

Diseño de una máquina popeadora para amaranto por contacto directo

Sonia Griselda Albano, María Luciana Balmaceda, Olga Elisa Comelli, Soledad Andrea Rocha, Luciano Jorge Osvaldo Olmedo, Stella Maris Zaniolo

Universidad Nacional de San Luis. Facultad de Ingeniería y Ciencias Agropecuarias, Departamento de Ingeniería de Procesos.

Contacto: sonigrialba@gmail.com



RESUMEN

Los granos de amaranto (*Amaranthus cruentus*) estallan si se someten a altas temperaturas, mejorando sus propiedades sensoriales y nutricionales. Se diseña una popeadora rotativa, para el reventado de semillas de amaranto, determinando tiempo de residencia de las semillas, velocidad de giro y ángulo de inclinación del cilindro. Se mide, para evaluar eficiencia, el volumen y la tasa de semillas popeadas. La morfología de las semillas reventadas se clasifican de acuerdo al número de pliegues.

Para una velocidad de rotación de 37 rpm y un tiempo de retención de 30s el ángulo de inclinación es de 3,9, próximo al real de 4 calculado y la temperatura superficial del cilindro es de 370 °C, mayor a la temperatura de reventado de las semillas. En estas condiciones el volumen obtenido de grano popeado se quintuplicó, alcanzando un rendimiento en la morfología de doble pliegue del 80 %, representando la mejor condición de operación del equipo.

ABSTRACT

The Amaranth grains (*Amaranthus cruentus*) burst if they are submitted to high temperatures, improving its sensory and nutritional properties. A rotary pruning machine is designed for popping amaranth seeds, determining the residence time of the seeds, the speed of rotation and the cylinder inclination angle. To evaluate the efficiency, the volume and rate of popped seeds is measured. The morphology of the burst seeds and then classified according to the number of folds results in: for a rotational speed of 37 rpm, residence time of 30 seconds, the inclination angle of 3.90° close to the real 4° calculated and that the cylinder surface temperature of 370 °C, is higher than the popping temperature required for the Amaranth seeds. Under these conditions, the obtained volume of popped seeds is quintupled, reaching a yield of 80 % for the double fold morphology, representing the best operation condition for the machine performance.

Palabras Clave: amaranto, popeado, máquina popeadora, diseño

Keywords: amaranth, popping, popping machine, design

Introducción

El amaranto es un pseudocereal que produce semillas subglobulosas. Existen tres especies del género *Amaranthus*: *A. hypocondriacus*, *A. cruentus*, nativos de México y Guatemala respectivamente y *A. caudatus* nativo de Perú y de otros países andinos [1]. Se cultiva y utiliza en Estados Unidos, México, Perú, Bolivia y Argentina. Su capacidad natural de reventado, tanto para el aprovechamiento industrial y comercial, como por su potencial para satisfacer las necesidades de salud y nutrición del consumidor de hoy resulta interesante[2].

El amaranto es una de las fuentes más importante de proteínas de alta calidad, entre el 15 al 18 %, aunque se han informado valores hasta 22 %, libres de prolaminas, gluteínas como de secalinas y hordeínas, balanceado en aminoácidos esenciales [3]. El almidón es el hidrato de carbono más abundante, registra valores de 48 % para *A. cruentus*. Sus gránulos son de forma irregular y de tamaño pequeño, los cuales se aglutinan entre sí para formar corpúsculos globulares cementados por la parte amorfa del almidón. Tanto el contenido de amilosa, el cual varía según la especie, 4,8 % para el *A. cruentus*, como el tamaño del gránulo influyen en la gelatinización durante la expansión [4].

De la bibliografía consultada se sabe que el índice de eficiencia proteica mejora cuando el grano es procesado[5]. El método más común es a través de la expansión, aplicando altas temperaturas por cortos tiempos. El grano se expande de 5 a 6 veces su volumen. Este proceso conlleva varios propósitos: obtener sabor, color y aromas agradables, mejorar la relación de eficiencia proteica (PER) y la destrucción de factores antinutricionales, lo que hace más nutritiva a la semilla[6]. También se produce la rotura de la capa fibrosa del pericarpio que recubre el grano, incrementa la digestibilidad del producto y adquiere un sabor agradable a tostado y mejora la palatabilidad [7].

La semilla de amaranto es pequeña, posee un embrión campilótropo: circular con los extremos calaza y micrópilo muy próximos, encerrando el perisperma. La cubierta de la semilla, pericarpio, es una sola capa de células estrechamente asociadas con el perisperma y el embrión. El perisperma es un tejido de depósito, constituido por células poliédricas parenquimatosas y alberga en él los gránulos de almidón, sencillos y pequeños. El endosperma persiste mayormente como una capa única de células en la región del embrión, adherida a la cubierta de la semilla[8].

De acuerdo a la literatura consultada, estudios microscópicos de los granos durante el proceso de estallido muestran que el vapor sobrecalentado dentro del núcleo alcanza, a una temperatura

aproximada de 177 °C, una presión de 911925 Pa, el pericarpio actúa como un recipiente a presión[9]. El almidón gelatiniza parcialmente, proceso por el cual la molécula cambia de semicristalina a amorfa, los puentes de hidrógeno se rompen, el agua se asocia con los grupos hidroxilos libres permitiendo el hinchamiento del grano y, se produce una transición molecular irreversible debido a la disociación de las dobles hélices propias de la región cristalina [10].

A partir de estudios de la microestructura de granos, el rendimiento de semillas popeadas está relacionado con el espesor del pericarpio, tamaño inicial del microporo, grado de compactación, morfología y tamaño de los gránulos de almidón y la temperatura[11] [12].

El objetivo de este trabajo es diseñar una máquina popeadora de semillas de amaranto, con control de las variables de operación, temperatura y tiempo de exposición.

Materiales y Métodos

El trabajo se realiza en el Laboratorio de Alimentos del Departamento de Ingeniería de Procesos de la Universidad Nacional de San Luis, donde se caracterizan las propiedades físicas de la semilla de amaranto, de interés para obtener los parámetros de diseño de una máquina que emplea energía eléctrica. Para estudiar dichos parámetros se consideran la morfología del grano, la bioquímica del reventado y los factores que influyen en el volumen de expansión.

Materias primas: para fijar los parámetros de diseño se trabaja con 1 g de semillas de *A. cruentus* variedad Candil, de cultivares de la Universidad Nacional de Río IV sito en la ciudad de Río Cuarto, provincia de Córdoba Argentina

Humedad de las semillas: la humedad en base seca se determina por medio de una termobalanza marca KERN MLB_N, durante un tiempo de 3 horas a 105 °C, con una muestra de semillas de 10 g. Las medidas se toman por triplicado.

Composición de las semillas: antes y después del estallido se les determinó humedad según técnica AOAC 24.002 (1984), proteína AOAC 24.027(1984), grasas totales. AOAC 24.005 (1984), cenizas AOAC 24.009 (1984) y carbohidratos por diferencia.

Evaluación del rendimiento del popeado V_p : se mide la relación entre el volumen total de semillas después del estallido y el volumen total de semillas previo al tratamiento térmico, se expresa en porcentaje, a partir de la ecuación (1)

$$V_p = \left(\frac{\text{volumen de semillas estalladas}}{\text{volumen total de semillas}} \right) \times 100 \quad (1)$$

Evaluación de la morfología de la semilla popeada: se observa con una lupa estereoscópica binocular

marca Lancet, modelo XTX-7AW, aumento 40/80x, se recuenta el número de glóbulos y se los clasifica de acuerdo a: granos de alta calidad, los que poseen tres lóbulos; de calidad regular, dos lóbulos o menos y los defectuosos su forma permanece esférica (sin lóbulos).

Parámetros, escala laboratorio, para el dimensionamiento:

Popeado de amaranto: las semillas de amaranto se popean utilizando técnica por contacto directo en placa calefactora de acero inoxidable de doble pared, medidas con termómetro infrarrojo digital marca TES-1327 Electrical Electronic Corp. A partir del mismo se fija el tiempo operativo en 17,5 s a una temperatura de 210 °C.

Sistema constitutivo de la popeadora:

Cilindro rotativo: para el estallido del grano de amaranto se selecciona un cilindro calefactor (ver Tabla 1).

Tabla 1 características dimensionales del cilindro

Dimensiones	Magnitud
Longitud	0,55 m
Radio externo	0,057 m
Espesor	0,002 m
Material	Acero AISI serie 300

Conductividad del acero: $18,2 \frac{w}{m \times K}$

Fuente de calor: la temperatura del cilindro rotativo alcanza la temperatura de popeado por medio de una resistencia eléctrica que se ubica sobre la superficie externa inferior del cilindro

Aislante térmico: por seguridad, la temperatura externa de la máquina no debe ser mayor a 45 °C. Se selecciona como aislante térmico fibra de vidrio natural, de conductividad: $K_{aislante} = 0,036 \frac{w}{m \times K}$. Se calcula el radio crítico a partir de la relación entre el coeficiente de conductividad (K) y el coeficiente de convección de aire (h) a partir de la ecuación (2)

$$r_{Crítico} = \frac{K}{h} [m] \quad (2)$$

k conductividad térmica del material, $[w/m \times K]$; h coeficiente de convección, $[K/w]$

Variables independientes: las variables a medir son la temperatura de contacto, ángulo de inclinación del cilindro, flujo de alimentación,

Consideraciones teóricas: la energía que recibe el cilindro, utilizada para el estallido de la semilla

se calcula considerando transferencia de calor por conducción, unidireccional, en estado estable a partir de la ecuación (3).

$$q = c_p \times \Delta t \quad (3)$$

q flujo de calor (J/g) ; c_p calor específico a presión constante $(J/g \times K)$; Δt variación de temperaturas (K)

Para determinar el c_p del amaranto se emplea la ecuación 4, propuesta por Choi y Okos[13]:

$$C_p = \sum C_{pi} x_i \left[\frac{kJ}{kgK} \right] \quad (4)$$

x fracción másica. Los subíndices corresponden a los constituyentes: carbohidratos, proteínas, grasa, ceniza, humedad y fibra.

El análisis proximal realizado a la semilla de A. cruentus, se muestra en la Tabla 2:

Tabla 2: Composición proximal semilla de A cruentus, variedad candil

Composición	Porcentaje en peso seco (%)
Humedad	7,50
Proteína	15,70
Grasa	7,20
Fibra	4,00
Ceniza	3,35
Carbohidrato	62,25

A partir de (5) se puede seleccionar la resistencia térmica por conducción

$$R_{cond} = R_{cil} = \frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{2\pi Lk} \quad (5)$$

R_{cond} resistencia térmica por conducción, $[K/w]$; r_2 radio exterior $[m]$; r_1 radio interior $[m]$; L longitud $[m]$

De (6) la resistencia por convección

$$R_{conv} = R_{aire} = \frac{1}{(2\pi(r_2)L)h} \quad (6)$$

R_{conv} resistencia térmica por convección en $[K/w]$:

Se define al coeficiente combinado de transferencia de calor por la ecuación (7) [14]

$$h = h_{rad} + h_{conv} \quad (7)$$

Dónde: el coeficiente de radiación se determina por la ecuación (8):

$$h_{rad} = \varepsilon \sigma (t_s + t_a)(t_s^2 + t_a^2) \left[\frac{W}{m^2 K} \right] \quad (8)$$

σ : constante de Stefan- Boltzmann = $5,67 \times 10^{-8} \left[\frac{W}{m^2 K^4} \right]$; ε : Emisividad (acero inoxidable pulido) = 0,17; t_s : temperatura superficial; t_a : temperatura del aire en contacto con el cilindro.

El Coeficiente de convección natural se calcula por la ecuación (9):

$$h_{conv} = \frac{k}{d} Nu \left[\frac{W}{m^2 K} \right] \quad (9)$$

d es el diámetro del cilindro; Nu número de Nussel

La resistencia total se calcula a partir de la ecuación 10

$$R_T = R_{cil} + R_{aire} \quad (10)$$

R_T : resistencia total

En 11 se puede determinar el flujo de calor

$$Q = h \times A_s \times (t_s - t_{\infty}) \quad (11)$$

t_s : temperatura superficial de la resistencia; t_{∞} : temperatura externa del cilindro; A_s : área superficial de la resistencia

Cálculo del sistema motriz

Del sistema motriz depende el movimiento del cilindro para el popeado. Para expresar el tiempo de residencia en función de las características del equipo, se emplea la ecuación 12 [15]

$$\tau = \frac{0,0310 \times (L \times n)^{1/2}}{d \times N \times \tan \alpha} \quad (12)$$

L longitud del cilindro; τ tiempo de residencia; d diámetro del cilindro; N velocidad de rotación [r/min]; n ángulo dinámico de reposo de las semillas; $\tan \alpha$ pendiente del cilindro.

Materiales de fabricación: el material utilizado fue lámina (chapa) de acero inoxidable, su selección se vio limitada al producto a tratar, un alimen-

to, se optó por acero AISI serie 304 (18 % cromo, 8 % níquel), por ser éste el más empleado y soldadura de alambre del mismo material.

Sistema de alimentación de la semilla: se diseña una tolva de forma cónica, cuyo volumen es de $2 \times 10^{-4} m^3$. Para dosificar la alimentación de grano al interior del cilindro calefactor, se utiliza una válvula mariposa, controlador del paso de la semilla, la cual fluye por un tubo con una inclinación de 30° .

Resultados y discusión

Los parámetros obtenidos como resultados de las experiencias previas son:

- Humedad de grano en base seca 10,36 % con una desviación estándar de 0,001 g. y, del grano reventado de 1,68 %, con una desviación de 0,0001 g.
- Dimensiones y forma de los granos: sin reventar, presentan forma de lentejuela de 1,00 por 1,50 mm, área promedio de $0,1963 \pm 0,0002 mm^2$. Las semillas reventadas, al perder la forma lenticular, algunas superficies de la cubierta se rompen, sin embargo, la estructura del embrión en la mayoría se mantiene, el grano se expande de cinco a seis veces su volumen original, resultado que coincide con la bibliografía consultada. La morfología de las semillas reventadas se observa en las Figuras 1-3.

Imagen con tres lóbulos

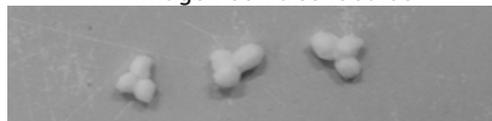


Figura 1 Popeado de gran calidad.

Imagen de dos lóbulos



Figura 2 Popeado de calidad intermedia.

Imagen de lóbulos de forma esférica



Figura 3 Popeado de baja calidad.

El contenido de amilosa de los gránulos de almidón afecta la gelatinización del mismo, al estallar las semillas de amaranto, la gelatinización parcial tiene lugar primero y luego ocurre un cambio repen-

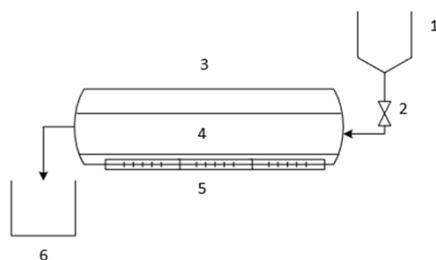
tino de estado del agua dentro de la semilla; pasando de líquida a vapor en un período de tiempo muy corto, de 3 a 17 s, dependiendo de cómo se realiza la transferencia de calor y se rompe el recubrimiento de la semilla.

Los parámetros medidos que se emplean para el dimensionamiento de la popeadora se resumen en la tabla 3.

Tabla 3 Parámetros para el dimensionamiento de la popeadora

Semilla	<i>Amaranthus cruentus</i> variedad candil
Material de superficie de popeado	Acero inoxidable
Superficie de contacto	95,03 cm ²
Carga	1,00 g
Tiempo de popeado	17,5±0,2 s
Temperatura de popeado	210 ±2 °C
Volumen de expansión de las semillas	445±2 %

El prototipo que responde a los parámetros calculados, cuenta con un cilindro giratorio, calefaccionado, alcanzando un rango de temperatura de 200–210 °C, las semillas de amaranto ingresan por un extremo y salen por el extremo opuesto, ya reventadas. El cilindro gira para mejorar el contacto de las semillas con la superficie a la temperatura de operación y para evitar que estas se tuesten. El tiempo de residencia del grano se ajusta modificando la inclinación del tambor en función de la temperatura deseada. Las partes principales se observan en el Esquema 1.



Esquema 1 popeador rotativo.

Las partes constitutivas de la máquina popeadora son: (1) tolva de alimentación; (2) válvula mariposa; (3) carcasa que cubre el equipo; (4) cilindro giratorio; (5) resistencia eléctrica; (6) recipiente de almacenamiento.

El cilindro rotativo 4, alcanza la temperatura de superficie interna adecuada a las condiciones de reventado de la semilla. La temperatura se mantiene constante durante todo el tiempo de operación

y el tiempo de residencia de la semilla varía con el ángulo de inclinación del cilindro rotativo.

Considerando que a mayor velocidad angular se requiere mayor potencia de motor y que a velocidades muy bajas aumenta el riesgo de tostado de las semillas, por lo que se fija una velocidad de giro de 40 rpm. De acuerdo con la bibliografía consultada el valor de la resistencia que presentan las semillas de amaranto a fluir sobre acero es de 29,45° y para la semilla reventada de 29,7°, valores comprendidos en un rango del ángulo de reposo de 25-30°. Responde a los valores de referencia para describir las propiedades de flujo de un material granular, correspondiente a un comportamiento de flujo libre.

Propiedades termodinámicas calculadas de la semilla: calor específico de amaranto, calculado por la ecuación (4), es de $c_p = 1,5923 \text{ kJ/kg K}$, el gradiente de temperatura es de 185 K, por lo que la cantidad necesaria de energía calorífica para elevar la temperatura del cilindro a la de popeado de acuerdo a la ecuación (3), es de 336,66 w.

El área superficial de la resistencia calculada por la ecuación (11) donde $h = 16,4884 \left[\frac{w}{m^2 K} \right]$; $t_s = 320,43 \text{ °C}$; $t_{\infty} = 210 \text{ °C}$, da un valor de $As = 0,185 \text{ m}^2$. El radio crítico del aislante a partir de la ecuación (2) da un valor de 7,2 mm, menor al radio del cilindro rotativo, tomando el valor más bajo del coeficiente de convección del aire que se encuentra en la práctica y, suponiendo condiciones desfavorables $h = 5 \frac{w}{m^2}$.

Se determina la velocidad de giro y ángulo de inclinación del cilindro en función del tiempo de retención requerido. Como ya se ha mencionado, el equipo se diseña para popear 20 g de semillas de amaranto en 17,5 s. Se propone una temperatura superficial interior del cilindro, obteniendo para variados ángulos de inclinación, distinta calidad de reventado, como se observa en la tabla 4.

Tabla 4 rendimiento del popeado, temperatura 210 °C, varios ángulos de inclinación del cilindro

Ángulo inclinación Cilindro (α)	Vp % (medio)	Calidad semilla
4	300±5	Intermedia
4,5	200±5	Baja
5,17	200±5	Baja

Seleccionando un ángulo de inclinación del cilindro calefactor de 4°, mejor rendimiento en la calidad del popeado, se estudia a otras temperaturas superficiales internas del cilindro, como se muestra en la tabla 5.

Tabla 5 rendimiento del popeado, ángulo de inclinación del cilindro $\alpha = 4^\circ$, varias temperaturas

Temperatura °C	Vp % (medio)	Calidad semilla popeada
310	325±5	Intermedia
350	450±5	Intermedia-alta
370	500±5	Alta

Propuesta de la máquina

Como resultado del diseño la máquina debe tener los siguientes elementos

Cilindro rotativo: seleccionado.

Fuente de calor: 4 resistencias eléctricas de rulo resistivo dentro de tubos de cuarzo radiante de 0,44 m de largo y de 0,01 m de diámetro, dispuestas a 0,015 m del cilindro de 600 w, 220v.

Sistema motriz: para la selección del motorreductor se parte de un sistema dotado de movimiento de rotación y a partir de la suposición de que el motor alcanza las 40 rpm en un tiempo de 0,015 segundos, que existe un rendimiento de transmisión del 70 %, se obtiene una potencia del motor de 56 w

Dado que la potencia requerida es pequeña, se opta por un motor que funcione con una tensión nominal de 12 voltios y una intensidad de 4 a 6 amperios.

Aislante térmico: el aislante a emplear es fibra de vidrio natural, cuya conductividad es $k=0,036$ w/m K, el radio crítico es de 7,2 mm menor al radio del cilindro rotativo, por lo tanto, el espesor óptimo del aislante se fija por consideraciones puramente económicas.

Parámetros de diseño

En la Tabla 6 se resumen los parámetros de diseño del equipo en base al cilindro seleccionado

Tabla 6 Parámetros de diseño

Temperatura de popeado	370 C
Área superficial de la resistencia eléctrica	0,185 m ²
Velocidad de giro cilindro rotatorio	40 rpm
Ángulo de inclinación	4°
Carga semillas	20 g
Tiempo de popeado	30 s
Espesor del aislante	0,044 m

Se verifica si el producto final después del proceso térmico altera su composición. Del análisis proximal del producto obtenido, cuando el estallido de la semilla se produce a una temperatura de 370 °C, superior a la temperatura de operación de equipos de reventado de lecho fluidizado o, la obtenida en el laboratorio de 210 °C en placa calefactora, se observa que, como muestra la Tabla 7, no ha variado su composición, el aumento que se observa es debido a la pérdida de agua durante el proceso de reventado. Además, al comparar los resultados obtenidos por otros autores que trabajan con alimentos tratados por calor, se comprueba que la pérdida de proteína está más relacionada con el tiempo de exposición que con la temperatura

Tabla 7 composición proximal de la semilla de amaranto reventada

Composición	Porcentaje en peso seco (%)
Humedad	2,75±0,30
Proteína	15,39±0,06
Grasas totales	8,2±0,09
Fibra	5,17±0,07
Cenizas	4±0,02
Carbohidratos	64,49

Conclusión

Los parámetros de diseño determinados teóricamente fueron la base del prototipo, usados luego para dimensionar las distintas partes del mismo.

El tiempo de retención obtenido fue de 30 s, mayor que el de experiencias preliminares de diseño, pero se ajusta al rango de 15-30 s, tiempos de popeado por contacto que se encuentra en la bibliografía consultada. La elección del material de construcción se ve limitada al producto a tratar, un alimento, por lo tanto, se optó por acero AISI serie 300, por ser éste el más empleado.

El prototipo se diseña para tratar 20 g de amaranto alimentado en forma discontinua, la puesta a punto del mismo se realiza con 5 g, una vez que el equipo entra en régimen se observa que responde eficazmente a una alimentación en continuo de semillas, superando las expectativas.

El rendimiento obtenido, una vez puesto en régimen, fue del 500 % en volumen, más alto que el esperado de 445 % en volumen. Alcanzando una calidad alta y regular de reventado, además se verifica que no se ve alterada la composición nutricia de la semilla, luego del tratamiento térmico a la cual fue sometida.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Sr. José Alberto Quevedo por su valiosa participación en el montaje y puesta en funcionamiento del prototipo.

Especialmente al Ing. Guillermo Peiretti del Departamento de Producción Vegetal de la facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de Río IV-Córdoba-Argentina, proveedor de la semilla.

Bibliografía

- [1] Ramirez Meza Beatriz, T. C. (2010). Los productores de amaranto en la Zona de Conservacion Ecologica Teuhtli. *Geografía Agrícola*, 49-57.
- [2] Ricardo, B. (2012). El amaranto y su potencial en la industria alimentaria. *Alimentos Hoy*, 7(7), 15-19.
- [3] Manrique de Lara, B. (2006). Explotacion estrategica del recurso amaranto en mexico. *San Miguel de Proyectos Agropecuarios S.P.R. de R.S.*, 2-13.
- [4] Calzetta Resio, A. N. (1999). Almidon de amaranto: obtencion y evaluación de sus características físico-químicas. Obtenido de *Biblioteca Central Der. Luis Federico Leloir*: https://bibliotecadigital.exactas.uba.ar/download/tesis/tesis_n3242_CalzettaResio.pdf
- [5] Ocampo, A. (2006). Kinetic model of mango pulp drying. *EIA Escuela de Ingeniería de Antioquia*, 119-128.
- [6] Astigarraga Urquiza, J., & Astigarraga Aguirre, J. (1995). *High frequency furnaces and microwaves. Theory, calculation and applications*. México: McGraw-Hill.
- [7] Jimenez, P., & Masson, L. y. (2013). Composición química de semillas de chía, linaza y rosa mosqueta y su aporte en ácidos grasos omega-3. *Revista chilena de nutrición*, 40(2), 155-160. Recuperado el 10 de julio de 2018, de https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0717-75182013000200010&script=sci_arttext
- [8] Calzetta Resio, A. N., & Tolaba, M. P. (2000). Algunas propiedades físicas y térmicas del almidón de amaranto. *Food science and technology international*, 371-378.
- [9] Solanki, C., Indore, N., Saha, D., & Gupta, S. K. (2019). Effect of popping methods on popping characteristics of amaranth grain. *International Journal of Chemical Studies*, 6(2), 2779-2782. Retrieved 2018, from krishi.icar.gov.in: https://www.researchgate.net/publication/324585674_Effect_of_popping_methods_on_popping_characteristics_of_amaranth_grain
- [10] Aldana, A., & Sandoval, E. y. (2005). Aplicación del análisis por calorimetría diferencial de barrido (DSC) para la caracterización de las modificaciones del almidón. (F. d. España., Ed.) *Dyna*, 72(146), 45-53. Recuperado el 22 de febrero de 2019, de <https://www.redalyc.org/pdf/496/49614604.pdf>
- [11] Bautista-Ramírez, E., Salinas-Moreno, Y., Santracruz-Varela, A., & Córdova-Téllez, L. y.-S. (2019). Características físicas y químicas de la raza de maíz Palomero Toluqueño. *Revista mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(2), 441-446
- [12] Narváez González, E. D., Figueroa Cárdenas, J. d., & Taba, S. (2007). Aspectos microestructurales y posibles usos del maíz de acuerdo con su origen geográfico. A. Sociedad Mexicana de Fitogenética, Ed.) *Revista Fitotecnia Mexicana*, 30(3), 321-325.
- [13] Dias Alvarado J. and Alguilera J. M. (2001), *Métodos para medir propiedades físicas en industrias de alimentos*. Zaragoza (España): ESCRIBIA, SA, pp. 199-200, 200.
- [14] Cengel, Y., & Ghajar, A. (2011). Transferencia de calor y masa. *Fundamentos y aplicaciones* (Cuarta ed.). México: McGraw-Hill.
- [15] Mujumdar, A. S. (Ed.). (1995). *Handbook of industrial drying, revised and expanded* (Vol. 2). CRC Press.