# Elaboración de un postre a base de arroz de reconstitución instantánea con leche entera

Berrones, María[1]; Espinoza, Karen[2]; Cornejo, Fabiola MSc.[3]
Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)
Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral
Apartado 09-01-5863. Guayaquil-Ecuador
mberrone@espol.edu.ec[1], ksespino@espol.edu.ec[2], fcornejo@espol.edu.ec[3]

## Resumen

*El arroz es el principal producto alimenticio de los ecuatorianos, cuya producción se incrementa anualmente en un 7%, principalmente en las provincias de Guayas y Los Ríos. Los productos elaborados a base de arroz son escasos ya que esta área no ha sido explotada mayormente; por esta razón, este estudio se enfoca en desarrollar un postre a base de arroz de reconstitución instantánea con leche entera, dando lugar a un producto tradicional: el arroz con leche. Entre los objetivos que se plantean alcanzar, se encuentra la determinación de las condiciones idóneas para la pre-cocción, tales como la proporción agua-arroz apropiada y el tiempo de pre-cocción del arroz. Del mismo modo estableceremos los parámetros apropiados para el proceso de secado del arroz pre-cocido, en base a pruebas físico-químicas, representadas mediante isotermas de desorción. Al arroz seco pre-cocido se le determinará el tiempo de rehidratación en microondas y las características físico-químicas adquiridas, también se recomendará la formulación del producto final, mediante evaluación sensorial para determinar su aceptación o rechazo por parte de los consumidores. Finalmente, se presentan las condiciones de operación y selección de equipos para poder llevar a cabo el desarrollo de este producto en planta.*

**Palabras clave:** *Pre-cocción, secado, isotermas, rehidratación, equipos*

## Abstract

*Rice is the principal food product of Ecuadorian people, whose production increases annually in 7%, mainly in Guayas and Los Ríos provinces. Products made of rice are limited because of this area has not been exploited mostly; for this reason, this study focuses on developing a dessert made of rice reconstituted instantly with whole milk, giving place to a traditional product: rice pudding. Among the goals that propose to achieve, is the determination of suitable conditions for pre-cooking, such as the appropriate proportion rice-water and pre-cooking time of rice. In the same way we will establish necessary parameters for the drying of pre-cooked rice, based on physic-chemical tests, represented by desorption isotherms. At pre-cooked rice we will define time for rehydration on microwave and physic-chemical characteristics acquired, also we will recommend the formulation of final product by sensory evaluation to determinate their acceptance or rejections by consumers. Finally, we present operating conditions and equipment selection to be able to carry out the development of this product in the plant.*

**Keywords:** *Pre-cooking, drying, isotherms, rehydration, equipment*

## 1. Introducción

El arroz es el segundo cereal más producido en el mundo, después del maíz. En Ecuador, la aparición de la industria arrocera se da después de la Segunda Guerra Mundial; pequeños molinos junto con trabajo artesanal se encargaban de pilar y pulir los granos. Sin embargo, hoy en día las industrias en nuestro país manejan y controlan los factores de porcentaje de humedad, granos partidos, grados de blancura, para así posicionar marcas y expandir territorios de mercado; en total se concentra un grupo de 40 industrias arroceras en la provincia del Guayas.

Los subproductos que se venden son: arrocillo, harina, polvillo y cereales para el desayuno; pero este último campo no ha sido totalmente explotado, siendo esta la razón para exponer este tema teniendo como objetivo el elaborar un postre a base de arroz de reconstitución instantánea con leche entera determinando parámetros de calidad en la elaboración del mismo.

## 2. Materiales y Métodos

**Caracterización de la Materia Prima**

La materia prima utilizada fue el arroz (Oryza sativa) blanco tipo flor. Se optó por una presentación empacada de la marca "Rendidor" elaborada por la empresa Pronaca, la cual fue adquirida en supermercados locales de la ciudad de Guayaquil.

Mediante los análisis físico-químicos realizados por duplicado a la materia prima, previamente procesada, tales como humedad, pH, acidez y aw, se determinó las características del grano previo al proceso de cocción, lo cual se muestra en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Características físico-químicas del arroz

| Análisis | Resultados |
|---|---|
| Humedad (%) | 11.20 +/- 0.140 |
| pH | 5.795 +/- 0.005 |
| Acidez (g/ml) | 0.487 +/- 0.040 |
| aw | 0.624 +/- 0.002 |

**Pre-cocción como Pre-tratamiento de Secado**

**Diseño experimental**

A fin de facilitar el proceso de secado y obtener un mayor rendimiento del grano, se procedió a realizar la pre-cocción de la materia prima, para lo cual se evaluó la operación siguiendo la metodología expuesta:

Previamente, se efectuó el pesado de la materia prima a emplearse. A continuación, se pre-coció las muestras de arroz aplicando diversas proporciones, considerando que la fracción de agua fuese mayor que la del arroz; controlando el tiempo de cocción hasta obtener un producto ligeramente gelatinizado. Finalmente, se definió la proporción agua/arroz óptima para iniciar el proceso de secado, en base a las pruebas sensoriales realizadas a panelistas entrenados, cuyos resultados fueron evaluados mediante el programa estadístico MINITAB.

**Identificación de variables**

Para obtener el diseño de experimentos se determina como variable independiente: la proporción agua/arroz empleada en la pre-cocción, la cual influye directamente sobre la textura y grado de apelmazamiento del producto final.

**Análisis sensorial**

Para valorar la textura y apelmazamiento de las muestras de arroz pre-cocido se empleó una prueba de intervalos. Se presentó a 15 panelistas entrenados una serie de 5 muestras debidamente codificadas junto con la hoja de evaluación, la cual consta de una escala estructurada de 10 niveles, graduada de acuerdo al parámetro a analizar, en que los jueces deberán indicar el número de la escala a la que corresponda la muestra según su apreciación.

**Secado en Bandejas**

El secado por convección se llevó a cabo en el secador de bandejas marca GUNT del Laboratorio de Termofluidos de la FIMCP. Durante el proceso, en intervalos de 5 minutos, se realizó el control y registro de los siguientes parámetros: variación de pesos empleando una balanza de precisión, temperatura de proceso, humedad relativa y flujo de aire visualizados digitalmente en el equipo.

Al cabo de 6 horas y 15 minutos, se dio por terminado el proceso de secado, al constatar que el peso de las muestras se mantenía constante.

**Caracterización del Arroz Pre-cocido Seco**

El arroz pre-cocido debe ser analizado para determinar sus propiedades físico-químicas después del proceso de secado, para lo cual se aplicaron los mismos métodos de determinación de humedad, pH, acidez y aw que se emplearon en el estudio de la materia prima, por duplicado.

**Rehidratación**

El procedimiento se llevó a cabo en horno microondas, primero con agua y después con leche, según los pasos descritos: En un recipiente apto para microondas calentamos el agua hasta punto de ebullición. Agregamos el arroz pre-cocido secado. Evaluamos el tiempo necesario para la reconstitución de la muestra y su rendimiento.

**Determinación de Vida Útil**

Con el fin de establecer el tiempo de vida útil del producto final se elaboró la isoterma de absorción de la mezcla mediante el programa Water Analyser 97.4, para este efecto se sometió la muestras a dos ambientes; uno con sílica gel y otro con agua, en estufa a una temperatura de 30ºC.

Mediante evaluación sensorial se analizó la pérdida gradual de las características de calidad del producto (textura, color, olor) al ser expuesto a vapor a 100ºC, para poder definir el primer parámetro que se ve afectado por la humedad y por tanto establecer el valor de la humedad crítica.

Mientras que, la predicción del tiempo de vida útil en días para el producto final, considerando un empaque trilaminado (poliéster-polipropileno-polietileno), se obtuvo mediante la siguiente fórmula:

$$\theta_c = \frac{\ln \Gamma_c}{\frac{k}{x}\frac{A}{W_s}\frac{P_o}{b}} \qquad \text{(Ec. 1)}$$

Donde:

$\theta$ = Tiempo de vida útil (días)
ln $\Gamma$c = Contenido de humedad no completado (tendencia de permeabilidad del empaque)
k/x = Permeabilidad del empaque (g $H_2O$/día.m$^2$.mmHg)
A = Área del empaque (m$^2$)
Ws = Peso de sólidos secos (g)
Po = Presión de vapor de agua a la temperatura T (mmHg)
b = Pendiente de la isoterma (tangente entre la humedad crítica e inicial).

## 3. Resultados

### Resultados de la Pre-Cocción del arroz

El diseño experimental se efectuó con la finalidad de determinar la proporción agua/arroz adecuada para la obtención de un producto de textura blanda y que no presente apelmazamiento, como resultado del proceso de pre-cocción.

Con el programa MINITAB se efectuó el conteo de datos con sus porcentajes equivalentes y los histogramas de frecuencia para cada proporción y parámetro en estudio. Por simple inspección descartamos las proporciones 2:1 a 4:1, ya que muestran valores por debajo de aquellos definidos como óptimos; por lo que el análisis se redujo a dos muestras: 5:1 y 6:1.

Se empleó como herramienta el ANOVA para el análisis de los datos correspondientes a cada una de las pruebas; con un nivel de significancia del 95%. La formulación de la hipótesis se basa en encontrar la muestra en la que se hallan juntos los valores óptimos para el apelmazamiento y textura; que en este caso se definieron como 8 (muy bajo) para la primera característica y 7 (blanda) para la segunda, según se indica en las respectivas escalas de las pruebas sensoriales.

La toma de decisiones se fundamentó en el hecho de que se debe escoger la muestra que posea una menor desviación estándar agrupada para que las características sean más congruentes. Además mediante el método de Tukey se descartó la proporción 6:1, ya que se esperaba que las características medidas sean significativamente distintas, lo cual no fue el caso para esta prueba.

De esta forma se definió que la proporción 5:1 es la óptima para efectuar el proceso de pre-cocción, con la cual se obtiene un producto ligeramente gelatinizado, de textura blanda y suelto, en un tiempo de cocción de 14 minutos y 46.4% de rendimiento.

**Tabla 2.** Resultados de pruebas de pre-cocción

| Relación | 2:1 | 3:1 | 4:1 | 5:1 | 6:1 |
|---|---|---|---|---|---|
| Tiempo | 6 min | 9 min | 12 min | 14 min | 16 min |
| Textura | Muy dura | Dura | Firme | Blanda | Muy blanda |
| Apelma-zamiento | Excesivo | Excesivo | Alto | Bajo | Escaso |
| Rendi-miento | 60.8% | 54.2% | 50.7% | 46.4% | 41.6% |
| Gráficos |  |  |  |  |  |

### Curvas de Secado

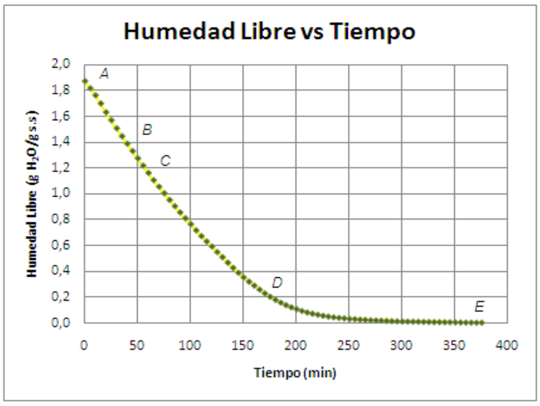



**Figura 1.** Humedad libre vs. Tiempo

En la Fig. 1 se observa un pre-calentamiento de 35 minutos y una marcada disminución en el contenido de humedad expresado en g $H_2O$/g s.s al inicio del secado hasta alcanzar los 180 minutos, pudiendo acotar que en este tiempo se remueve la mayor parte de la humedad libre ($X^*$) presente en el alimento. Pasado este período, la disminución del contenido de $X^*$ se produce en menor proporción hasta reducirse a 0.0064 g $H_2O$/g s.s. Comparando este valor con el de la monocapa, obtenido mediante la isoterma de desorción, que equivale a 0.0804 g $H_2O$/g s.s, se puede demostrar que con el proceso de secado efectuado se obtendrá un producto de alta estabilidad frente al deterioro.

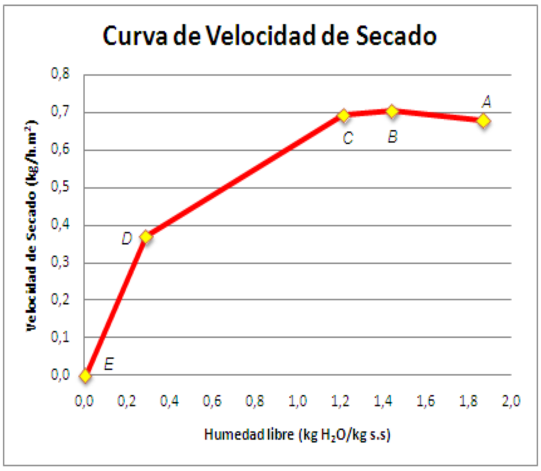


**Figura 2.** Curva de Velocidad de Secado

La Fig. 2 hace referencia a la curva de velocidad de secado en relación al tiempo de proceso, en la cual se aprecia la fase de pre-calentamiento A-B, caracterizada por el incremento de la temperatura del alimento hasta lograr el equilibrio con las condiciones del aire de secado (Tbh), partiendo de una $X^*$ de 1.8721 kg $H_2O$/kg s.s y una velocidad de secado equivalente a 0.6786 kg/h.$m^2$, ésta última se incrementa ligeramente, mientras que el contenido de agua libre se reduce a 1.4462 kg $H_2O$/kg s.s.

En el período B-C, la velocidad se mantiene constante a 0.6920 kg/h.$m^2$ y el contenido de agua existente en la superficie del alimento es removida hasta 1.2191 kg $H_2O$/kg s.s, en este punto se pierde la primera característica organoléptica del producto, representada por la humedad crítica, que da lugar a la siguiente etapa C-D conocida como período de velocidad decreciente. Dicho período comienza con la remoción del agua ligada en el interior del sólido y se visualiza un descenso brusco de la velocidad de secado llegando a 0.3690 kg/h.$m^2$, debida a la disminución de la superficie de transferencia. De esta forma, se alcanza el segundo período de velocidad decreciente D-E, obteniendo una velocidad final igual a cero.

## Resultados de Pruebas Físico-Químicas de Arroz Pre-cocido Seco

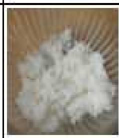
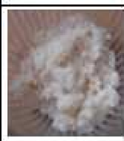
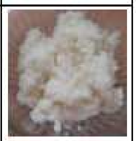
**Tabla 3.** Caracterización del arroz pre-cocido seco

| Análisis | Resultados |
|---|---|
| Humedad (%) | 7.640 +/- 0.500 |
| pH | 6.380 +/- 0.010 |
| Acidez (g/ml) | 0.503 +/- 0.040 |
| aw | 0.580 +/- 0.009 |

## Resultados de Rehidratación

Al realizar la rehidratación con leche obtuvimos un producto de consistencia completamente suave y el arroz suelto. Con la rehidratación en agua se consiguió características del grano similares.

**Tabla 4.** Pruebas de rehidratación

| Producto | 10 g arroz | 10 g arroz | 20g arroz |
|---|---|---|---|
| Líquido | 50 ml agua hirviendo | 50 ml leche hirviendo | 100 ml leche hirviendo |
| Tiempo | 1 min 00 s | 1 min 00 s | 2 min 30 s |
| Rendimiento | 82.50% | 78.26% | 78.35% |
| Gráficos |  |  |  |

Se concluyó que la leche puede suplir al agua obteniendo las mismas características finales: un arroz suave y suelto, pero la desventaja es que el rendimiento es menor con respecto a rehidratarlo en agua.

## Formulación para Preparación del Consumidor

Con el fin de desarrollar la fórmula para la preparación del postre por parte del consumidor final se hizo 10 ensayos, en los que se determinó la cantidad de ingredientes secos, como también la cantidad de leche entera que se adiciona antes de someterlo a rehidratación en microondas.

## Pruebas sensoriales

Se seleccionó 2 formulaciones para determinar la preferencia del producto por parte de los posibles consumidores, para lo cual se escogieron 30 personas: niños y niñas de 7 a 8 años; la prueba sensorial que se efectuó fue la afectiva: escala hedónica gráfica con 3 puntos de medición.

Los resultados de las pruebas sensoriales indicaron que si hubo diferencia significativa entre las dos fórmulas de arroz con leche, por lo tanto la escogida debido a la alta calificación sensorial que es la aceptación por parte de los jueces que la evaluaron, es la siguiente:

**Tabla 5.** Formulación Final

| Ingredientes | Cantidad (g) | % |
|---|---|---|
| Leche | 180.0 | 78.60 |
| Arroz | 20.0 | 8.73 |
| Azúcar | 18.0 | 7.86 |
| Pasas | 10.0 | 4.37 |
| Canela | 1.0 | 0.44 |
| Total | 229 | 100% |

En este ensayo se trabajó con el microondas a potencia media y se lo rehidrató a 4 minutos 15 segundos, se lo dejó enfriar y se adicionó 2.5 ml de esencia de vainilla dándonos un postre rehidratado completamente, sabor dulce y concentrado, olor y color agradables, de consistencia semilíquida y textura del arroz suave.

**Resultados de Predicción de Vida Útil**

Al analizar el valor de la monocapa de acuerdo a la Fig. 3, se puede definir que el producto tiene una mayor estabilidad a una humedad de 0.0703 g H2O/g s.s, equivalente a una actividad de aw de 0.43.

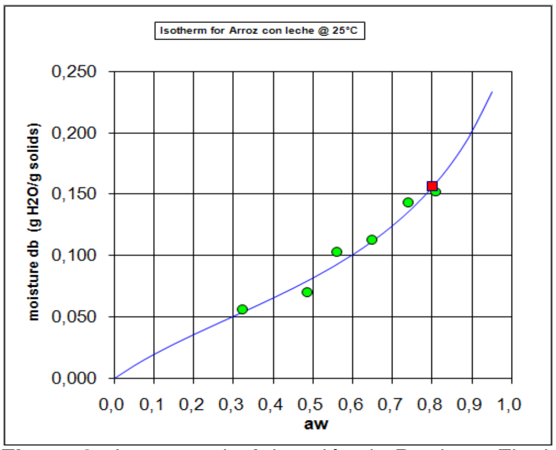



**Figura 3.** Isoterma de Adsorción de Producto Final

Posteriormente, se determinó que la textura del producto es la primera característica que se deteriora a consecuencia de la humedad, por lo que la pérdida de este factor debido al apelmazamiento fue considerada como el contenido de humedad crítica, siendo de 0.110 g H2O/g s.s con una actividad de aw de 0.656.

Finalmente, empleando la Ec. 1 se estableció que el tiempo de vida útil del producto final en una presentación de 125 gramos contenida en una empaque trilaminado y conservado en condiciones ambientales de 30ºC y 85% de humedad relativa es de 392 días o 13 meses.

## 4. Diseño de la Línea de Producción

**Descripción del Proceso**

**Recepción:** Es la etapa en donde receptamos el arroz blanco pilado de grano largo tipo flor.

**Lavado y Escurrido:** Se procede al lavado con agua, esto nos ayuda a limpiar los residuos de almidón y el escurrido para eliminar el agua residual.

**Pre-cocción:** Se somete a pre-cocción el arroz con agua en proporción (5:1) por 14 minutos a una temperatura de 100ºC.

**Secado:** Se coloca en bandejas de acero inoxidable el arroz pre-cocido y se lo somete al proceso de secado a una temperatura de 50ºC.

**Molienda:** El arroz pasa por un proceso de molienda para lograr una mejor rehidratación de los granos.

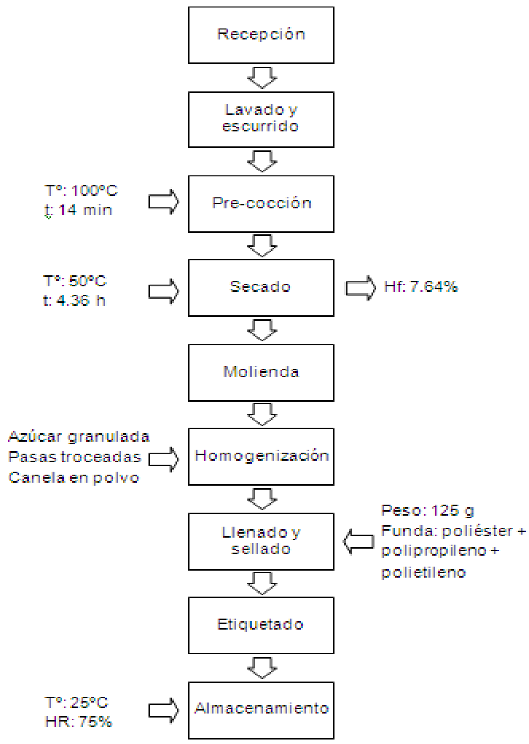
**Homogenización:** Se añade los demás ingredientes: azúcar granulada, pasas troceadas, y canela en polvo; en dosificación correcta para la homogenización.

**Llenado-sellado:** El producto resultante se procede al llenado de las bolsas de 125 g que son de un empaque trilaminado de polietileno, polipropileno y poliéster; después de llenar las bolsas la máquina las sella.

**Etiquetado:** Las bolsas al salir de la empacadora volumétrica pasan por la codificadora automática en donde se graba la etiqueta que va tener el producto.

**Almacenamiento:** El producto se almacena en una bodega libre de humedad, en que se mantenga un ambiente fresco y seco.

**Diagrama de Flujo**



**Capacidad de Producción**

Para calcular la capacidad de producción se debe tomar en cuenta el segmento a quien va dirigido el producto. Analizando el número de habitantes de Guayaquil, según la población estimada al año 2009 fue de 2´787,738, de los cuales el 20% corresponde a 557,547 niños entre 5 a 14 años, que serían nuestros posibles consumidores; de este porcentaje escogemos un 22% que son 123,930 niños quienes representarán la demanda a cubrir.

**Descripción de Equipos**

La descripción de los equipos está basada en las necesidades de la empresa y en cubrir la producción propuesta.

**Tabla 6.** Equipos requeridos por etapas de proceso

| Etapa | Proceso / Máquina | Capacidad Nominal | Capacidad Efectiva |
|---|---|---|---|
| Recepción | Manual | - | - |
| Lavado y escurrido | Manual / Tanque de acero inoxidable y mallas metálicas | - | - |
| Pre-cocción | Mecánico / Marmita | 250 lt/h | 213.4 lt/h |
| Secado | Mecánico / | 110 kg/h | 99 kg/h |
| Molienda | Mecánico / Molino | 50 kg/h | 39.5 kg/h |
| Homogenización | Mecánico / Mezcladora | 125 kg/h | 96.82 kg/h |
| Llenado – sellado | Mecánico | 60 u/min | 15 u/min |
| Etiquetado | Mecánico / Codificadora | 60 mt/min | 15 mt/min |
| Almacenamiento | Manual | - | - |

**Marmita:** Fabricada de acero inoxidable 304, accionada a cualquier tipo de energía gas, gas-oil y vapor. Se fabrican de 2 sistemas: fuego directo a la cuba o fuego indirecto que se efectúa por medio de una cámara térmica.

**Secador de bandeja:** Construido en acero inoxidable, de estructura rectangular, contará con 4 carritos que facilitarán la carga y descarga del producto contenido en las 26 bandejas que cada uno deberá transportar durante las 4.36 horas de proceso. El serpentín de calentamiento de ¾" cédula 40 a través de la cual circulará el vapor de agua saturado necesario para calentar el aire de secado, tendrá una longitud de 47.41 m. Además contará con 3 ventiladores industriales requeridos para generar aire frío dentro del secador.

**Molino:** Apto para moler cualquier tipo de granos secos, construido en acero al carbono, reforzado para soportar trabajo duro y continuo.

**Mezcladora tipo pantalón:** Ideal para mezclar polvos o gránulos que son utilizados para la preparación de productos alimenticios. Alimentación del producto por una sola boca, con tapa de ajuste rápido. Sistema de compuerta regulable para descarga del producto.

**Empacadora volumétrica:** Máquina empacadora automática con vasos volumétricos, para embolsado de productos granulados como cereales y productos extruidos. Conforma las fundas a partir de rollos de diferentes materiales termosellables.

**Máquina codificadora a tinta:** Máquina codificadora por sistema de chorro de tinta ink jet, para impresión de textos informativos como. Ideal para impresión en fundas.

## 5. Conclusiones

Se logró establecer las características óptimas del arroz previo al proceso de secado, mediante un diseño experimental que partió de pruebas sensoriales analíticas aplicadas a jueces entrenados. Siendo la pre-cocción en proporción 5:1 la recomendada para obtener un grano blando, suelto y ligeramente gelatinizado; esta última propiedad resulta de gran importancia pues contribuirá a que el agua contenida en el producto sea removida con facilidad durante el secado, reduciendo el tiempo de operación y mejorando el rendimiento al rehidratarlo.

Al realizar las pruebas sensoriales con los consumidores no entrenados y mediante un análisis por medio de la T de student, se estableció con un 5% de significancia que existe diferencia entre las fórmulas #9 y #10, concluyendo que la primera fórmula obtuvo un mayor porcentaje de aceptación.

En relación al estudio de estabilidad, se conoce que la humedad es el principal factor de deterioro de los productos secos, siendo la textura la primera característica afectada en este caso, por lo que la predicción de vida útil se calculó considerando el uso de un empaque trilaminado compuesto por poliéster-polipropileno-polietileno para almacenar el producto en condiciones ambientales extremas, determinando que las características organolépticas del producto se mantendrán inalterables por un período de 13 meses.

## 6. Agradecimientos

A la MSc. Fabiola Cornejo Z. por su acertada dirección en el desarrollo de este estudio, a la Escuela Superior Politécnica del Litoral y a la Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción.

## 7. Referencias

1. BARBOSA, G.; MA, L.; BARLETTA, B. Manual de Laboratorio de Ingeniería de Alimentos. Editorial Acribia S.A., Zaragoza – España, 2000. Págs. 71.
2. BARBOSA, G.; VEGA, H. Deshidratación de Alimentos, Editorial Acribia S.A., Zaragoza – España, 2000. Págs. 2-4, 56-57, 70, 84, 152-153.
3. CALLEJO, María. Industria de Cereales y Derivados. Editorial Mundi-Prensa, Madrid-España, 2002. Págs. 151-152, 166.
4. CASP, Ana; ABRIL, José. Procesos de Conservación de Alimentos. Editorial Mundi-Prensa, Madrid – España, 2003. Págs. 334-337, 340, 356-357.
5. CHARLEY, Helen. Tecnología de Alimentos: Procesos Químicos y Físicos en la Preparación de Alimentos. Editorial Limusa, México-México. 2005. Págs. 174-175.
6. DIARIO EL UNIVERSO. Historia de una semilla. Disponible en: http://www.eluniverso.com/2009/05/10/0217/1055/EC02833F15004A34ADA43291C2B6252A.html. Mayo 2010.
7. FEDERACIÓN NACIONAL DE ARROCEROS DE COLOMBIA. *Arroz: Sus Bondades y Beneficios*. Disponible en: http://www.fedearroz.com.co/arroz.htm. Mayo 2010.
8. HOSENEY, R. Principios de Ciencia y Tecnología de los Cereales. Editorial Acribia S.A., Zaragoza-España, 1991. Págs. 41, 45.
9. MINISTERIO DE AGRICULTURA, GANADERÍA, ACUACULTURA Y PESCA DEL ECUADOR. Cadenas Agroindustriales: Panorama de la Cadena del Arroz. Disponible en: http://www.magap.gob.ec/magapweb/BIBLIOTECA/CADENAS%20AGROINDUSTRIALES/ARROZ%20Y%20PILADORAS%20 - %20PANORAMA%20DE% 20LA%20CADENA/panorama.pdf. Mayo 2010.
10. PROYETO COMUNITARIO. *Conservación de Alimentos: Arroz.* Disponible en: http://www.alimentacioncomunitaria.org/secciones /alimentos_arroz.html. Mayo 2010.
11. REVISTA DE PLANTAS BOTANICAL ONLINE. *Propiedades alimentarias del arroz.* Disponible en: http://www.botanical-online.com/arrozpropiedadesalimentarias.htm Mayo 2010.