

# Tecnología para la extracción de harina de yuca

*José Alberto García\*, Lisímaco Alonso\*\*,  
Sandra Milena Barona\*\*\*, Alejandro Fernández<sup>∨</sup>,  
Luis Eduardo Isaza<sup>∨∨</sup>, José Francisco Londoño<sup>∨∨∨</sup>*



El almidón de yuca es extraído en Colombia utilizando aproximadamente 37 m<sup>3</sup> de agua por tonelada de producto seco en las pequeñas unidades de procesamiento o rallanderías, mientras que a escala industrial se usan un poco más de 10 m<sup>3</sup> por cada tonelada de almidón dulce seco.

En la mayoría de los casos, el agua residual de este proceso se vierte en los ríos con una elevada carga orgánica de contaminantes y ácido cianhídrico. En trabajos de investigación realizados por Clayuca, el CIAT y la Universidad del Valle, con el apoyo financiero del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia (MADR), se estudiaron diferentes alternativas de procesamiento para evaluar la posibilidad de extraer harina refinada de yuca con características parecidas a las del almidón dulce, y con poca utilización de agua.

Por otra parte, es importante que las empresas productoras de harina o trozos secos de yuca tengan otras opciones de mercado que permitan usar la yuca como sustituto parcial de

---

\* Ingeniero Mecánico. Encargado de la construcción de plantas de procesamiento de yuca, CLAYUCA. Cali, Colombia. E-mail: jalbertog983@hotmail.com

\*\* Ingeniero Agrícola. Asistente de Investigación en Sistemas de Manejo Poscosecha, CLAYUCA. Cali, Colombia. E-mail: l.alonso@cgiar.org

\*\*\* Ingeniero Agrícola. La Fabril, Ecuador. E-mail: sandrabarona@hotmail.com

<sup>∨</sup> Ph.D., Ingeniería de alimentos. Docente Universidad del Valle. Cali, Colombia. E-mail: alfernand@univalle.edu.co

<sup>∨∨</sup> Ingeniero Agrícola. Profesional, Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé). Chinchiná (Caldas), Colombia. E-mail: Luis.Isaza@cafedecolombia.com

<sup>∨∨∨</sup> Ingeniero Mecánico. Encargado de la construcción de plantas de procesamiento de yuca, CLAYUCA. Cali, Colombia. E-mail: jfrancisco@uniweb.net.co

productos como: harina de trigo, maíz, arroz, en los mercados de alimentación humana y de usos industriales. Es posible desarrollar productos de mayor valor agregado con base en harina de yuca, con el propósito de expandir la producción, procesamiento y abrir nuevos mercados, promoviendo el establecimiento de industrias rurales y brindando la oportunidad de ampliar los ingresos de los pequeños productores.

A continuación se presenta información sobre el establecimiento de una planta modular a nivel piloto para la extracción de harina a partir de trozos secos de yuca; En la (Figura 1.1), se muestra la planta piloto modular que fue construida durante esta investigación después de realizar ensayos con diferentes equipos de molienda.

Al final del siguiente reporte se muestra la planta piloto continua con capacidad para procesar 300 kg/h de trozos secos desarrollada a partir de la investigación en mención y construida por Clayuca con el apoyo financiero del MADR. Adicionalmente, se estiman los costos de proceso y de producción de harina en la planta continua existente.

### 1.1 Características de la planta piloto modular

En los ensayos realizados para la obtención de la harina y del equipo a utilizarse en el proceso de extracción, se determinó la utilización del tamiz cilíndrico de aspas, con el cual se obtuvieron buenos resultados en la calidad y la granulometría de la harina.

La planta piloto modular (Figura 1.1) está compuesta por una tolva de alimentación, un molino-tamiz cilíndrico de aspas, tres cribas intercambiables (Figura 1.2) y un par de ciclones para la clasificación neumática y la recolección de la harina, proceso que se realiza de forma repetitiva hasta obtener la harina deseada y cuyo sistema fue la base para el desarrollo de una planta piloto continua, actualmente instalada en Clayuca – CIAT.

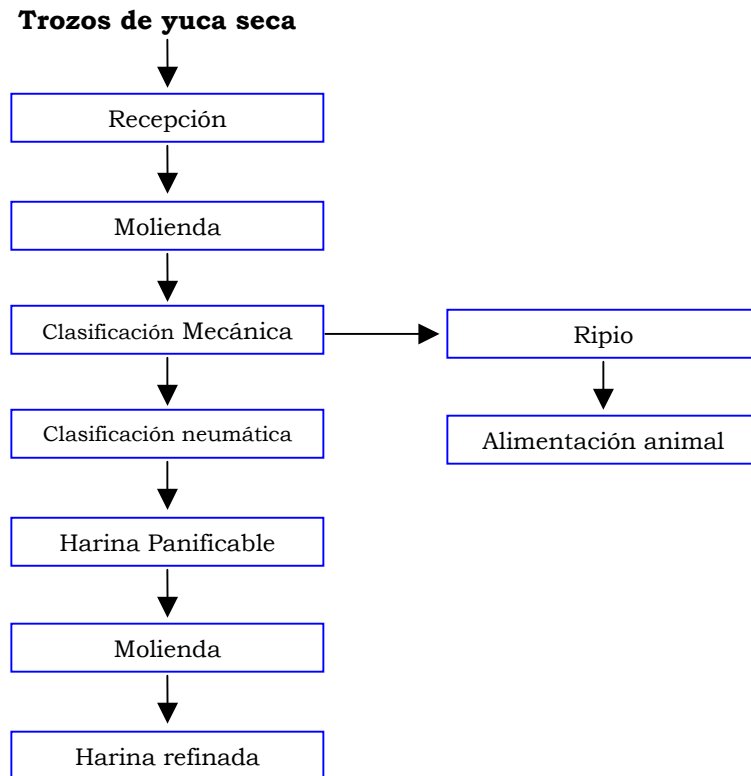


Figura 1.1. Planta piloto modular para la producción de harina de yuca (instalaciones de Clayuca)



Figura 1.2. Cribas. 3mm, 177 y 100 micras

## Diagrama general del proceso de extracción de harina



### 1. 2 Características de la planta piloto continua

En el diseño de la planta se considera diferentes aspectos que determinan la funcionalidad del proceso de refinación de los trozos secos de yuca. En la planta se maneja una tecnología sencilla donde los elementos involucrados son de fácil manejo y accesibles para su mantenimiento, siendo un proceso simple que pueden realizarlo los mismos productores. Además, es una planta que permite variación en su proceso para el requerimiento de refinación deseado.

#### 1.2.1 Proceso continuo de extracción de harina refinada de yuca

El proceso general se compone de las siguientes etapas (Figura 1.3).

- Molienda de los trozos de yuca seca en el molino-tamiz cilíndrico de aspas con malla de 3 mm.
- Tamizado de la harina gruesa en el molino-tamiz cilíndrico de aspas con malla de 177 micras.
- Tamizado de la harina intermedia en el molino-tamiz cilíndrico de aspas con malla de 100 micras.
- clasificación de la harina en ciclones.

#### ***Etapa a: molienda con malla de 3 mm (molino 1)***

Por medio de un tornillo sinfín se alimenta pequeños trozos de yuca seca (materia prima del proceso) al molino tamiz cilíndrico de aspas provisto de la criba con malla

expandida de 3 mm. En esta etapa los trozos se reducen de tamaño y por medio de la malla se rechazan pequeños materiales como la cascarilla, trozos duros de fibra, astillas, materiales que componen lo que se denomina ripio. El material que logra pasar por la malla es succionado por un ventilador 1 de aspas radiales que los transporta a un par de ciclones conectados en paralelo con alimentación inversa (axial central) encargados de la clasificación neumática. En la separación neumática la harina producida por el molino tamiz es dividida en dos clases: harina fina que pasa a empaque en un ciclón recolector y harina gruesa que se decanta en la válvula esclusa 1, convierte automáticamente en la materia prima de la siguiente etapa.

#### ***Etapa b: tamizado con malla de 177 micras (molino 2)***

En esta etapa, la harina gruesa proveniente del molino 1 y decantada en los ciclones a la válvula esclusa 1, se convierte en materia prima del molino 2 donde se encuentra alojada la criba de 177 micras, la harina dentro de este molino es reducida de tamaño, generándose un ripio por el material que no pasa la malla. La harina que pasa la malla es succionada por el ventilador 2 y separada en dos nuevas harinas dentro del ciclón 2 que trabaja con alimentación inversa. La harina gruesa se decanta hacia la válvula esclusa 2 y se convierte en la materia prima del tercer molino; la harina fina queda lista para la etapa de recolección.

#### ***Etapa c: tamizado con malla de 100 micras (molino 3)***

Igual que en las etapas anteriores, la harina intermedia proveniente del molino 2 y decantada a la esclusa 2, pasa a refinarse en el molino 3 provisto de una criba de 100 micras. Aquí se genera un nuevo ripio con el material que no pasa la malla. La harina ya refinada es succionada por el ventilador 3 y pasa a la etapa de recolección.

#### ***Etapa d: clasificación de la harina de forma neumática (Ciclones)***

Esta etapa se realiza en los intermedios de las etapas de molienda, se utiliza ciclones convencionales que normalmente recolectan el producto procesado, en este caso los ciclones son utilizados como clasificadores neumáticos, ya que estos cumplen con los requerimientos de clasificación de partículas deseado. La alimentación de la corriente de aire cargado de harina en los ciclones se realiza de forma inversa, es decir se realiza por la parte superior (axial central), esto permite que las partículas gruesas (>100 micras) se decanten hacia la válvula esclusa para la nueva etapa de molienda y las partículas finas salgan del ciclón por su parte tangencial, para ser recolectadas posteriormente y evitar una remolienda de las harinas ya finas compuestas por gránulos de almidón.

La granulometría de la harina obtenida es la siguiente:

Para la harina utilizada en panificación, un 70-75% de partículas menores a 50 micras, un 20-25% partículas menores a 177 micras, esta harina es obtenida a partir de las dos primeras etapas de molienda (molinos 1 y 2). No obstante, de esta misma planta se puede obtener una harina aún más refinada con 90-95% de las partículas menores a 50 micras, esto se realiza utilizando la tercera etapa de molienda (molino 3)

### ***1.2.2 Diseño de la planta***

El molino tamiz, pieza fundamental de la planta, consta de una estructura de soporte elaborada en perfil rectangular y un cuerpo cilíndrico elaborado en lámina HR, un eje provisto de un sinfín que introduce los trozos secos hacia el molino, al igual que de cuatro aspas que impactan el producto, un cilindro tamizador (criba) construido en malla. Para el transporte de partículas se cuenta con un sistema neumático por medio de ventiladores y ciclones donde se realiza la clasificación y captura de la harina.

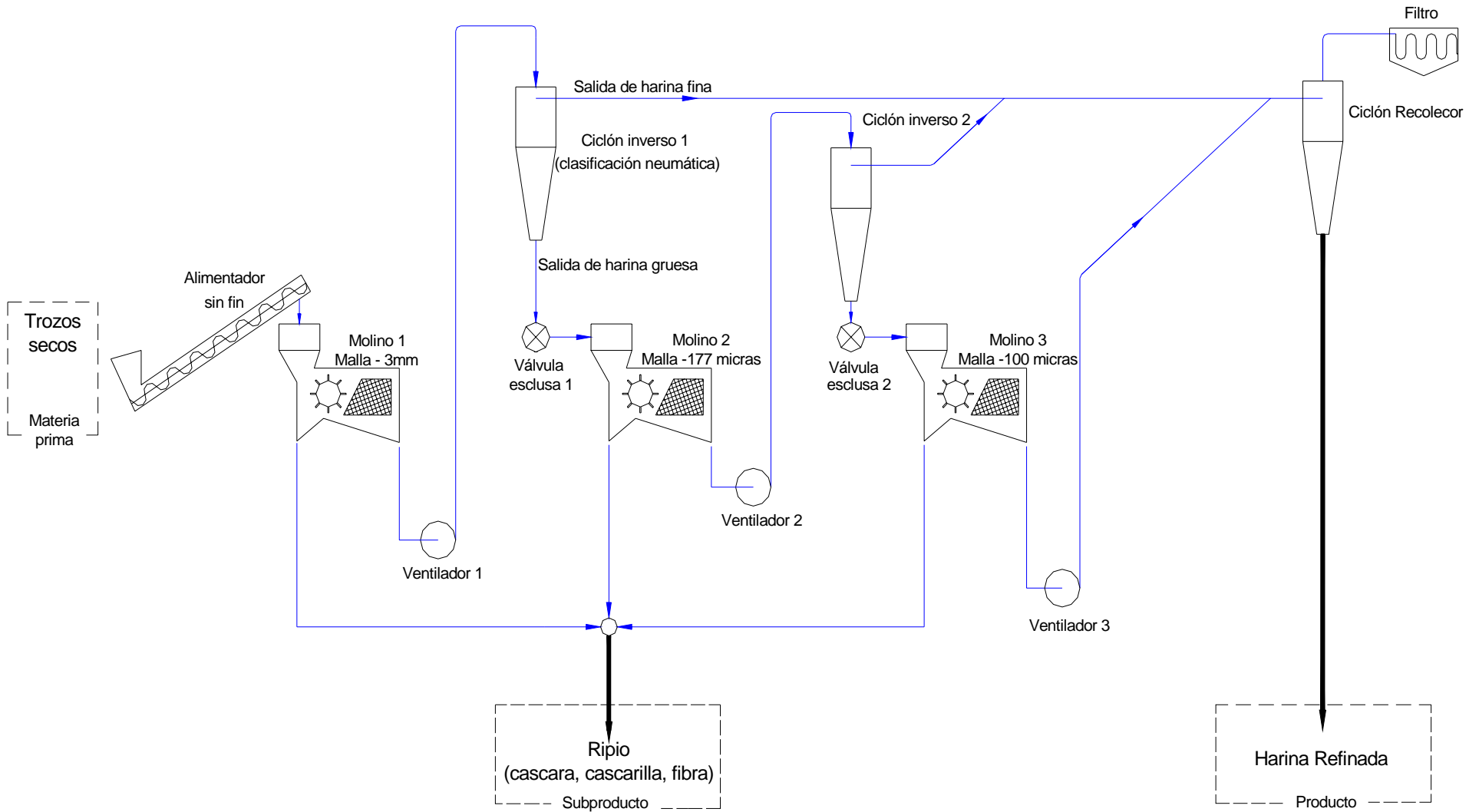


Figura 1.3. Diagrama de flujo de la producción de harina con la planta piloto de Clayuca.



### 1.3 Costos de producción de la harina panificable producida en una planta de flujo continuo

Para la estimación de los costos se tomaron como base 48,000 kg de harina panificable producidos durante un mes de operación, empleándose alimentaciones alrededor de 300 kg por hora de trozos secos. Los costos de producción se registran en el Cuadro 1, para un mes de funcionamiento de 26 días laborales y un turno de 8 horas por día.

**Materia prima (trozos secos) = 62,400 kg**  
**Harina refinada producida =48,000 kg**  
**Relación trozos secos a harina panificable 1.3 : 1**

Cuadro 1.1 Costo actual de producción de harina panificable, obtenida en la planta piloto continua de CLAYUCA, para un mes de funcionamiento, un turno por día<sup>1</sup>(Cali, Agosto de 2005).

| Concepto  | Cantidad/<br>mes | Precio (\$col /<br>Und) | Costo<br>total(\$col)/mes | Costo por Kg.<br>de harina (\$) |
|---|------------------|-------------------------|---------------------------|---------------------------------|
| <b>Costos Directos</b>  |                  |                         |                           |                                 |
| Materia prima (kg trozos secos) <sup>2</sup>                                    | 62,400           | 350                     | 21,839,998                | 455                             |
| Mano de obra (jornal) <sup>3</sup>  | 52               | 22,010                  | 1,144,500                 | 24                              |
| Empaques de polipropileno unidades  | 1,200            | 400                     | 480,000                   | 10                              |
| Bolsas plásticas unidades   | 2,400            | 560                     | 1,344,000                 | 28                              |
| Energía (Kwh.)  | 4,571            | 182                     | 831,980                   | 17                              |
| <b>Subtotal</b>   |                  |                         |                           | <b>534</b>                      |
| <b>Costos indirectos</b>  |                  |                         |                           |                                 |
| Mantenimiento <sup>4</sup>  |                  |                         | 189,818                   | 4                               |
| Depreciación <sup>5</sup>   |                  |                         | 435,000                   | 9.1                             |
| Administración <sup>6</sup>   |                  |                         | 312,000                   | 7                               |
| <b>Subtotal</b>   |                  |                         |                           | <b>20</b>                       |
|   |                  |                         |                           |                                 |
| <b>Costo total proceso (\$col) ' </b>   |                  |                         | <b>26,577,297</b>         | <b>554</b>                      |
| 1. Jornal de 8 horas - 2,400kg/día de trozos procesados                         |                  |                         |                           |                                 |
| 2. Factor de conversión 1.3 -1 ( <b>total de harina obtenida 48,000kg/mes</b> ) |                  |                         |                           |                                 |
| 3. Salario mínimo integral - dos personas                                       |                  |                         |                           |                                 |
| 4. El mantenimiento se calcula con el 4% anual del valor total de la planta     |                  |                         |                           |                                 |
| 5. La depreciación se calcula para diez años de vida útil de las maquinas.      |                  |                         |                           |                                 |
| 6. Medio tiempo: \$312000 mensual   |                  |                         |                           |                                 |
| 7. Por cada tonelada de harina, se obtienen 300kg de ripio.                     |                  |                         |                           |                                 |

#### 1.4 Costos de producción de la harina refinada producida en una planta de flujo continuo

Para la estimación de los costos se tomaron como base 44.571 kg de harina refinada producidos durante un mes de operación, empleándose alimentaciones alrededor de 300 kg por hora de trozos secos. Los costos de producción se registran en el Cuadro 1.1 para un mes de funcionamiento de 26 días laborales y un turno de 8 horas por día.

**Materia prima (trozos secos) = 62.400 kg**  
**Harina refinada producida =44.571 kg**  
**Relación trozos secos a Harina refinada 1.4: 1**

Cuadro 1.2. Costo actual de producción de harina refinada, obtenida en la planta piloto continua de CLAYUCA, para un mes de funcionamiento, un turno por día<sup>1</sup> (Cali, Agosto de 2005).

| Concepto  | Cantidad/<br>mes | Precio (\$col /<br>Und) | Costo<br>total(\$col)/mes | Costo por Kg.<br>de harina (\$) |
|---|------------------|-------------------------|---------------------------|---------------------------------|
| <b>Costos Directos</b>  |                  |                         |                           |                                 |
| Materia prima (Kg. trozos secos) <sup>2</sup>                                   | 62,400           | 350                     | 21,839,998                | 490                             |
| Mano de obra (jornal) <sup>3</sup>  | 52               | 22,010                  | 1,144,500                 | 26                              |
| Empaques de polipropileno unidades  | 1,114            | 400                     | 445,714                   | 10                              |
| Bolsas plásticas unidades   | 2,229            | 560                     | 1,248,000                 | 28                              |
| Energía (Kwh.)  | 4,571            | 182                     | 831,980                   | 19                              |
| <b>Subtotal</b>   |                  |                         |                           | <b>572</b>                      |
| <b>Costos indirectos</b>  |                  |                         |                           |                                 |
| Mantenimiento <sup>4</sup>  |                  |                         | 189,818                   | 4                               |
| Depreciación <sup>5</sup>   |                  |                         | 435,000                   | 9.8                             |
| Administración <sup>6</sup>   |                  |                         | 312,000                   | 7                               |
| <b>Subtotal</b>   |                  |                         |                           | <b>21</b>                       |
|   |                  |                         |                           |                                 |
| <b>Costo total proceso (\$col) ' </b>   |                  |                         | <b>26,447,011</b>         | <b>593</b>                      |
| 1. Jornal de 8 horas - 2,400kg/día de trozos procesados                         |                  |                         |                           |                                 |
| 2. Factor de conversión 1.4 -1 ( <b>Total de harina obtenida 44,571kg/mes</b> ) |                  |                         |                           |                                 |
| 3. Salario mínimo integral - dos personas                                       |                  |                         |                           |                                 |
| 4. El mantenimiento se calcula con el 4% anual del valor total de la planta     |                  |                         |                           |                                 |
| 5. La depreciación se calcula para diez años de vida útil de las maquinas.      |                  |                         |                           |                                 |
| 6. Medio tiempo: \$312000 mensual   |                  |                         |                           |                                 |
| 7. Por cada tonelada de harina, se obtienen 400kg de ripio.                     |                  |                         |                           |                                 |

**Nota:** En los costos de producción de harina se considera el valor de los trozos secos de yuca con un valor de \$ 350 kg. Este rubro es el más alto en la tabla de costos, el cual puede variar y afectar el costo final de obtención de la harina.

### 1.5. Descripción físico-química de las harinas

En el Cuadro 1.3 se registran los valores promedio de los componentes de los tres principales productos que se manejan en el proceso: trozos secos integrales, harina refinada y ripio. Con la refinación se consiguen reducciones en niveles de un 50% en los valores iniciales de la fibra y la proteína. Con la ceniza la reducción es menor.

Cuadro 1.3 Análisis proximal promedio de los tres principales materiales que se manejan en la refinación

| Material                | Fibra (%) | Proteína (%) | Ceniza (%) | Almidón (%) |
|-------------------------|-----------|--------------|------------|-------------|
| Trozos secos integrales | 5         | 2.8          | 2.6        | 79          |
| Ripio total             | 29.70     | 4.2          | 4.3        | 50          |
| Harina refinada         | 1.6       | 1.4          | 1.9        | 86          |

### 1.6. Usos potenciales de la harina refinada de yuca

Por las características propias de los gránulos del almidón de la yuca, la harina refinada es una excelente materia prima para la elaboración de coladas, sopas y fideos, por su capacidad de espesar la preparación final.

Por esta característica es apropiada para usarla como ingrediente en la elaboración de productos embutidos, ya que mejora la retención del agua y la característica de mordida.

En panificación, la inclusión de la harina de yuca en la formulación, se determinó que debe estar entre 10-15% sin afectar la calidad final. En galletería, la inclusión puede llegar a niveles del 40%.

En la producción de snack (productos expandidos), los ensayos realizados permiten asegurar que la harina refinada puede reemplazar materiales como la misma harina de trigo y el almidón de papa, que son materias primas de amplio uso en estas categorías de alimentos.

Para usos industriales, la harina es una materia prima idónea en la elaboración de pegantes para las tapas de cajas de cartón corrugado. A pesar de que sus niveles de fibra, ceniza y proteína no son tan bajos como los del almidón nativo o dulce, la harina refinada también tiene potencial para utilizarse en la fabricación del mismo cartón corrugado, porque tiene características similares a las del almidón de maíz tipo perla.