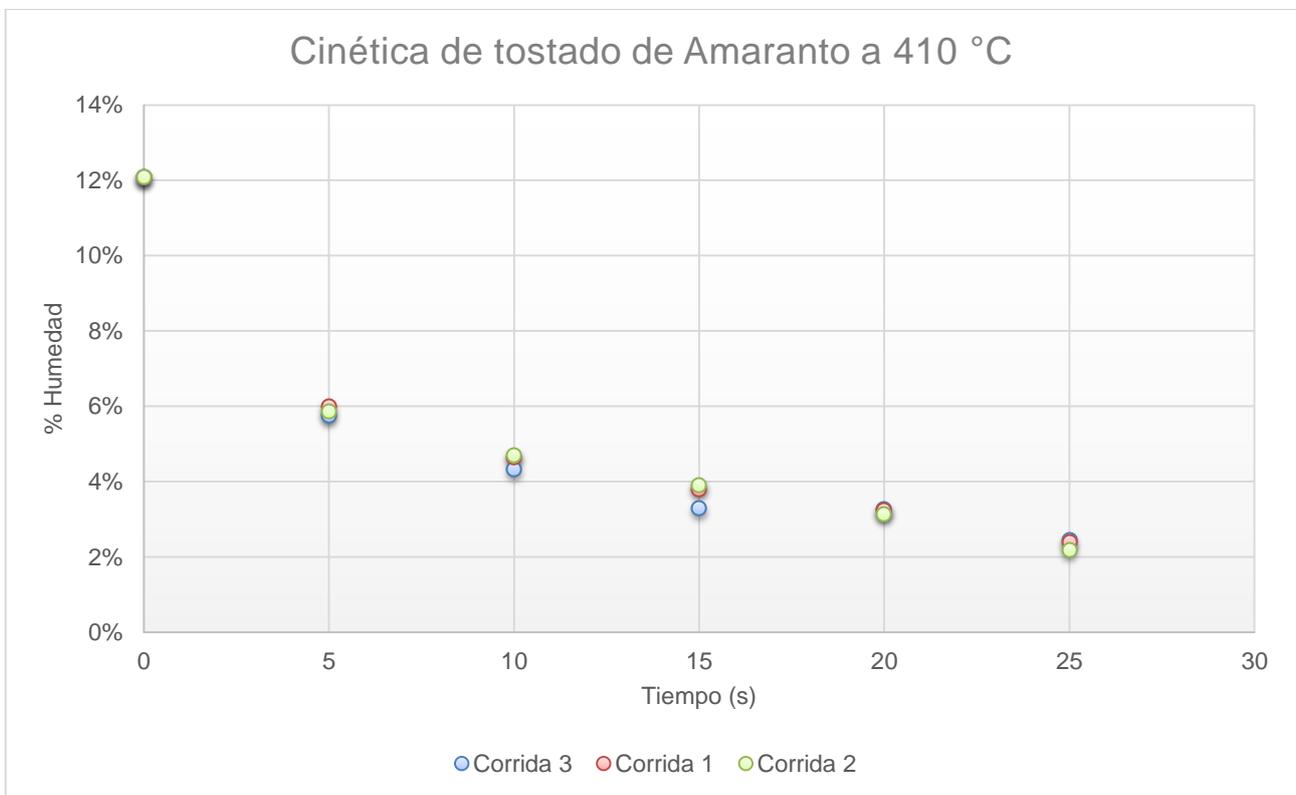


Figura 12. Cinéticas de tostado de amaranto a 410 °C

CINÉTICAS DE TOSTADO DE AMARANTO EN LECHO FUENTE, ARRIOLA (1997)

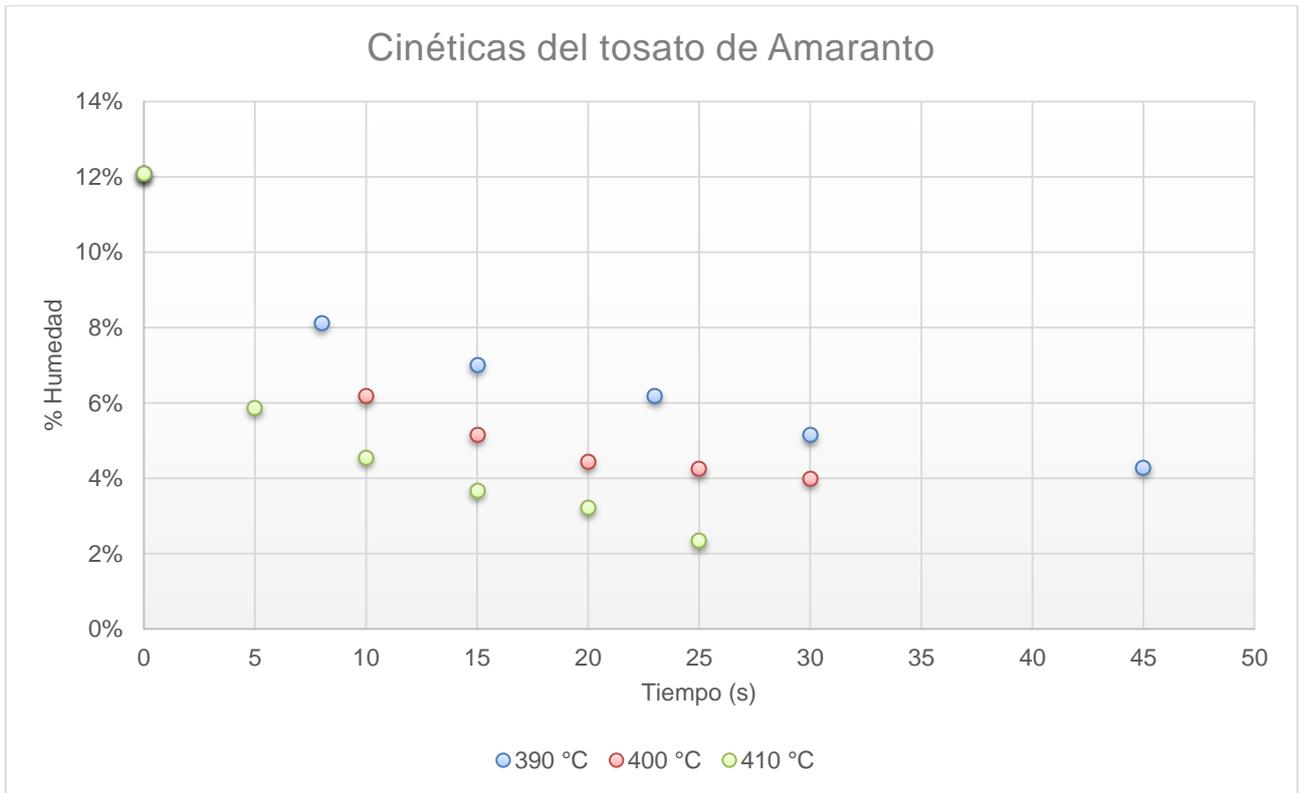
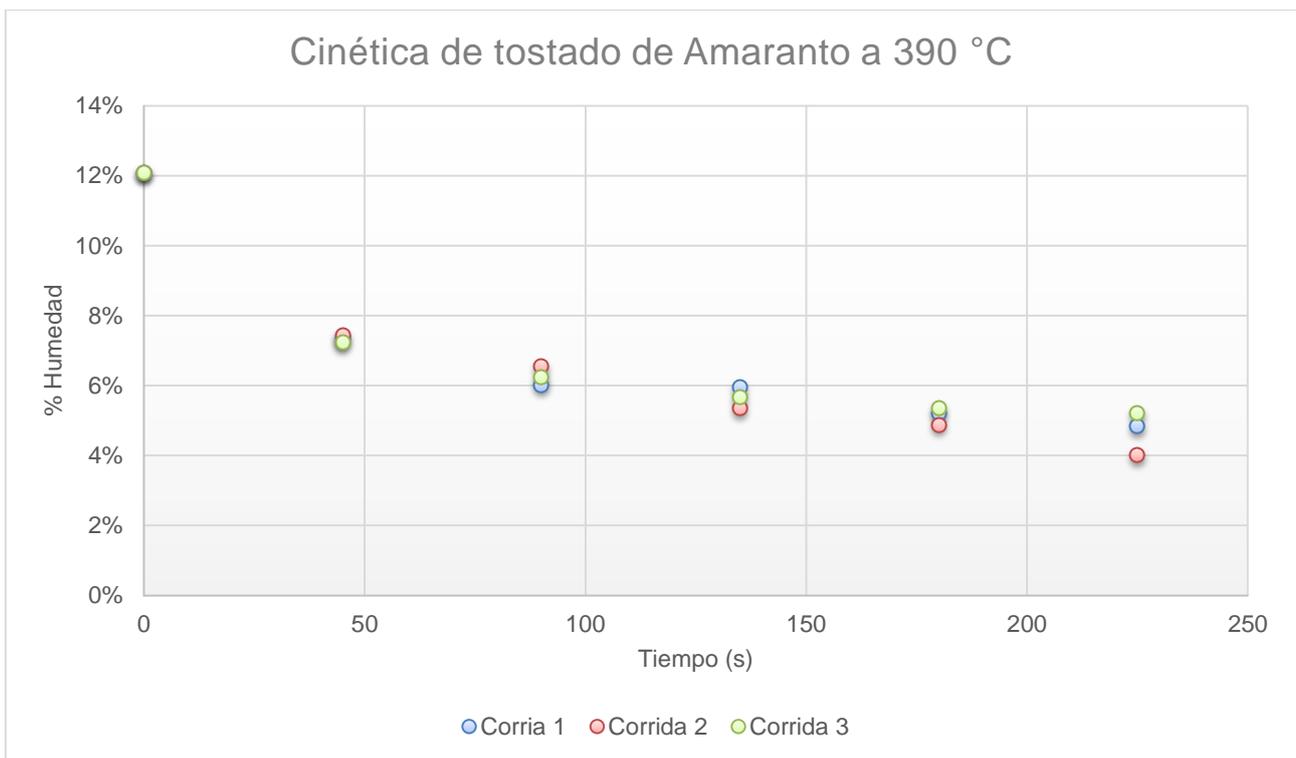


Figura 13. Cinéticas de tostado de amaranto

**LECHO FLUIDIZADO**

Cinética obtenida en Lecho Fluidizado a 390 °C a una presión del aire de 3kg/cm<sup>2</sup>

t (s)	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3
0	12.09%	12.09%	12.09%
45	7.34%	7.44%	7.23%
90	6.02%	6.55%	6.24%
135	5.96%	5.35%	5.66%
180	5.21%	4.89%	5.35%
225	4.83%	4.01%	5.22%



**Figura 14.** Cinéticas de tostado de amaranto a 390 °C

Cinética obtenida en Lecho Fluidizado a 400 °C a una presión del aire de 3kg/cm<sup>2</sup>

t (s)	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3
0	12.09%	12.09%	12.09%
35	6.55%	6.33%	6.89%
70	5.66%	5.78%	6.45%
105	4.89%	5.65%	5.38%
140	4.87%	4.66%	4.70%
175	4.08%	4.23%	4.06%

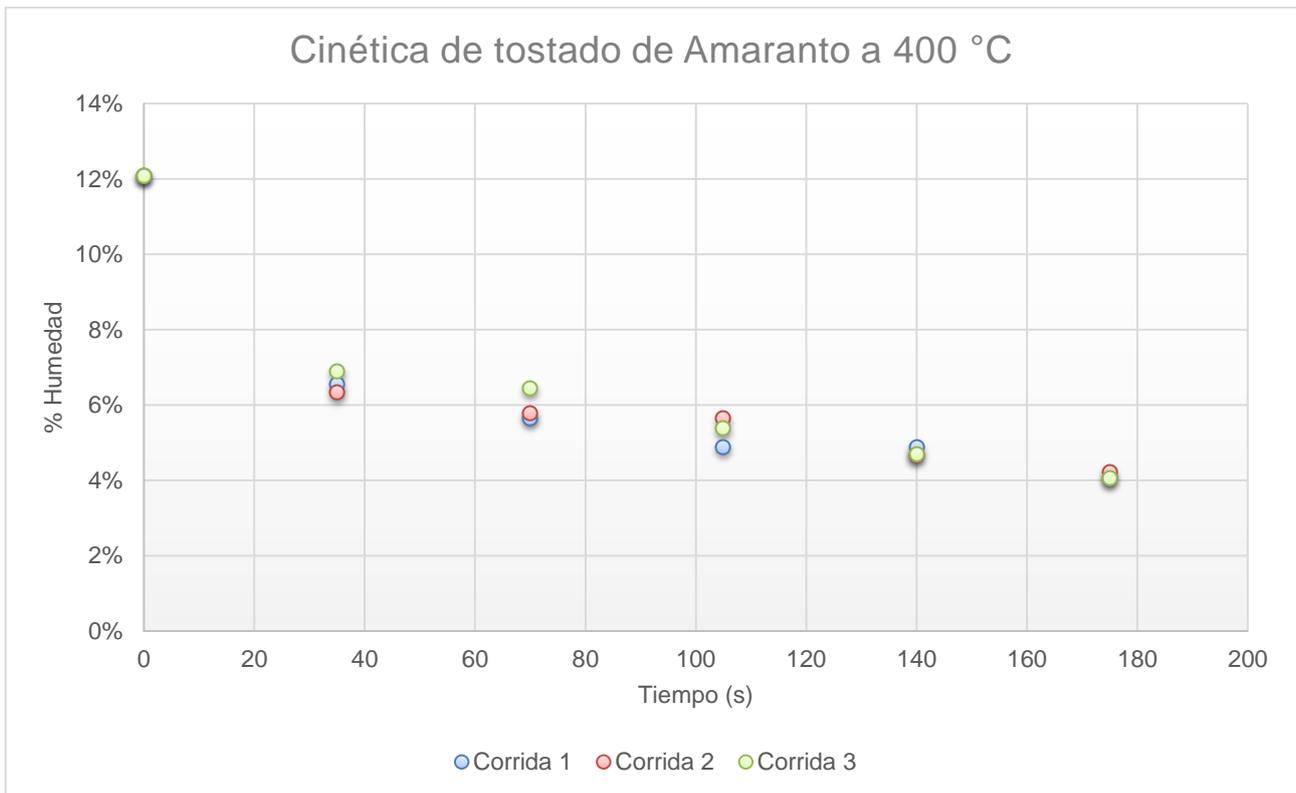


Figura 15. Cinéticas de tostado de amaranto a 400 °C

Cinética obtenida en Lecho Fluidizado a 410 °C a una presión del aire de 3kg/cm<sup>2</sup>

t (s)	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3
0	12.09%	12.09%	12.09%
25	6.34%	6.86%	5.98%
50	5.26%	5.46%	5.22%
75	4.73%	4.66%	4.54%
100	4.16%	3.89%	4.04%
125	3.45%	3.57%	3.76%

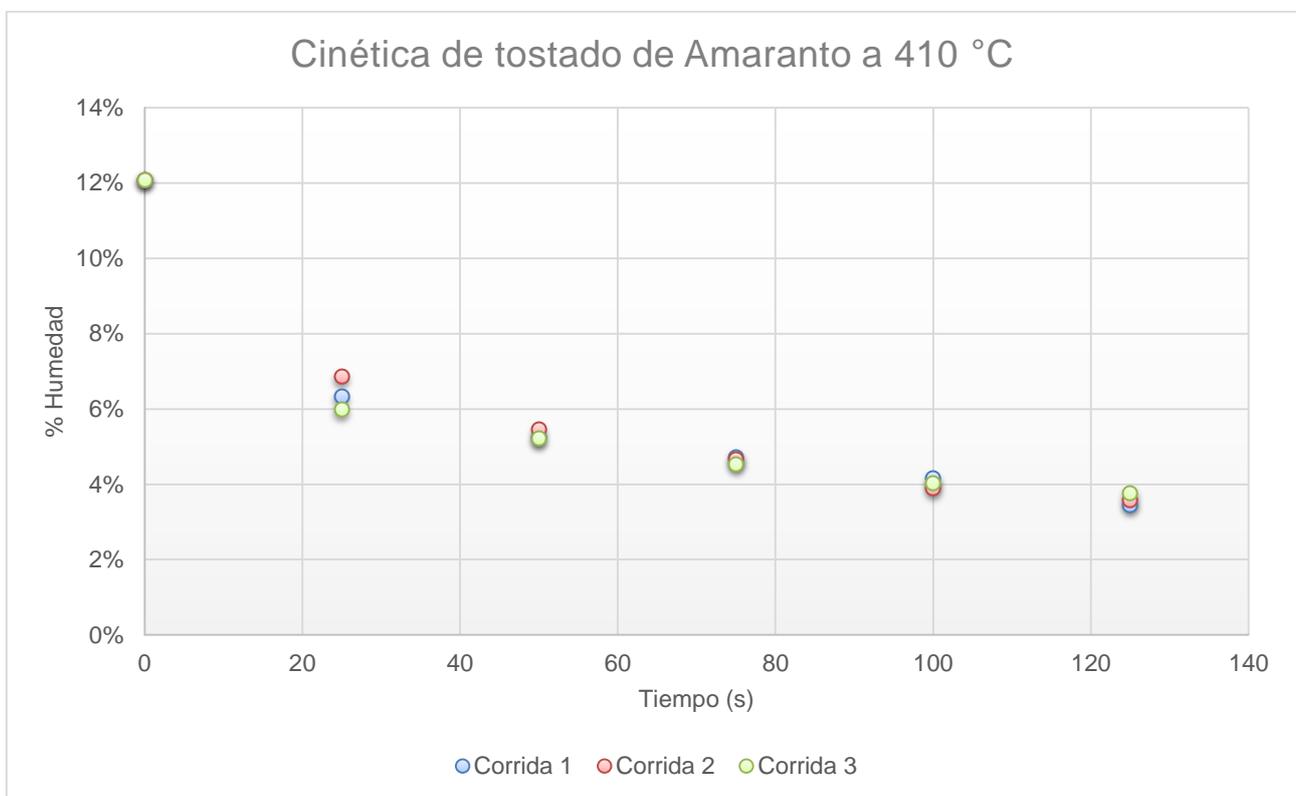
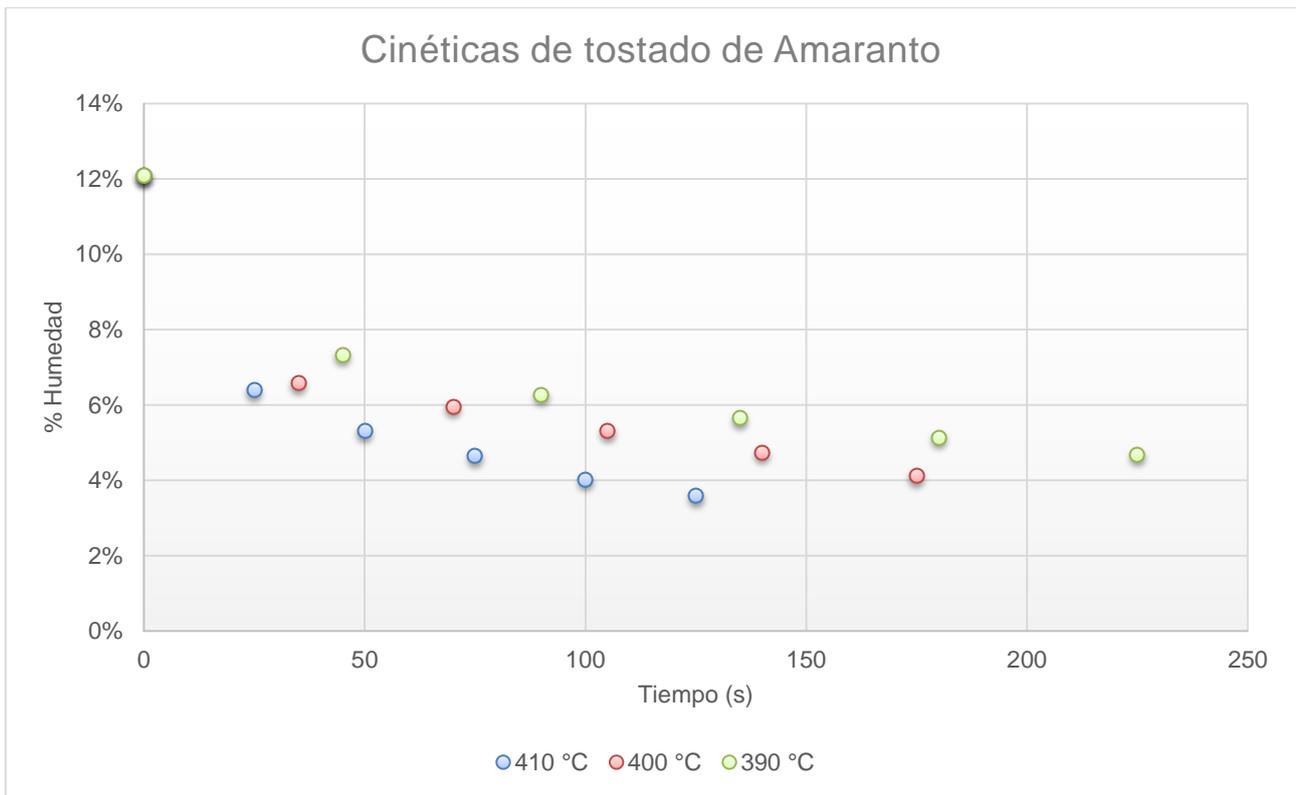


Figura 16. Cinéticas de tostado de amaranto a 410 °C

CINÉTICAS DE TOSTADO DE AMARANTO EN LECHO FLUIDIZADO.



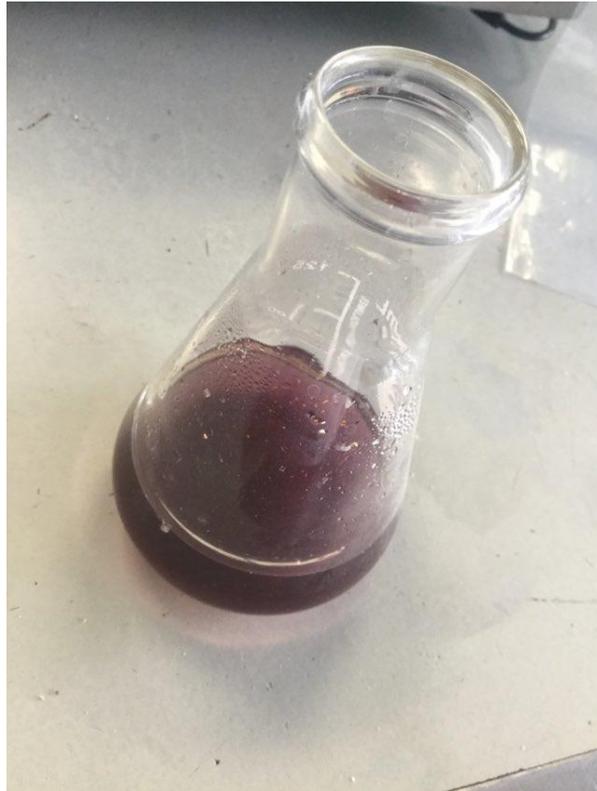
## CARACTERIZACIÓN DEL PRODUCTO

### PROPIEDADES FÍSICAS

Partícula	T (°C)	L (d <sub>p</sub> )	ρ <sub>p</sub>	ρ <sub>b</sub>
		(mm)	(kg/m <sup>3</sup> )	(kg/m <sup>3</sup> )
Lecho Fuente	390	3.072	43.01	190.57
	400	3.089	44.35	187.52
	410	3.105	44.13	192.02
Lecho Fluidizado	390	2.987	42.88	189.34
	400	3.006	43.23	190.11
	410	3.016	43.08	190.85

### PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS

Propiedad Fisicoquímica	Resultado					
	Lecho Fuente			Lecho Fluidizado		
Temperatura (°C)	390	400	410	390	400	410
Grasa como extracto etéreo	6.95%	7.06%	6.88%	7.01%	6.87%	6.96%
Cenizas	2.25%	2.38%	2.29%	2.36%	2.25%	2.31%
Almidones	Positivo			Positivo		



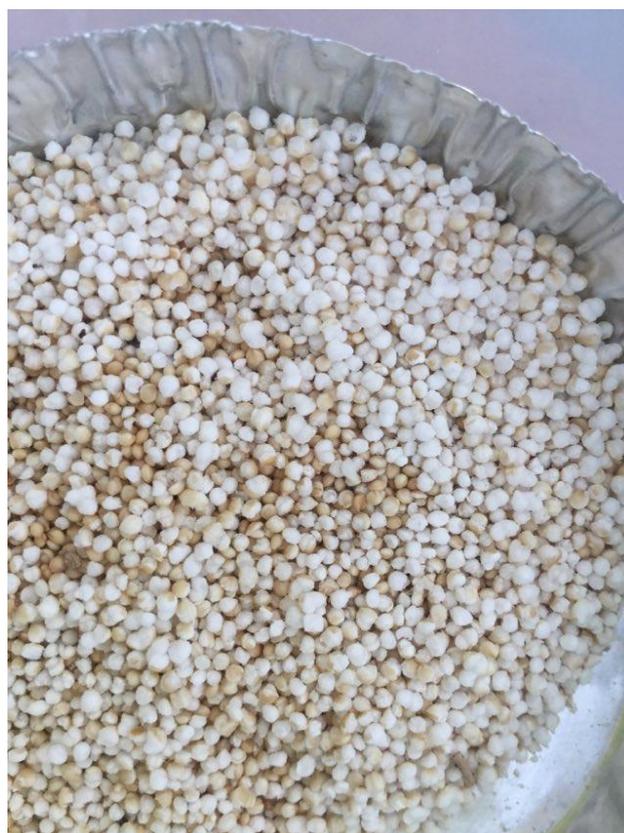
**Figura 17.** Determinación de almidón producto final



**Figura 18.** Determinación de grasa por método de Soxhlet producto final



**Figura 19.** Producto terminado en Lecho Fuente, Arreola (1997).



**Figura 20.** Producto terminado en Lecho Fluidizado.

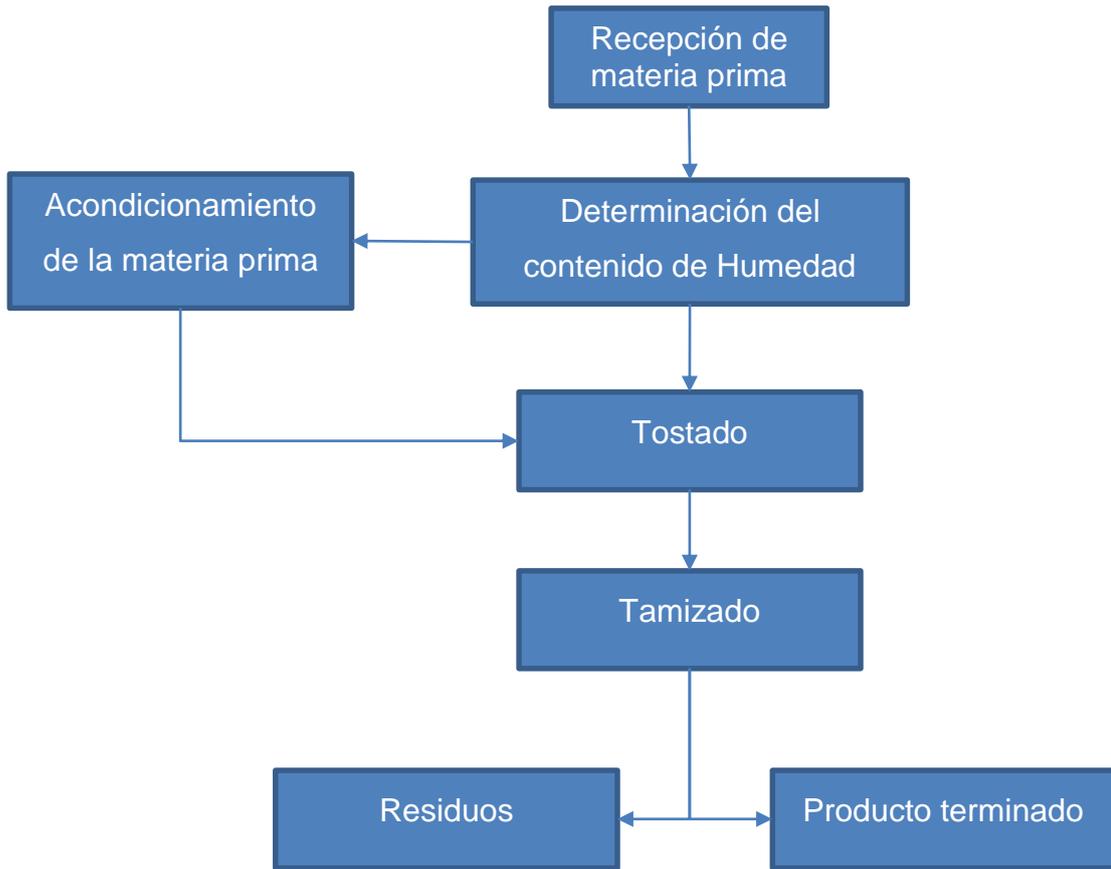


Figura 21. Diagrama de flujo del proceso de tostado de amaranto

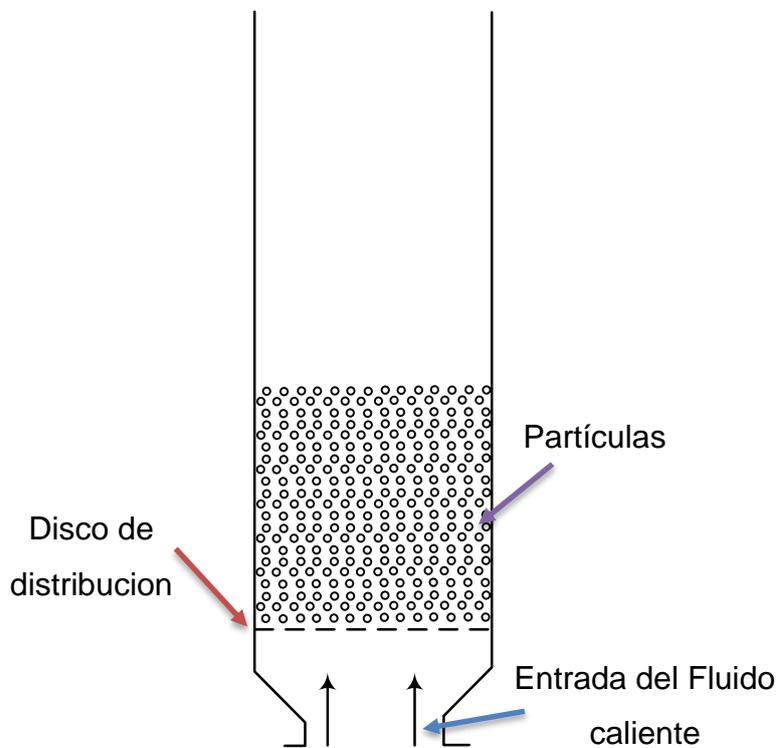
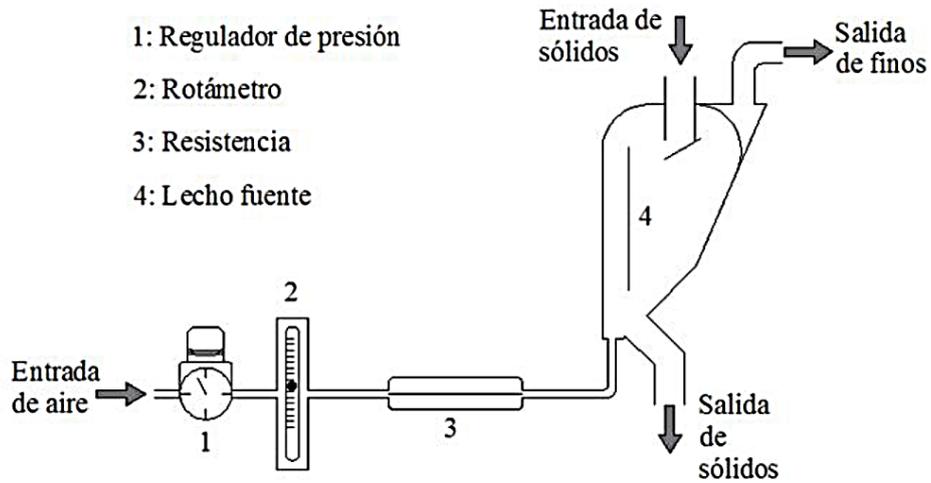
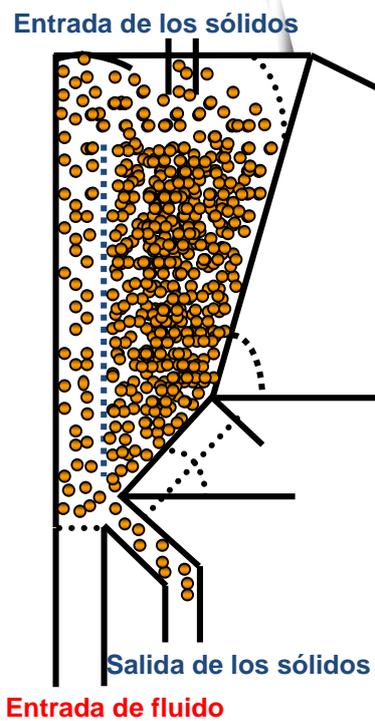


Figura 22. Esquema del Lecho Fluidizado



**Figura 23.** Diagrama de lecho fuente. Sistema diseñado por Arriola, 1997 (Virgen Navarro, *et al.*, 2016).



**Figura 24.** Esquema del Lecho Fuente modificación Arriola (1997)

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

---

- Se obtuvieron las cinéticas de secado por medio del uso de termo balanza esto como ya se mencionó anteriormente en problemas a resolver como estudio preliminar para poder comprender el comportamiento de la semilla de amaranto, puesto que esta puede ser secada o tostada (reventado) esta última para su comercialización al consumo.
- Por medio del uso del equipo lecho fuente, modificación Arriola (1997) pudimos validar el tostado de la semilla de amaranto el cual nos garantiza un rendimiento del 90% teniendo un 10% por ciento en pérdidas las cuales comprende cascarilla, pérdida de materia prima por pulverización, también debido a las reacciones que se llevan a cabo durante el reventado de amaranto y por pérdida de humedad por la expansión del almidón.
- El lecho fuente, Arriola (1997), es un excelente sistema ya que el uso de aire caliente por medio de resistencia, evita los contaminantes provocados por el uso de gas LP los cuales utilizan en el tostado tradicional y en lecho fluidizado. A su vez el sistema tiene grandes ventajas ya que sus aplicaciones en tostado y secado de semillas va en aumento.
- La obtención de la cinética del tostado de amaranto en el lecho fuente, Arriola (1997) esto servirá para predecir el tiempo de residencia en el cual podremos obtener el producto terminado, de igual forma para analizar el compartimiento de la pérdida de humedad en donde ocurre la expansión del almidón y es producto realmente es muy comerciable.
- Por medio del uso del equipo lecho fluidizado con aire caliente, pudimos de igual manera el tostado de amaranto con un rendimiento aproximado al 87% teniendo un 13% no reventado, en pérdidas de materia prima por pulverización, de igual manera también existen pérdidas debido a las reacciones que se llevan a cabo durante el reventado de amaranto y por pérdida de humedad por la expansión del almidón.
- Las cargas de materia prima son distintas a las reportadas por otros autores puesto que los equipos ya tienen una carga determinada, puesto que también son equipos industriales y los que las bibliografías reportan son a nivel piloto y con una carga de 30 gramos máximo.

- Las pruebas realizadas en el lecho fluidizado mostraron que es necesario cambiar la configuración del disco de distribución para garantizar la homogeneidad dentro del lecho, esto implica diseñar la distribución de los orificios, tamaño del orificio.
- Se recomienda para futuras pruebas en lecho fluidizado, el cambiar el material del que está construido tal manera que permita manejar altas temperaturas, así también mejorara el diseño de los aros que sostienen el disco de distribución del aire para tener menor zonas muertas.

## COMPETENCIAS DESARROLLADAS Y/O APLICADAS.

---

- Aplicación de conceptos de matemáticas para la resolución de problemas complejos de Ingeniería Química de acuerdo con los principios y leyes de la física, y química.
- Manejo de software especializado para la solución de ecuaciones.
- Realización de análisis e interpretación de estudios experimentales y teóricos para explicar los fenómenos físicos, químicos, a través técnicas analíticas.
- Identificación y cuantificación de las oportunidades de mejora en las condiciones de operación del proceso.
- Aplicación de estrategias para la solución de problemas que faciliten la toma de decisiones mediante un diagnóstico técnico.
- Manejó de diversas fuentes de información para el desarrollo del proyecto.
- Comunicar de forma asertiva resultados derivados de su ejercicio profesional en forma oral y escrita.
- Desarrollo de habilidades para el manejo de grupos de trabajo de forma presencial.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Arriola Guevara, E., Guatemala Morales, G. M., Garcia Herrera, T., & García Farjado, J. A. (2007). *Análisis de Modelos de Lechos Fuente en Multietapa, utilizando la Distribución del Tiempo de Residencia de los Sólidos*. Guadalajara, Jalisco: Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C.
- Atarés Huerta, L. (2015). *Determinacion de la porosidad*. Valencia, España.
- Baryeh, E. A. (Marzo de 2001). Physical properties of bambara groundnuts. *Journal of Food Engineering, Vol. 47*, 321-326.
- Bressani, R. (1991). El amaranto. *Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá, Boletín 2 (II)*, 7-8.
- Bressani, R. (1998). *El amaranto y su potencial*. Guatemala.: Universidad del Valle de Guatemala, Instituto de Investigaciones, P.O. Box 82, 01901.
- Crank, J. (1975). *The Mathematics of Diffusion* (2 ed.). Oxford, K.: Clearendon Press.
- E., B. B., & Y., G. N. (2012). Modificación de la digestibilidad de proteínas en diferentes condiciones de temperatura y humedad en el reventado de amaranto. *RESPYN*, 157.
- Ergun, S. (1952). Fluid flow through packed columns. *Chem. Eng. Prog*, 48, 89.
- Geankoplis, C. J. (2006). *Procesos de transporte y principios de procesos de separación* (4ta. Edición ed.). México: CECSA.
- Guatemala Morales, G. M. (2007). *Tostado de café (Coffea arábica) utilizando un sistema de lechos fuente en multietapa (Tesis de Doctorado)*. Guadalajara, Jalisco: UDG.
- Jara, L. F. (1997). *Secado, procesamiento y almacenamiento de semillas forestales*. Turrialba, Costa Rica: CATIE.
- Lara, N., & Ruales, J. (2002). Popping of grain amaranth grain (*Amaranthus caudatus*) and its effect on the functional, nutritional and sensory properties. *J. Sci Food Agric* 82, 797 - 805.
- Levenspiel, O., & Bischoff, K. B. (1964). Patterns of Flow in Chemical Process Vessels *Advan. Chemical Engineering, 4*, 95 - 168.
- Mohsenin, N. N. (1970). *Physical properties of plant and animal materials*. New York: Gordon and Breach Science Publishers.
- Norma NMX-F-66-S Alimentos – Determinación de cenizas.
- Norma NMX-F-89-S Alimentos – Determinación de extracto etéreo (Método Soxhlet).
- Norma NMX-F-374-S Alimentos – Determinación de Almidón (Prueba de lugol).
- Norma NMX-F-428-1982 Alimentos – Determinación de humedad.

- Pallai, I., & Nemeth, J. (Septiembre de 1972). Residence Time Distribution In Spouted Bed. *Int. Cong. Chem. Eng. (CHISA), Paper No C3.11.*
- Singh, K. K., & Goswami, T. K. (Junio de 1996). Physical Properties of Cumin Seed. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 64, 93-98. Recuperado el 24 de Septiembre de 2017, de <https://doi.org/10.1006/jaer.1996.0049>
- Smith, J. W., & Reddy, K. S. (1964). Spouted of mixed particles-size beds. *Can. J. Chem. Eng*, 42,206.
- Treybal, R. E. (1994). *Operaciones de transferencia de masa* (2da. Edicion ed.). (A. García Rodríguez, Trad.) McGraw Hill Inc.
- Van Brakel, J. (1980). Mass Transfer in Conective Drying. *Hemisphere Publishing Corporation*, 1, 217 - 267.
- Virgen Navarro, L. (2011). *Tesis "Secado de granos por medio de un sistema de lechos fuente en multietapa"*. Guadalajara, Jalisco.
- Virgen Navarro, L., Herrera López, E. J., Espinosa Andrews, H., Guatemala Morales, G. M., Corona González , R. I., & Arriola Guevara, E. (2016). Estimación del Coeficiente de Difusividad durante el tostado de cafe en un lecho fuente utilizando un modelo difuso. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 15(2), 513 - 524.