

Edgar Mauricio Vargas
Marisol Aguirre

EL SALVADO DE ARROZ:

Procesos de estabilización y usos
potenciales en la industria colombiana

Edgar Mauricio Vargas
Marisol Aguirre

EL SALVADO DE ARROZ: Procesos de estabilización y usos potenciales en la industria colombiana



Libertad y Orden

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural
República de Colombia



UNIVERSIDAD DE BOGOTÁ
JORGE TADEO LOZANO
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES
E INGENIERÍA



Cámara Induarroz

EL SALVADO DE ARROZ:

Procesos de estabilización y usos potenciales en la industria colombiana

Autores

Edgar Mauricio Vargas
Marisol Aguirre

Coautores

Rubén Danilo Bourdon
Ivonne Alejandra González
Leslie Dayana López
Hernán Felipe Ovalle
Jenifer Guzmán
Diana Milena Parra
David Álvarez
Carol Díaz
Marisol Aguirre
Nancy Liliana Cobos
Victoria Eugenia Avendaño
Laura Cristina Durán
Andrea Nieto



Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural
República de Colombia



UNIVERSIDAD DE BOGOTÁ
JORGE TADEO LOZANO
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES
E INGENIERÍA

— **ANDI** —
Cámara Induarroz

AGRADECIMIENTOS

El profesor Edgar Mauricio Vargas agradece la financiación para realizar esta investigación al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (proyecto ref: 176-2008B3477-3243); a la Cámara Induarroz de la ANDI; a la Dirección de Investigación, Creatividad e Innovación de la Universidad Jorge Tadeo Lozano; y a todos los estudiantes, profesionales y profesores que participaron en este trabajo.

RECEBIDO EN LA OFICINA DE
CONTABILIDAD Y TESORERÍA
DE LA EMPRESA
X.
HiperTercero Ltda.
30 MAYO 2010 \$22.000

TABLA DE CONTENIDO

CONTEXTO GENERAL	7
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	9
Capítulo 1	
Metodologías estandarizadas para caracterizar el salvado de arroz en cada etapa de pulido de arroz (molino industrial).	13
Introducción	14
Metodologías estandarizadas para la extracción del aceite crudo de salvado de arroz; separación y cuantificación cromatográfica de tocoferoles, tocotrienoles, γ -orizanol y ácidos grasos insaturados totales (oléico, linoléico y linolénico)	
Capítulo 2	
Clasificación del salvado de arroz de cada etapa de pulido de acuerdo con la calidad encontrada del producto (análisis composicional).	29
Introducción	30
Estudio del efecto de la variedad de arroz y la etapa de pulido en la calidad nutricional del salvado de arroz colombiano	32
Estudio del efecto de la variedad de arroz y la etapa de pulido en la calidad funcional del salvado de arroz colombiano	45
Capítulo 3	
Análisis experimental y de resultados de técnicas de estabilización de salvado de arroz, mediante el uso de enzimas, ácidos y calor.	71
Introducción	72
Estabilización térmica: estabilización del salvado de arroz colombiano mediante tratamiento térmico para evaluar la conservación de ácidos grasos insaturados y antioxidantes (tocoferoles y tocotrienoles)	76
Estabilización del salvado de arroz colombiano mediante tratamiento enzimático (papaina) para evaluar la conservación de ácidos grasos insaturados y antioxidantes (tocoferoles y tocotrienoles)	87
Estabilización del salvado de arroz colombiano mediante tratamiento enzimático (bromelina) para evaluar la conservación de ácidos grasos insaturados y antioxidantes (tocoferoles y tocotrienoles)	104

Estabilización del salvado de arroz colombiano mediante tratamiento con ácidos para evaluar la conservación de ácidos grasos insaturados y antioxidantes (tocoferoles y tocotrienoles)	118
--	-----

Capítulo 4

Usos potenciales del salvado de arroz estabilizado en las industrias de alimentos, cosmetológica y farmacéutica, y usos alternos a dichas industrias.	127
--	------------

Introducción	128
El salvado de arroz en la industria de los alimentos	128
El salvado de arroz en la industria cosmetológica	142
El salvado de arroz en la industria farmacéutica	142
El salvado de arroz con nuevas aplicaciones	156

Capítulo 5

Elaboración de productos alimenticios con salvado de arroz estabilizado.	183
---	------------

Introducción	184
Evaluación de una harina de trigo (<i>Triticum durum</i>) y salvado de arroz colombiano (<i>Oryza sativa</i>) para panificación	186
Evaluación de una harina de trigo (<i>Triticum durum</i>) y salvado de arroz colombiano (<i>Oryza sativa</i>) para preparar pasta alimenticia	202

Capítulo 6

Diseño y dimensión del proceso de estabilización del salvado de arroz colombiano.	215
--	------------

Introducción	216
Diseño de una planta de estabilización térmica para la estabilización de salvado de arroz colombiano	218

CONTEXTO GENERAL

La cadena productiva del arroz es una importante fuente generadora de empleo. A nivel de cultivo, el III Censo Nacional Arrocerero realizado en 2007 identificó la existencia de 12.414 productores y 17.352 unidades productoras de arroz (UPA) empleando en forma directa a 65.000 personas. Por su parte, en el país existen cerca de 90 empresas procesadoras de arroz que emplean de forma directa a 4.650 personas y financian cerca del 30% del área sembrada de arroz.

La mayor parte de la capacidad instalada de la molinería de arroz de Colombia tiene un desarrollo tecnológico avanzado (en molienda y secado) si se compara con los estándares tecnológicos registrados por Estados Unidos, Brasil, Uruguay y Venezuela. El principal producto del proceso de molinería es el arroz blanco, seguido por subproductos como la cascarilla y el salvado de arroz (SA), y el arroz partido, grande y pequeño.

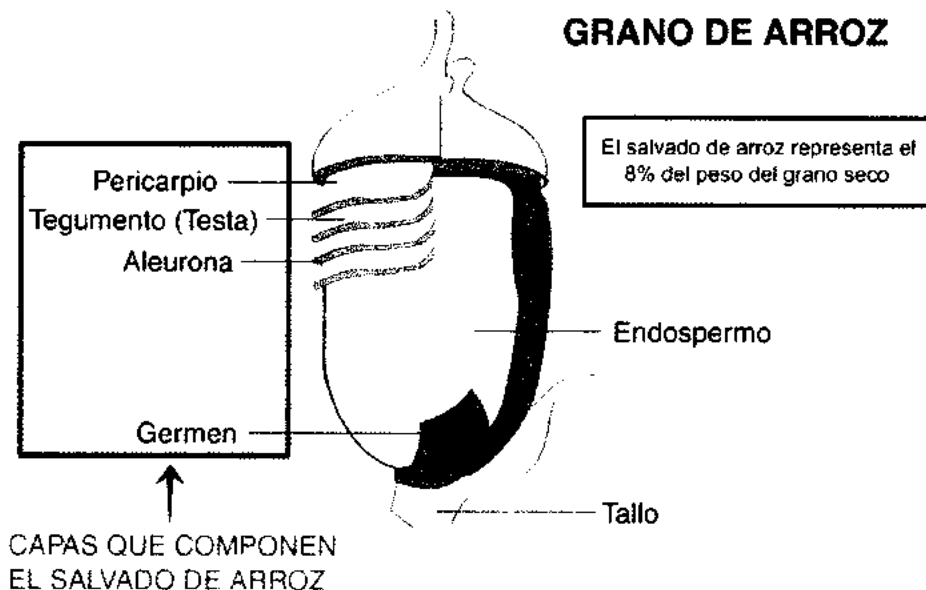
El arroz es un cultivo social y económicamente importante para el país por su alta participación en el área cosechada, en el valor de la producción agrícola y, como se había mencionado anteriormente, en la generación de empleo. En el año 2009, en Colombia se cultivaron 468.892 hectáreas (Ha) con una producción de 2'363.519 toneladas métricas (Tm) de arroz paddy seco, equivalente a cerca de 1'607.719 Tm de arroz blanco. El arroz es el tercer cultivo agrícola en extensión después del café y el maíz. Representa el 13% del área cosechada en Colombia y el 30% de los cultivos transitorios. Su producción representa el 6% del valor de la producción agropecuaria y el 10% de la actividad agrícola colombiana. El valor generado por este producto es equivalente al 58% del valor constituido por el cultivo del café.

En general, la industria arrocerera colombiana desempeña varias funciones dentro de la cadena: financia productores, acopia, acondiciona, almacena y financia almacenaje, procesa, hace mercadeo y desarrollo de productos, y vende. En este último tema, la década de los noventa se caracterizó por la consolidación de las marcas líderes y por una actividad más agresiva en términos de mercadeo, como respuesta a la recesión económica y en años recientes a la generación de productos con valor agregado.

Sin embargo, la industrialización de alimentos de consumo masivo trae consigo una serie de problemas a resolver, que van desde la producción de materias primas hasta la utilización de los subproductos que se generan durante el proceso, que muchas veces son un factor de impacto ambiental negativo.

Estos factores llevan a la necesidad de un reaprovechamiento integral de las materias primas y de los subproductos que se forman durante un proceso determinado. Un ejemplo se encuentra en la industrialización del arroz, la cual implica un proceso de abrasión, conocido como "molienda", del cual se obtiene como producto principal el arroz blanco o pulido. La cascarilla y el salvado de arroz (SA) son considerados como subproductos. La cascarilla representa cerca del 20% del arroz paddy seco y el

salvado representa aproximadamente el 8% (del arroz paddy seco) dividido así: el 6% de la capa externa y 2% del germen (gráfica 1).



Gráfica 1. Estructura del grano de arroz.

La producción nacional por año de estos dos subproductos es del orden de 400.000 toneladas para la cascarilla y 160.000 toneladas para el SA. Actualmente el uso del SA es para alimentación balanceada en animales con un precio relativamente bajo.

Para mejorar el valor comercial del SA, es necesario llevar a cabo un proceso de estabilización que le permita una vida útil más amplia, posibilitando usos potenciales en diferentes tipos de industrias. Este proyecto de investigación es de gran importancia, ya que Induarroz aspira incrementar para el año 2019 el consumo per cápita de arroz de 38 a 80 kilos.

La Cámara de Induarroz de la ANDI dando cumplimiento a su función de promover el desarrollo del mercado de productos comestibles y no comestibles, desarrolló y cofinanció en asocio con la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano el proyecto titulado "Estabilización y usos potenciales del salvado de arroz colombiano para su aprovechamiento industrial sin afectar su calidad nutricional y funcional". Así, la presente publicación tiene como fin presentar los resultados obtenidos a nivel de estudio de SA colombiano.

Referencias bibliográficas

<http://www.Fedearroz.com.co/rev.htm>

Observatorio Agro cadenas Colombia, Febrero, 2004 <http://www.agrocadenas.gov.co>

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Dentro de los objetivos primordiales del país está la producción suficiente de alimentos básicos de consumo masivo, lo que hace de la industria alimentaria un factor determinante en el aprovechamiento y distribución de los alimentos. Esto lleva a la necesidad de un reaprovechamiento integral de las materias primas y de los subproductos que se generan en un proceso determinado.

En el país se generó en el año 2009 un total aproximado de 189.081 Ton de SA a un precio de venta promedio de 595 pesos/Kg.

El SA es la fracción del arroz de mayor contenido nutricional, ya que contiene de 15 a 20% de aceite comestible de alto valor funcional, de 12 a 16% de proteínas, de 23 a 28% de fibra dietética y de 7 a 10% de cenizas; además presenta un alto contenido de vitaminas del complejo B y E como el alfa-tocoferol, tocotrienoles y gamma-orizanol (Kennedy & Burlingame, 2003; Nicolosi *et al.*, 1993). Investigaciones recientes han concluido que el SA es un depósito de antioxidantes en potencia (120 antioxidantes y cofactores se han identificado), cuenta también con mezclas únicas de carbohidratos junto con todos los aminoácidos esenciales para el metabolismo de las proteínas; además es la solución perfecta en la batalla contra enfermedades crónicas del corazón e intestinales (Nutracea; Jariwalla, 2001), así las cualidades nutraceuticas generan un aporte a la salud humana al ser consumido.

Es importante mencionar que toda la potencialidad de este subproducto está por descubrirse, lo único cierto es que es un alimento que da vida. Lo anterior permite concluir que el SA es un producto alimenticio lleno de propiedades funcionales y con compuestos únicos de muy alto valor, con usos potenciales tanto en la industria de los alimentos funcionales (nutraceuticos), enriquecidos y fortificados, como en la industria cosmética y farmacéutica.

En la industria arrocera se presentan problemas con este subproducto, ya que su valor comercial es bajo, hay pocos compradores (industria de alimentos balanceados para animales), pocos usos conocidos (fibra dietaria), vida útil muy corta debido a la activación de enzimas en el proceso de molienda causando inestabilidad y un rápido deterioro del subproducto, generando la pérdida de toda la funcionalidad ya mencionada, por tal motivo el SA debe ser estabilizado rápidamente a través de algún tipo de proceso.

Dicha inestabilidad se produce por la presencia de lipasas y peroxidasas en el SA, que hidrolizan los glicéridos y oxidan los ácidos grasos libres ocasionando una alteración irreversible del subproducto en pocas horas de almacenamiento (se acidifica y enrancia rápidamente) (Parrado, 2006; Vercet, 2002; Adler-Nissen, 1986).

Existen varias posibilidades para evitar este deterioro que van desde tratamientos térmicos (mecánicos, microondas y óhmicos), químicos (ácidos, bases, antioxidantes), alternativos (proteasas), almacenamiento en atmósferas controladas, almacenamiento

a bajas temperaturas hasta proceso simultáneo de blanqueo y extracción. Tales métodos consisten llanamente en eliminar o reducir la actividad de los constituyentes que provocan tal deterioro (Juliano, 1994; Prakash, 1996; Prakash, 1999; Prakash, 1996). Una técnica de estabilización adecuada es aquella en la que el SA es sometido a un proceso que permita inactivar las enzimas sin afectar el nivel nutricional y funcional del alimento, que es uno de los objetivos que persigue este proyecto; además destruir los inhibidores de crecimiento presentes naturalmente como son la tripsina y las hemaglutininas.

Referencias bibliográficas

- Adler-Nissen, J.. ISSPH-The production and properties of an enzymic food protein hydrolysate (pp. 263-313). Enzymic hydrolysis of food proteins. London, New York: Elsevier Applied Science Publisher 1986.
- DANE, Departamento Administrativo Nacional de Estadística de Colombia.
- Induarroz, Presentación titulada Mercado de los Subproductos del Arroz frente al TLC. 2007.
- Jariwalla, R. J. Rice-bran products: phytonutrients with potential applications in preventive and clinical medicine. *Drugs Experimental Clinical Research.*, 27, 17-26. 2001.
- Juliano, O. B. (Ed.). *Rice: Chemistry and Technology* (2nd ed.,pp. 17-160). St. Paul, EUA: The American ssociation of Cereal chemists inc., .647-680., 1994.
- Kennedy, G., & Burlingame, B.. Analysis of food composition data on rice from a plant genetic resources perspective. *Food Chemistry*, 80, 589-596., 2003.
- Da Silva M.A., Cristina Sanches, Edna Regina Amante. Prevention of hydrolytic rancidity in rice bran. *Journal of Food Engineering* 75 487-491., 2006.
- Mercados inteligentes de Proexport. www.proexport.com.co/intelelexport/aplicacion/.
- Nicolosi, R. J., Rogers, E. J., Ausmann, L. M., & Orthofer, F. T. Rice bran oil and its health benefits. In W. E. Marshall & J. I. Wadsworth (Eds.), *Rice science and technology* (pp. 421- 431). New York: Marcel Dekker 1993.
- Nutracea. www.nutracea.com/
- Parrado, J., Miramontes, E., Jover, M., Gutierrez, J. F., Collantes de Terán, L., Bautista, J. 2006. Preparation of a rice bran enzymatic extract with potential use as functional food. *Food Chemistry*, 98, 742-748.
- Prakash, J., & Ramanatham, G. Physico-chemical and nutritional traits of rice bran protein concentrate-base eaning foods. *Journal of Food Science and Technology*, 32(5), 395-399., 1999.

Prakash, J.. Rice bran proteins: properties and food uses. *Critical Review of Food Science Nutrition*, 36(6), 537-552., 1996.

Vercet, A., Oria, R., Crelier, S., & Lopez-Buesa, P. Selective inactivation of phospholipase A2 in complex protein mixtures. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 3, 271-277,. 2002.

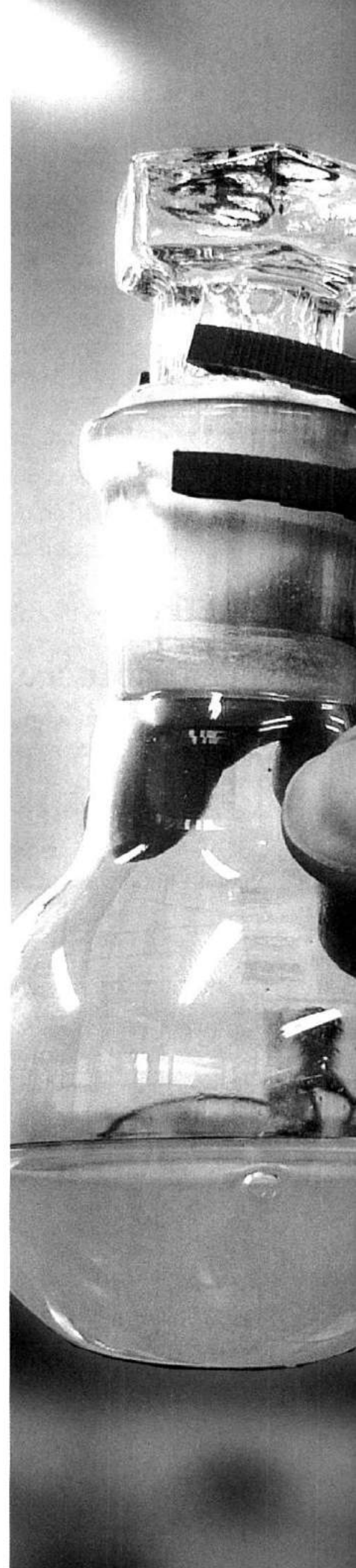
CAPÍTULO 1

METODOLOGÍAS ESTANDARIZADAS PARA CARACTERIZAR EL SALVADO DE ARROZ EN CADA ETAPA DE PULIDO DE ARROZ (MOLINO INDUSTRIAL)

Metodologías estandarizadas para la extracción del aceite crudo de salvado de arroz; separación y cuantificación cromatográfica de tocoferoles, tocotrienoles, γ -orizanól y ácidos grasos insaturados totales (oléico, linoléico y linolénico).

Autores

Rubén Danilo Bourdon
Ivonne Alejandra González



INTRODUCCIÓN

Debido a que este estudio es pionero en el país, se presentó la necesidad de adaptar algunas de las metodologías empleadas a nivel internacional para la extracción de aceite de salvado de arroz colombiano y sus compuestos funcionales. Para la caracterización funcional se estudió y se cuantificaron los ácidos grasos libres insaturados (omega 9, omega 6 y omega 3) por método HPLC (Implementado en la Universidad); caracterización y cuantificación de tocoferoles, tocotrienoles y gamma-orizanol por método de HPLC (implementado en la Universidad).

A continuación se presentan las metodologías estandarizadas para:

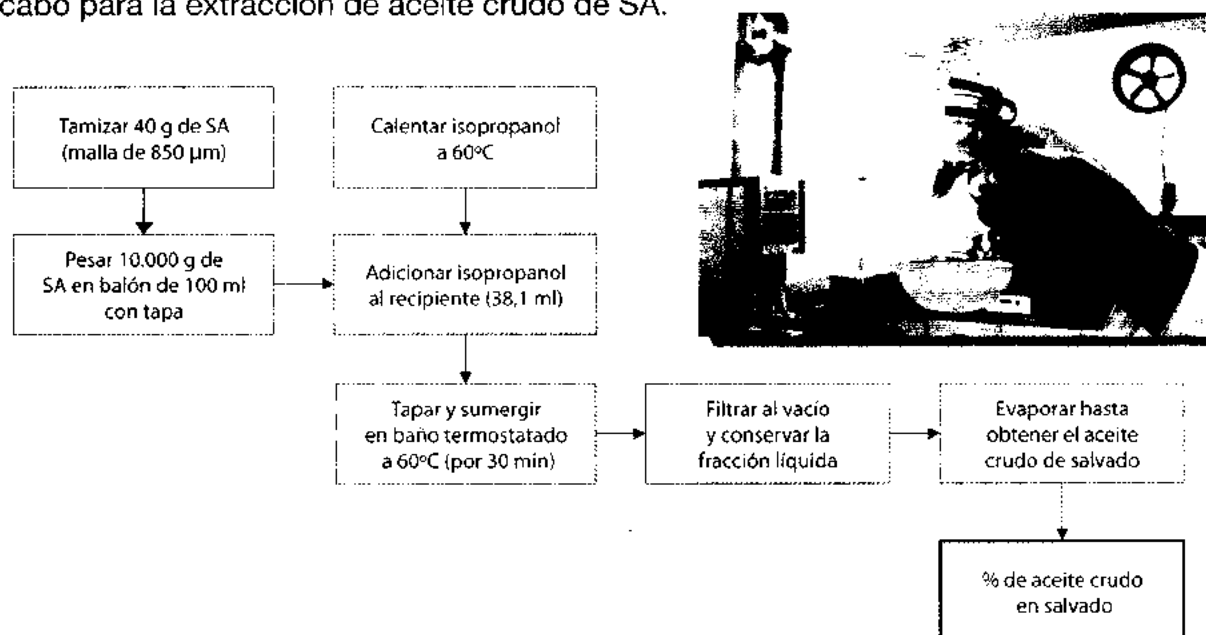
- Extracción del aceite crudo del salvado de arroz colombiano.
- Separación de tocoferoles, tocotrienoles y γ -orizanol.
- Separación de ácidos grasos insaturados totales y libres (oléico, linoléico y linolénico).
- Curvas de calibración y condiciones para la cuantificación mediante HPLC.

METODOLOGÍAS Y MATERIALES

A continuación se presentan las metodologías y materiales empleados a lo largo de las investigaciones realizadas.

Extracción de aceite crudo de salvado de arroz

En el siguiente diagrama (gráfica 2) se encuentra explicada la metodología llevada a cabo para la extracción de aceite crudo de SA.



Gráfica 2. Metodología para extracción del aceite crudo de SA.

Materiales y reactivos para un ensayo (3 muestras)

- 1 balanza analítica (mínimo 3 decimales)
- 1 malla de 850 μm (tamizador automático)
- 1 baño termostatado a 60 °C
- 1 bomba de vacío con trampa
- 1 evaporador rotatorio
- 1 probeta de 50 mL (unidad mínima 0,1 mL)
- 3 balones fondo redondo de 100 mL con boca ES 29/32, con tapa y clip
- 1 balón de 250 mL fondo redondo con boca ES 29/32 con tapa y clip (para isopropanol)
- 4 pinzas para refrigerante con nuez
- 1 erlenmeyer de 250 mL con desprendimiento (kitasato)
- 1 embudo büchner
- 3 tubos para centrífuga de 50 mL
- 3 viales ambar de 1,5 mL con tapa y septa de teflón
- 3 papel filtro N° 1 (Whatman)
- 1 micro espátula
- 1 espátula
- Salvado de arroz 40 g
- Isopropanol (2-propanol) HPLC o R.A. 200 mL

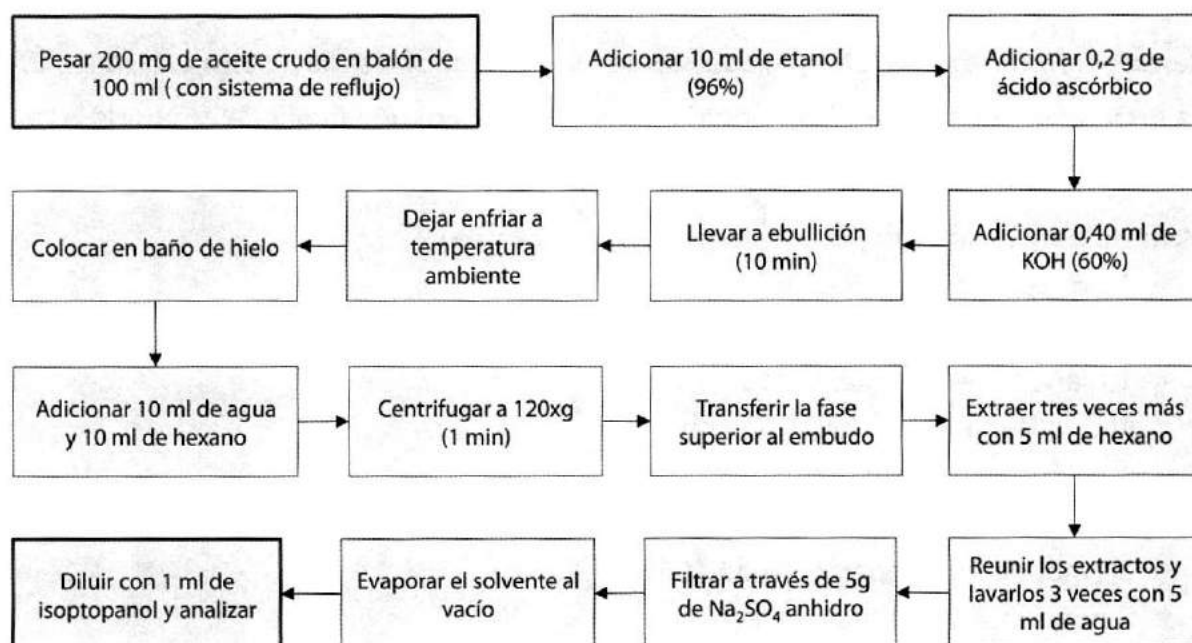
Separación de tocoferoles, tocotrienoles y γ -orizanol desde aceite crudo de SA

La separación de tocoferoles, tocotrienoles y γ -orizanol desde aceite crudo de SA se presenta a continuación en la gráfica 3.

Materiales y reactivos para un ensayo (3 muestras)

- 1 balanza analítica (mínimo 3 decimales)
- 1 evaporador rotatorio
- 1 plancha de calentamiento
- 1 centrífuga
- 1 probeta de 10 mL
- 3 balones fondo redondo de 100 mL con boca ES 29/32, con tapa y clip
- 3 embudos de separación de 100 mL
- 3 condensadores (para reflujo)
- 3 pinzas para refrigerante con nuez
- 2 buretas de 50 mL (hexano, agua desionizada)

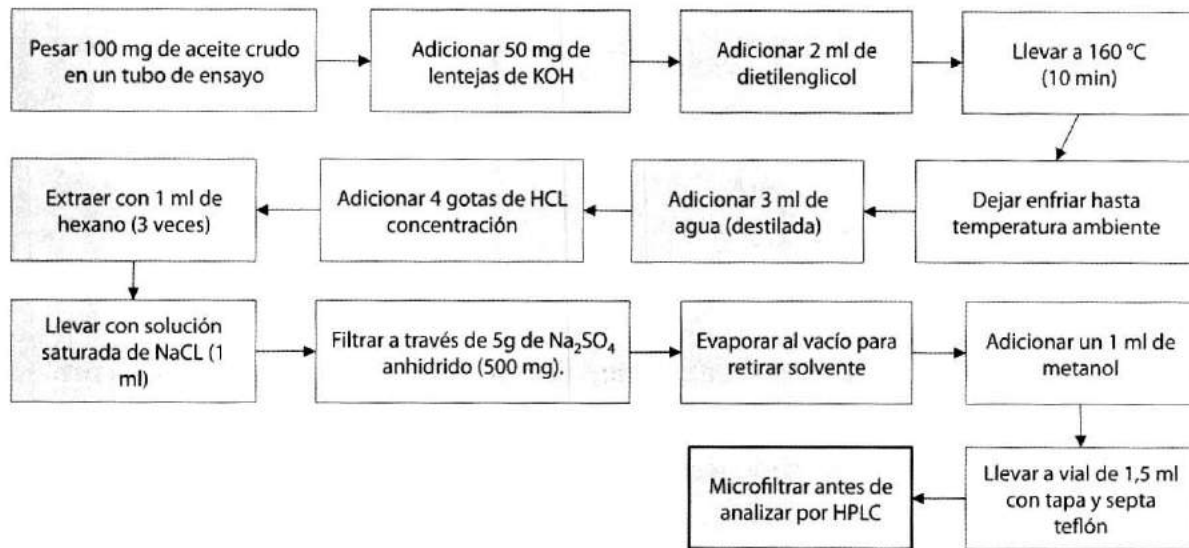
- 3 vasos de precipitados de 50 mL
- 3 tubos para centrífuga de 50 mL
- 3 pipetas pasteur o serológicas
- 3 viales ámbar de 1,5 mL con tapa y septa de teflón
- 3 embudos pequeños con vástago
- 1 cubeta de plástico (recipiente para baño de hielo)
- 3 láminas de papel aluminio de 6 x 6 cm
- 1 micropipeta de 1000 μ L con 3 tips
- 1 microespátula
- Aceite crudo de SA 1 g
- Etanol al 96% R.A. 50 mL
- Ácido ascórbico 1 g
- KOH al 60% 2 mL
- Hielo 500 g
- Hexano R.A. 100 mL
- Agua desionizada 100 mL
- Sulfato de sodio anhidro R.A. 20 g
- Lana extraída con hexano 4 g
- Isopropanol (2-propanol) HPLC o R.A. 5 mL



Gráfica 3. Metodología de separación de tocoferoles, tocotrienoles y γ -orizanól desde aceite crudo de arroz.

Separación de ácidos grasos insaturados totales desde aceite crudo de arroz

En el siguiente diagrama se muestra la metodología para la separación de ácidos grasos insaturados totales desde aceite crudo de arroz (gráfica 4).



Gráfica 4. Metodología de separación de ácidos grasos insaturados totales (oléico, linoléico y linolénico) desde aceite crudo de arroz.

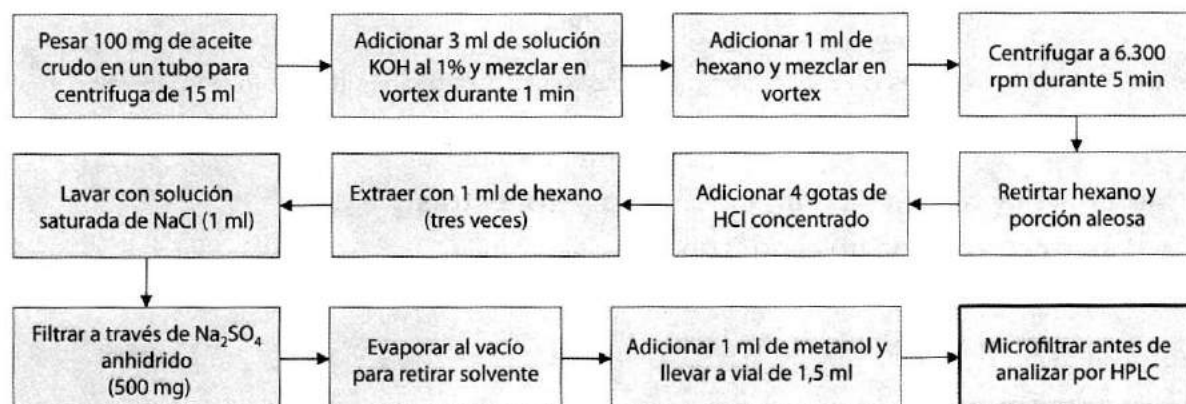
Materiales y reactivos para un ensayo (3 muestras)

- 1 balanza analítica (mínimo 3 decimales)
- 1 Aparato de digestión o calentamiento controlado
- 1 evaporador rotatorio
- 1 probeta de 10 mL
- 3 embudos de separación de 100 mL
- 3 balones fondo redondo de 100 mL con boca ES 29/32, con tapa y clip
- 6 tubos de ensayo 16x250
- 3 pinzas para refrigerante con nuez
- 1 microfiltro de 0,22 μm con jeringa
- 3 embudos pequeños con vástago largo
- 4 vasos de precipitados de 50 mL
- 3 viales ámbar de 1,5 mL con tapa y septa de teflón
- 3 pipetas pasteur (o serológicas)
- 1 micropipeta de 1000 - 5000 μL y 5 tips
- 1 gradilla (bien estable)
- 1 microespátula

- Aceite crudo de SA 500 mg
- KOH R.A. en lentejas 200 mg
- Dietilenglicol R.A. 10 mL
- Agua destilada 12 mL
- HCl concentrado R.A. 10 mL
- Hexano R.A. 5 mL
- Solución saturada de NaCl 5 mL
- Sulfato de sodio anhidro R.A. 3 g
- Lana extraída con hexano 2 g
- Metanol HPLC 10 mL

Separación de ácidos grasos insaturados libres desde aceite crudo de arroz

La siguiente gráfica muestra la metodología para la separación de ácidos grasos insaturados libres desde aceite crudo de arroz (gráfica 5).



Gráfica 5. Metodología de separación de ácidos grasos insaturados libres (oléico, linoléico y linolénico) desde aceite crudo de arroz.

Materiales y reactivos para un ensayo (3 muestras)

- 1 balanza analítica (mínimo 3 decimales)
- 1 equipo de centrifugación
- 1 evaporador rotatorio
- 1 mezclador de contacto (vortex)
- 3 embudos de separación de 100 mL
- 3 balones fondo redondo de 100 mL con boca ES 29/32, con tapa y clip
- 3 tubos para centrifuga de 15 mL con tapa

- 3 tubos para centrifuga de 50 mL
- 3 tubos de ensayo 16x250
- 3 pinzas para refrigerante con nuez
- 1 microfiltro de 0,22 μm con jeringa
- 4 vasos de precipitados de 50 mL
- 3 embudos pequeños con vástago largo
- 3 viales ámbar de 1,5 mL con tapa y septa de teflón
- 3 pipetas pasteur (o serológicas)
- 1 micropipeta de 1000 μL y 5 tips
- 1 gradilla (bien estable)
- 1 microespátula
- Aceite crudo de SA 500 mg
- KOH al 1% 12 mL
- HCl concentrado R.A. 10 mL
- Hexano R.A. 10 mL
- Solución saturada de NaCl 5 mL
- Sulfato de sódio anhidro R.A. 3 g
- Lana extraída con hexano 2 g
- Metanol HPLC 10 mL

Condiciones cromatográficas I para cuantificación de tocoferoles, tocotrienoles y γ - orizanol

1. Método de separación: cromatografía líquida de alta eficiencia - HPLC
 - a) Bomba cuaternaria con desgasificación LaChrom L – 7100 de Merck – Hitachi.
 - b) Horno de columna MetaTherm de Varian, programado a 35 °C.
 - c) Columna cromatográfica, RP C – 18, 150 x 4,6 mm, tamaño 5 μm .
 - d) Flujo de 1 mL/min. Gradiente de elución (tabla 1).

Tabla 1. Gradiente de elución para la cuantificación de antioxidantes.

TIEMPO (min)	% METANOL	% ACETONITRILO
0	50	50
5	50	50
6	100	0
15	100	0
17	50	50
30	50	50

2. Detección:

- a) Tocoferoles y tocotrienoles por fluorescencia, con excitación a 296 nm, emisión a 330 nm y tiempo de encendido del detector de 20 minutos. Detector Agilent 1100 series.
- b) γ - orizanol por U.V. a 325 nm. Detector LaChrom L – 7400 de Merck – Hitachi.

3. Adquisición de datos:

- a) Software Galaxie versión 1.9.302.530 con módulo interfase Star 800 de Varian.

4. Cantidad de muestra 20 μ L, tiempo de análisis 30 minutos.

Condiciones cromatográficas II para cuantificación de tocoferoles, tocotrienoles y γ - orizanol

1. Método de separación: cromatografía líquida de alta eficiencia – HPLC

- a) Bomba cuaternaria con desgasificación LaChrom L – 7100 de Merck – Hitachi.
- b) Horno de columna MetaTherm de Varian, programado a 35 °C.
- c) Columna cromatográfica, CHROMOLITH C18e performance monolítica, 150 x 4,6 mm, tamaño 2 μ m.
- d) Flujo de 1 mL/min. Gradiente de elución (tabla 2).

Tabla 2. Gradiente de elución para la cuantificación de antioxidantes.

TIEMPO (min)	% METANOL	% ACETONITRILO	% AGUA
0	17	76	7
6	17	76	7
7	95	5	0
16	95	5	0
17	17	76	7
20	17	76	7

2. Detección:

- a) Tocoferoles y tocotrienoles por fluorescencia, con excitación a 296 nm, emisión a 330 nm y tiempo de encendido del detector de 15 minutos. Detector Agilent 1100 series.
- b) γ - orizanol por U.V. a 325 nm. Detector LaChrom L – 7400 de Merck – Hitachi.

3. Adquisición de datos:
 - a) Software Galaxie versión 1.9.302.530 con módulo interfase Star 800 de Varian.
4. Cantidad de muestra 20 μ L, tiempo de análisis 20 minutos.

Condiciones cromatográficas I para cuantificación de ácidos grasos insaturados (oléico, linoléico y linolénico) libres y totales

1. Método de separación: cromatografía líquida de alta eficiencia - HPLC
 - a) Bomba cuaternaria con desgasificación LaChrom L – 7100 de Merck – Hitachi.
 - b) Horno de columna MetaTherm de Varian, programado a 35 °C.
 - c) Columna cromatográfica, RP C – 18, 150 x 4,6 mm, tamaño 5 μ m.
 - d) Flujo de 1 mL/min. Elusión isocrática con mezcla Acetonitrilo – Ácido Acético* (98:2)
*La concentración del ácido acético es del 1% en agua

2. Detección:
 - a) Detector LaChrom L – 7400 de Merck – Hitachi y Longitud de onda 201 nm (U.V.).
3. Adquisición de datos:
 - a) Software Galaxie versión 1.9.302.530 con módulo interfase Star 800 de Varian.
4. Cantidad de muestra 20 μ L, tiempo de análisis 15 minutos.

Condiciones cromatográficas II para cuantificación de ácidos grasos insaturados (oléico, linoléico y linolénico) libres y totales

1. Método de separación: cromatografía líquida de alta eficiencia - HPLC
 - a) Bomba cuaternaria con desgasificación LaChrom L – 7100 de Merck – Hitachi.
 - b) Horno de columna MetaTherm de Varian, programado a 35 °C.
 - c) Columna cromatográfica, CHROMOLITH C18e performance monolítica, 150 x 4,6 mm, tamaño 2 μ m.
 - d) Flujo de 1 mL/min. Elusión isocrática con mezcla Acetonitrilo – Agua – Ácido Acético* (90:4:6).

*La concentración del ácido acético es del 1% en agua.

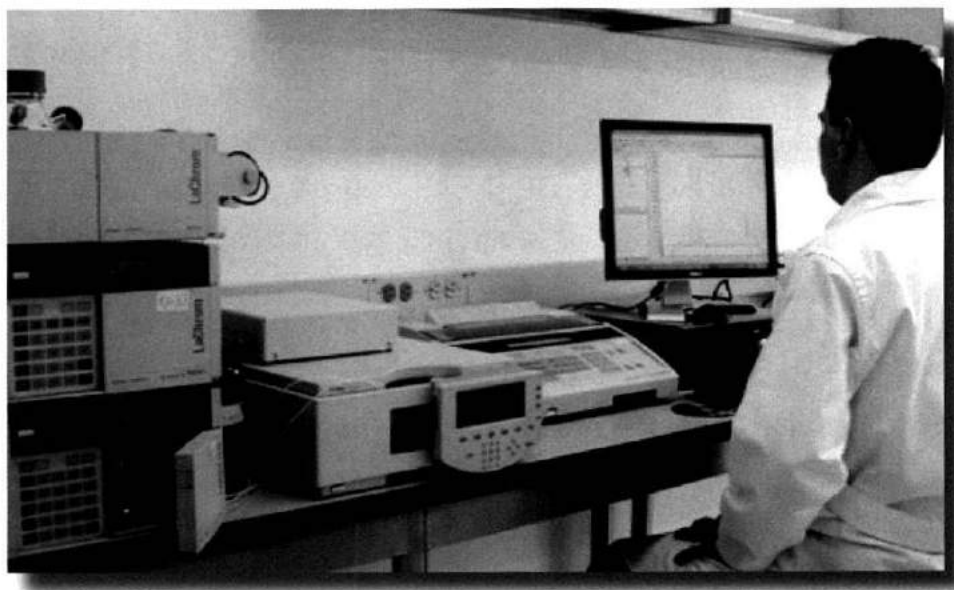
2. Detección:

- a) Detector LaChrom L – 7400 de Merck – Hitachi y Longitud de onda 201 nm (U.V).

3. Adquisición de datos:

- a) Software Galaxie versión 1.9.302.530 con módulo interfase Star 800 de Varian.

4. Cantidad de muestra 20 μ L, tiempo de análisis 10 minutos.



Cromatógrafo HPLC. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano

Curvas de calibración para tocoferoles, tocotrienoles y γ -orizanol

Abreviaturas

Conc.: concentración.

FD: factor de dilución.

HPLC: cromatografía líquida de alta eficiencia.

N: nivel.

V: volumen.

1. Curva de calibración tocoferol y tocotrienoles.

- a) Concentraciones propuestas para los niveles de la curva de calibración de tocoferol y tocotrienoles (tabla 3).

Tabla 3. Concentraciones de los niveles en la curva de calibración.

Patrón	Concentración ($\mu\text{g}/\text{ml}$)				
	N5	N4	N3	N2	N1
δ -tocotrienol	16,8	8,4	4,2	2,1	1,3
α -tocotrienol	30,3	15,2	7,6	3,8	2,4
α -tocoferol	23,3	11,7	5,8	2,9	1,9

b) Preparación curva de calibración.

- ✓ Preparar una solución stock de concentración 20 mg/L de Tocomin, disuelto en isopropanol HPLC. Agitar hasta disolver. Almacenar a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- ✓ A partir de la solución stock, preparar los niveles de las diferentes concentraciones de la siguiente manera (gráfica 6):

N5→Tomar 12 μL de la solución stock de Tocomin (preparada por Ruben) y añadir 288 μL de isopropanol HPLC (Volumen total 300 μL).

N4→Tomar 100 μL de la solución N5 y añadir 100 μL de isopropanol HPLC (Volumen total 200 μL).

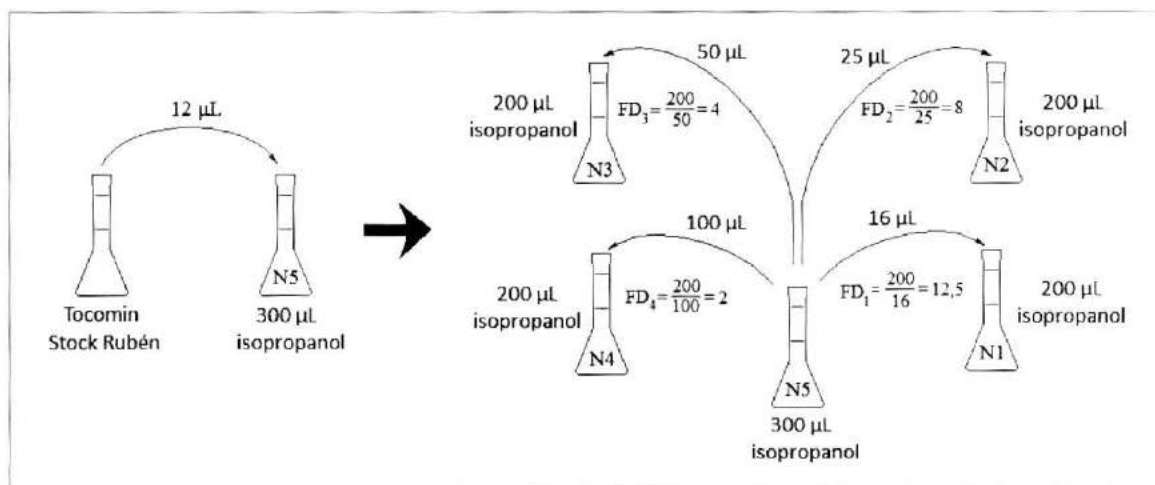
N3→Tomar 50 μL de la solución N5 y añadir 150 μL de isopropanol HPLC (Volumen total 200 μL).

N2→Tomar 25 μL de la solución N5 y añadir 175 μL de isopropanol HPLC (Volumen total 200 μL).

N1→Tomar 16 μL de la solución N5 y añadir 184 μL de isopropanol HPLC (Volumen total 200 μL).

Todos los niveles se preparan con isopropanol HPLC.

En la siguiente gráfica se ejemplifica la preparación de los niveles mencionados (gráfica 6).

**Gráfica 6.** Preparación curva de calibración tocoferol y tocotrienoles.

- ✓ Recalcular la concentración de δ -tocotrienol, α -tocotrienol y α -tocoferol en N5 preparado, como se muestra a continuación para cada una de los compuestos:

$$\text{Conc. } \delta \text{ - tocotrienol } (\mu\text{g/mL}) = \frac{\text{Área N5}}{15708}$$

$$\text{Conc. } \alpha \text{ - tocotrienol } (\mu\text{g/mL}) = \frac{\text{Área N5}}{4629,4}$$

$$\text{Conc. } \alpha \text{ - tocoferol } (\mu\text{g/mL}) = \frac{\text{Área N5}}{8128,4}$$

- ✓ A partir de la concentración de los compuestos en el N5, calcular el contenido de δ -tocotrienol, α -tocotrienol y α -tocoferol en cada uno de los niveles como se muestra a continuación:

$$\text{N4} \left\{ \begin{array}{l} \text{Conc. } \alpha \text{ - tocotrienol N4 } (\mu\text{g/mL}) = \frac{\text{Conc. N5 } (\mu\text{g/mL})}{\text{FD}_4} \\ \text{Conc. } \alpha \text{ - tocotrienol N4 } (\mu\text{g/mL}) = \frac{\text{Conc. N5 } (\mu\text{g/mL})}{\text{FD}_4} \\ \text{Conc. } \alpha \text{ - tocoferol N4 } (\mu\text{g/mL}) = \frac{\text{Conc. N5 } (\mu\text{g/mL})}{\text{FD}_4} \end{array} \right.$$

$$\text{N3} \left\{ \begin{array}{l} \text{Conc. } \alpha \text{ - tocotrienol N3 } (\mu\text{g/mL}) = \frac{\text{Conc. N5 } (\mu\text{g/mL})}{\text{FD}_3} \\ \text{Conc. } \alpha \text{ - tocotrienol N3 } (\mu\text{g/mL}) = \frac{\text{Conc. N5 } (\mu\text{g/mL})}{\text{FD}_3} \\ \text{Conc. } \alpha \text{ - tocoferol N3 } (\mu\text{g/mL}) = \frac{\text{Conc. N5 } (\mu\text{g/mL})}{\text{FD}_3} \end{array} \right.$$

$$\text{N2} \left\{ \begin{array}{l} \text{Conc. } \alpha \text{ - tocotrienol N2 } (\mu\text{g/mL}) = \frac{\text{Conc. N5 } (\mu\text{g/mL})}{\text{FD}_2} \\ \text{Conc. } \alpha \text{ - tocotrienol N2 } (\mu\text{g/mL}) = \frac{\text{Conc. N5 } (\mu\text{g/mL})}{\text{FD}_2} \\ \text{Conc. } \alpha \text{ - tocoferol N2 } (\mu\text{g/mL}) = \frac{\text{Conc. N5 } (\mu\text{g/mL})}{\text{FD}_2} \end{array} \right.$$

$$\text{N1} \left\{ \begin{array}{l} \text{Conc. } \alpha \text{ - tocotrienol N1 } (\mu\text{g/mL}) = \frac{\text{Conc. N5 } (\mu\text{g/mL})}{\text{FD}_1} \\ \text{Conc. } \alpha \text{-tocotrienol N3 } (\mu\text{g/mL}) = \frac{\text{Conc. N5 } (\mu\text{g/mL})}{\text{FD}_1} \\ \text{Conc. } \alpha \text{ - tocoferol N1 } (\mu\text{g/mL}) = \frac{\text{Conc. N5 } (\mu\text{g/mL})}{\text{FD}_1} \end{array} \right.$$

Los valores de los factores de dilución (FD) para cada uno de los niveles se encuentran en la Gráfica 6.

2. Curva de calibración γ -orizanol

- a) Concentraciones propuestas para los niveles de la curva de calibración de γ -orizanol (tabla 4).

Tabla 4. Concentraciones de los niveles en la curva de calibración.

Patrón	Concentración ($\mu\text{g}/\text{ml}$)					
	Stock	N5	N4	N3	N2	N1
γ -orizanol	2790	1395	698	349	174	87

- b) Preparación curva de calibración.

- ✓ Preparar una solución stock de concentración 2790 $\mu\text{g}/\text{mL}$ de γ -orizanol, de la siguiente manera:

Pesar 0,0279 gramos del estándar de γ -orizanol, y disolver en 10 mL de isopropanol HPLC. Agitar hasta disolver todo el sólido. Almacenar a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

- ✓ Recalcular la concentración de la solución stock de γ -orizanol preparada con el peso obtenido:

$$\text{Conc. } \gamma \text{ - orizanol } (\mu\text{g}/\text{mL}) = \frac{\text{Peso } \gamma \text{ - orizanol (g)}}{\text{Volumen solución (mL)}} * \frac{1000(\text{mg})}{1(\text{g})} * \frac{1000(\mu\text{g})}{1(\text{mg})}$$

- ✓ A partir de la solución stock, preparar los niveles de las diferentes concentraciones, como se describe a continuación (gráfica 7):

N5→Tomar 100 μl de la solución stock de γ -orizanol y añadir 100 μL de isopropanol HPLC (Volumen total 200 μl).

N4→Tomar 100 μl de la solución N5 de γ -orizanol y añadir 100 μL de isopropanol HPLC (Volumen total 200 μl).

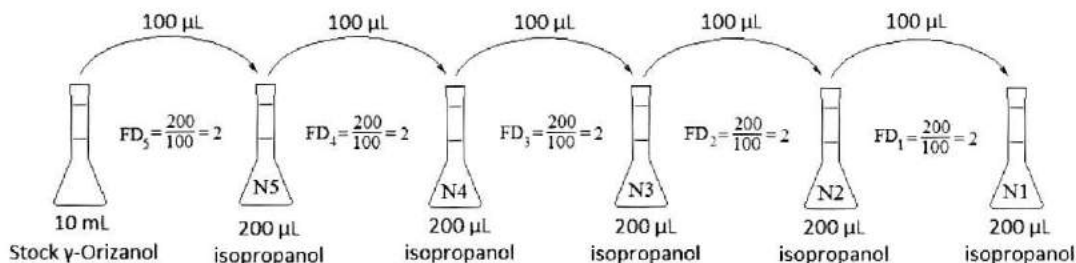
N3→Tomar 100 μl de la solución N4 de γ -orizanol y añadir 100 μl de isopropanol HPLC (Volumen total 200 μl).

N2→Tomar 100 μl de la solución N3 de γ -orizanol y añadir 100 μl de isopropanol HPLC (Volumen total 200 μl).

N1→Tomar 100 μl de la solución N2 de γ -orizanol y añadir 100 μl de isopropanol HPLC (Volumen total 200 μl).

Todos los niveles se preparan con isopropanol HPLC.

A continuación se ejemplifica la preparación de los niveles para la curva de calibración del γ -orizanol (gráfica 7).



Gráfica 7. Esquema de preparación de la curva de calibración γ -orizanol.

Recalcular la concentración de todos los niveles preparados de γ -orizanol:

Los valores de los factores de dilución (FD) para cada uno de los niveles se encuentran en la gráfica 7.

$$\text{Conc. } \gamma \text{ - orizanol N5 (}\mu\text{g/mL)} = \frac{\text{Conc. Stock}(\mu\text{g/mL})}{\text{FD}_5}$$

$$\text{Conc. } \gamma \text{ - orizanol N4 (}\mu\text{g/mL)} = \frac{\text{Conc. N5}(\mu\text{g/mL})}{\text{FD}_4}$$

$$\text{Conc. } \gamma \text{ - orizanol N3 (}\mu\text{g/mL)} = \frac{\text{Conc. N4}(\mu\text{g/mL})}{\text{FD}_3}$$

$$\text{Conc. } \gamma \text{ - orizanol N2 (}\mu\text{g/mL)} = \frac{\text{Conc. N3}(\mu\text{g/mL})}{\text{FD}_2}$$

$$\text{Conc. } \gamma \text{ - orizanol N1 (}\mu\text{g/mL)} = \frac{\text{Conc. N2}(\mu\text{g/mL})}{\text{FD}_1}$$

CONCLUSIONES

Se logró separar y cuantificar los antioxidantes y ácidos grasos de interés, utilizando metodologías por HPLC.

Referencias bibliográficas

- Chen, M-H.; Bergman, C.J. A rapid procedure for analyzing rice bran tocopherol, tocotrienol and γ -orizanol contents. *Journal of Food Composition and Analysis* (2005), 18, 139-151.
- Fang, N.; Yu, S.; Badger, T.M. Characterization of triterpene alcohol and sterol ferulates in rice bran using LC-MS/MS. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, (2003), 51, 3260-3267.
- FAO/OMS. Consulta FAO/OMS de expertos sobre grasas y aceites en la nutrición humana. FAO, Roma, 1997, p. 124.
- Hu, W.; Wells, J.H.; Shin, T-S.; Godber, S. Comparison of isopropanol and hexane from extraction of vitamin E and orizanol from stabilized rice bran. *Journal of American Oils Chemists' Society*, (1996), 73, 1653-1656.
- Parks, E.; Traber, M.G. Mechanisms of vitamin E regulation: Research over the past decade and focus on the future. *Antioxidants & Redox Signaling* (2000), 3, 405-412.
- Pollack R, Morse D. Radicales libres y antioxidantes: correlacion con las enfermedades cronicas y el envejecimiento. *International J of Psychosomatic* 1990; 35: 1-4.
- Shin, T-S.; Godber, S. Changes of endogenous antioxidants and fatty acid composition in irradiated rice bran during storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, (1996), 44, 567- 573.
- Yu, S.; Nehus, Z.T.; Badger, T.M.; Fang, N. Quantification of vitamin E and γ orizanol components in rice germ and bran. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, (2007), 55, 7308-7313.

CAPÍTULO 2

CLASIFICACIÓN DEL SALVADO DE ARROZ DE CADA ETAPA DE PULIDO DE ACUERDO CON LA CALIDAD ENCONTRADA DEL PRODUCTO (ANÁLISIS COMPOSICIONAL)

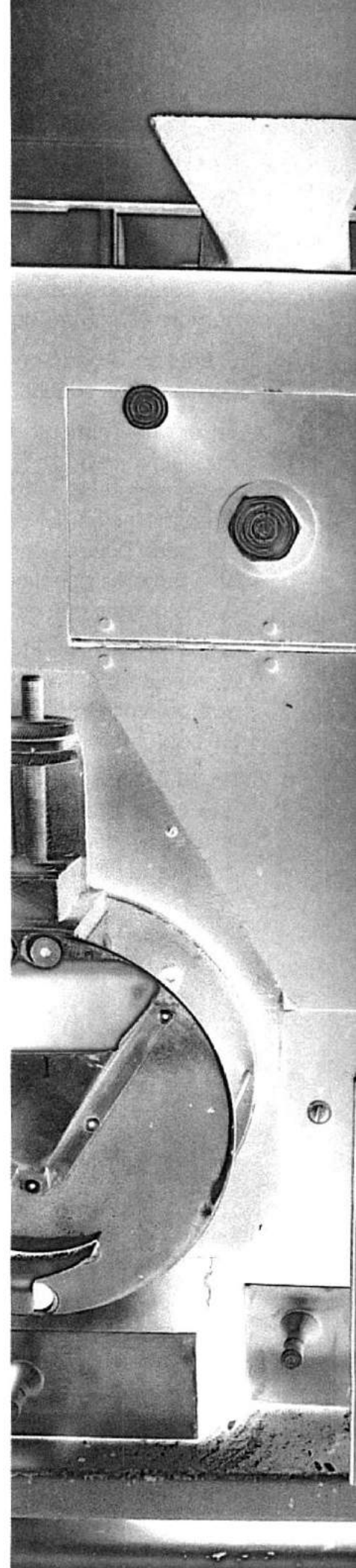
Estudio de la influencia de la variedad y la etapa de pulido
en la calidad nutricional y funcional del SA.

Parámetros de estudio:

Contenido proteico, humedad, cenizas, fibra dietaria,
contenido graso, capacidad antioxidante, concentración de
tocoferoles, tocotrienoles y *gamma*-orizanól.

Autores

Leslie Dayana López
Hernán Felipe Ovalle



INTRODUCCIÓN

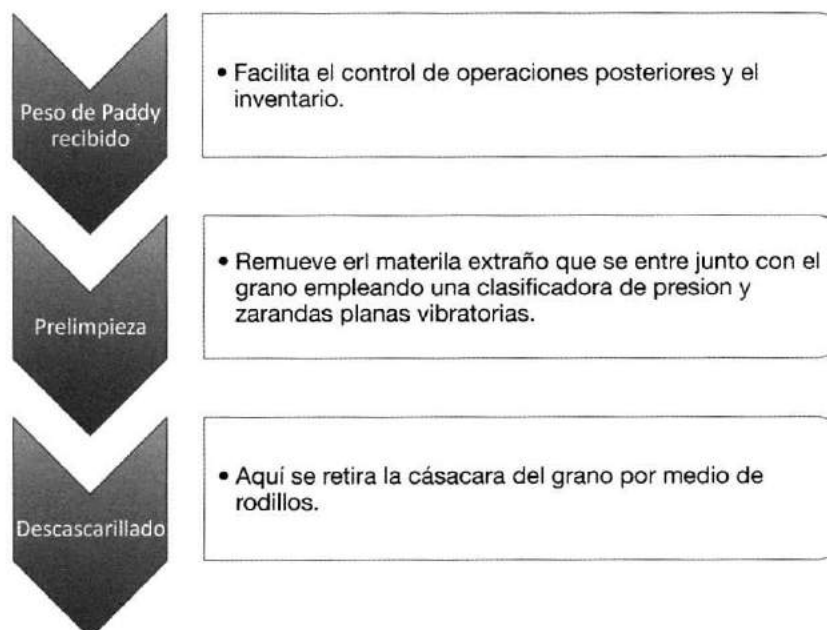
En la búsqueda permanente de la calidad y la productividad en los cultivos arroceros, en los centros de investigación de todo el mundo surgen continuamente nuevas variedades de arroz que se diferencian entre sí por su tamaño, su resistencia a plagas, sus características culinarias y su denominación (que se refiere al país de origen o al nombre del centro de investigación donde fueron creadas), entre otros aspectos.

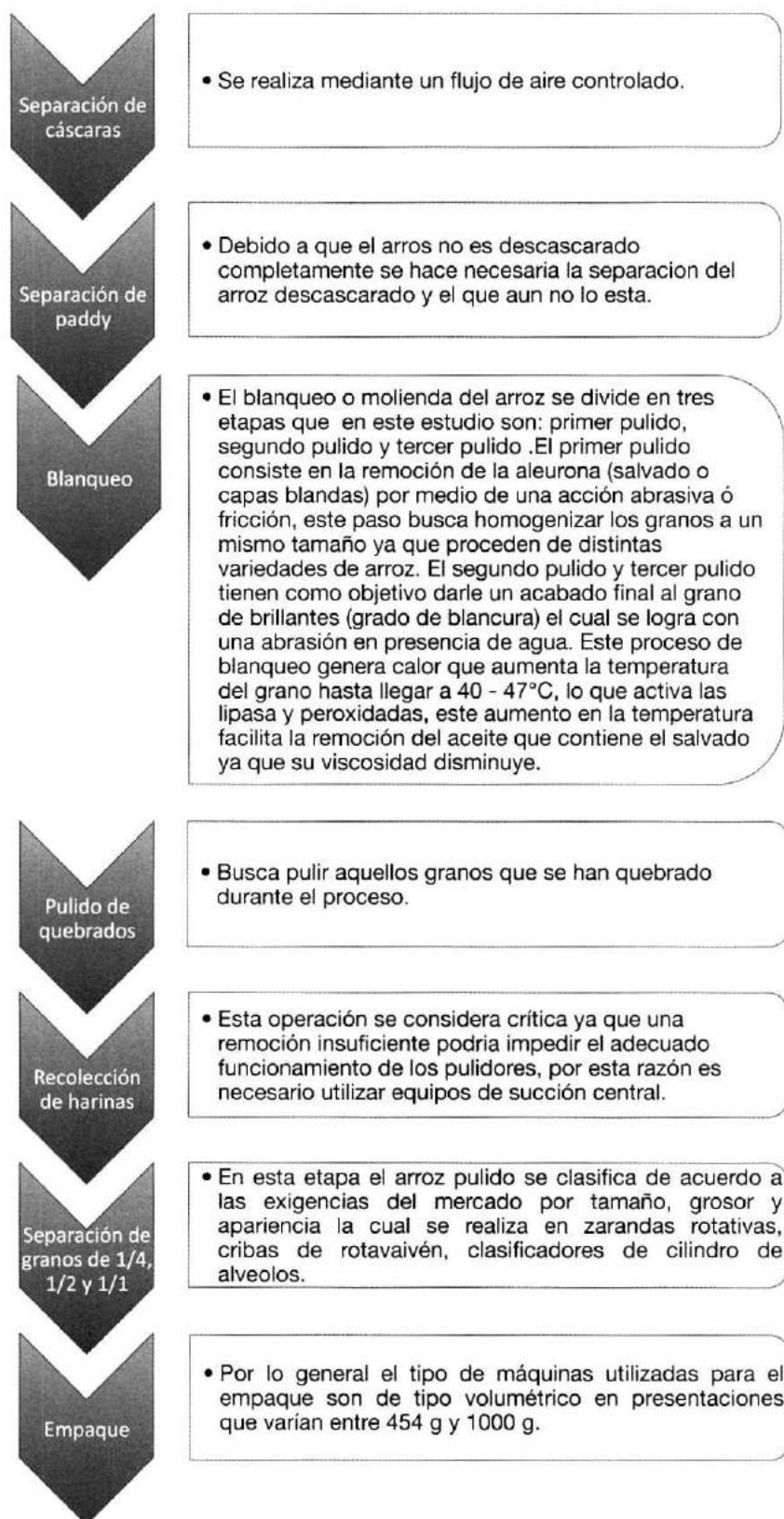
El ente encargado de las investigaciones para las variedades de arroz en Colombia es Fedearroz, el cual ha implementado más de 50 variedades cultivadas en todo el país.

En el departamento del Tolima se cultivan principalmente las variedades Cimarrón Barinas, Fedearroz 50 y Fedearroz 60; estas fueron escogidas para desarrollar el presente trabajo. El estudio de dichas variedades genera una información valiosa en la caracterización del SA colombiano debido a que la química y el contenido nutricional del grano pueden variar de forma considerable entre variedades. Esto puede atribuirse a factores genéticos, al espesor de las capas anatómicas, al tamaño y a la forma de los granos que están influenciados a su vez por factores ambientales, el grado de la molienda, la resistencia a la rotura del grano y a la abrasión (Houston, 1972).

La molienda del arroz incluye una serie de procesos que dependen del tipo de arroz que se procese, las características de la demanda, las circunstancias económicas y las costumbres y tradiciones de la zona.

Por lo general, el arroz comercial es el resultado de un proceso de elaboración en el que se desprende por fricción la cascarilla y el salvado. En la segunda molienda del arroz se obtiene el subproducto con mayor valor nutricional, el SA. Para mayor claridad por favor observe el siguiente diagrama (gráfica 8)





Gráfica 8. Diagrama de bloques de procesamiento de arroz blanco (Castillo, 1999).

En la mayoría de molinos colombianos, se realiza una etapa de pulido (abrasión seca) y dos etapas de polichado (abrasión húmeda). Estas tres corrientes de SA son mezcladas y almacenadas para su posterior comercialización.

El germen, el tegmen y la aleurona (capas que constituyen el SA) son ricos en grasa y proteínas; la celulosa abunda en el pericarpio y en el germen del grano de arroz como constituyente estructural de las paredes celulares, asimismo tiene interés como aporte de fibra dietética. Además contiene una cantidad importante de vitaminas y minerales en comparación con el arroz comercial, todo esto hace que el SA pueda ser quizás el subproducto de mayor interés en la industria arrocera por su valor potencial en la alimentación humana.

Debido a las dificultades de las operaciones de molienda, venta y almacenamiento, no se le había prestado atención suficiente a este subproducto, no obstante en los últimos años se ha incrementado el desarrollo de investigaciones para la caracterización química del SA, con el fin de aprovecharlo a escala industrial.

En el S.A, se caracteriza por su alto contenido en ácidos grasos insaturados (linoléico, linolénico y oléico) y antioxidantes naturales (Orthofer, 1996) (tocoferoles, tocotrienoles) y γ -orizanól siendo este último exclusivo del SA. Cabe resaltar que todos estos compuestos se encuentran contenidos en el aceite.

Los antioxidantes en la salud humana son muy importantes debido a que pueden anular los efectos perjudiciales de los radicales libres en las células y disminuyen la posibilidad de contraer cáncer, enfermedades cardíacas y algunas otras neurológicas (Huang *et al.*, 2005).

Por lo tanto, el SA se adapta a las exigencias actuales del sector alimenticio, que no solo busca satisfacer la necesidad de alimentarse, sino también provee una protección o mejoría de la salud del consumidor.

62942

ESTUDIO DEL EFECTO DE LA VARIEDAD DE ARROZ Y LA ETAPA DE PULIDO EN LA CALIDAD NUTRICIONAL DEL SALVADO DE ARROZ COLOMBIANO

Para el presente trabajo se realizó la cuantificación de proteínas, fibra dietaria, cenizas, humedad, contenido graso y capacidad antioxidante para tres variedades de arroz: *Cimarrón Barinas*, *Fedearroz 50* y *Fedearroz 60*, en dos etapas de proceso y para una mezcla de SA obtenida en tres etapas de pulido de un proceso industrial.

MATERIALES Y MÉTODOS

Toma de muestra de variedades para pulido en laboratorio

Las muestras de arroz paddy de las variedades *Cimarrón Barinas*, *Fedearroz 50* y *Fedearroz 60* fueron recolectadas en el molino de Arroz Diana ubicado en el Espinal,

Tolima. Para la obtención del SA por variedad se molieron los granos en molino tipo Granel® CL-100 a escala piloto de 100 g/min de capacidad en los laboratorios de la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano.

Las condiciones de molienda se mantuvieron constantes en todos los casos y las muestras de salvado recolectadas en cada una de las dos etapas de pulido se pesaron y almacenaron al vacío a -20 °C, hasta su análisis.

Toma de muestra de salvado en tres etapas de pulido obtenido en fábrica

El laboratorio de control de calidad de Arroz Diana (planta Espinal, Tolima) adoptó los protocolos de trabajo de la Military Standard – USA, (Handbooks y Standards Related to Reliability, 1963) en lo referente a la toma y procesamiento de muestras. Aplicando estos protocolos, las muestras de laboratorio que se obtienen son representativas de la unidad de carga que ingresa a la planta y Homogéneas en su composición. Por lo tanto, en la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano se estableció que 500 gramos de SA (por muestra) eran suficientes para el análisis bromatológico y capacidad antioxidante, por otra parte para la evaluación del salvado industrial se tomó SA de forma independiente en las tres etapas de pulido en el proceso. Las muestras se sellaron al vacío y fueron transportadas a una temperatura de -50 °C en hielo seco a los laboratorios de la Universidad, donde permanecieron congeladas a -200 °C hasta su análisis.

Evaluación del efecto de la variedad y la etapa de pulido en la composición del salvado de arroz a nivel de laboratorio

Los factores considerados en la evaluación fueron: variedad de arroz y la etapa de pulido y las variables de repuesta: los componentes nutricionales (contenido proteico, fibra dietaria, contenido graso, cenizas, humedad) y capacidad antioxidante. La tabla 5 muestra las variables de proceso y la nomenclatura utilizada para la evaluación de los datos obtenidos.

Tabla 5. Variedades y pulidos analizados.

Variedad	PULIDO	
	PU1	PU2
Cimarrón Barinas	X	X
Fedearroz 50	X	X
Fedearroz 60	X	X

PU1: pulido 1 laboratorio **PU2:** pulido 2 laboratorio

Las muestras se tomaron por triplicado y se analizaron para los diferentes componentes con base en la metodología que se describe en la sección "Análisis de componentes".

Evaluación del efecto de pulido en la composición de muestras recolectadas a nivel industrial

La etapa de pulido se tomó como variable independiente. Los componentes nutricionales (contenido proteico, fibra dietaria, contenido graso, cenizas, humedad) y la capacidad antioxidante, como variables de respuesta.

A continuación en la tabla 6 se muestran las variables de proceso y la nomenclatura utilizada para la evaluación de los datos obtenidos.

Tabla 6. Pulidos en el proceso industrial.

SALVADO INDUSTRIAL	
Etapa de pulido	Pulido
PPU1	X
PPU2	X
PPU3	X

PPU1: Planta Pulido 1 **PPU2:** Planta Pulido 2 **PPU3:** Planta Pulido 3

Se tomaron muestras por triplicado y fueron analizadas para los diferentes componentes con base en la metodología que se describe en la siguiente sección.

Análisis estadístico

Todos los datos obtenidos se sometieron a la prueba de normalidad, para luego realizar el análisis de varianza, ANOVA multifactorial para una probabilidad $P \leq 0,05$ empleando el paquete estadístico Statgraphics®, versión 5.1.

Análisis de componentes

Cuantificación de proteína

Se empleó el método Kjeldahl, el cual permite la estimación del contenido de nitrógeno total y se utilizó como referencia la AOAC, método 945.18 –B Modificado. Se pesaron 0,6 g con aproximación al miligramo de salvado desengrasado. El porcentaje de nitrógeno total se determinó a partir las siguientes ecuaciones (1) (2).

$$\% \text{ nitrógeno} = \frac{\text{Vol HCL} * 14 \text{ equ nitrógeno} * \text{NHCL}}{1000 * \text{mg de muestra}} \quad (1)$$

$$\% \text{ proteína} = \% \text{ nitrógeno} * 6.25 \quad (2)$$

^ Coeficiente proteico para cereales (FAO, 1994)

Cuantificación de fibra dietaria

Se usó como referencia el método oficial 985.29 (Enzymatic-Gravimetric Method) AOAC 1990, como muestra se tomó SA desengrasado y secado, las digestiones enzimáticas fueron realizadas con alfa-amilasa, proteasa y amiloglucosidasa, se utilizaron baños termostatados para mantener temperaturas de 95°C y 60°C y la filtración se realizó en un equipo de filtración al vacío para la determinación de fibra dietaria (CSF6 Velp Científica®). Se determinaron proteína y cenizas del residuo obtenido luego de la filtración; la proteína fue cuantificada siguiendo el método Kjeldhal y cenizas por método de AOAC 7.009. La fibra dietaria total se determinó por la siguiente ecuación (3).

$$\%TDF = \frac{mg\ residuo - ((SP + SA) * mg\ blanco)}{mg\ muestra} * 100 \quad (3)$$

Siendo:

SP: mg de proteína

SA: mg de cenizas

Blanco= 1,7 mg (para los ensayos presentes).

Los datos se expresan sobre muestra seca, g de fibra/100 g de salvado seco.

Cuantificación de cenizas

Se siguió el método de ceniza total según el método oficial 7.009 (AOAC, 1984) modificado. Se utilizaron muestras de SA desengrasadas en crisoles de porcelana que fueron introducidas en una mufla a 600°C durante 4 horas. Los datos se expresan sobre muestra seca, g de ceniza/100 g de salvado seco.

Cuantificación de grasa

Para la determinación del contenido graso se siguió el método modificado (Hu *et al.*, 1996). Previamente se tamizó el SA utilizando una malla de 850 µm, se adicionó isopropanol precalentado y se utilizó un baño termostatado para mantener una temperatura de 60°C. Para la recuperación del aceite del SA se filtró con una bomba de vacío y filtro cualitativo Boeco® Germary. Además, se evaporó el solvente del aceite recuperado utilizando un rotavapor Büchner ® a una temperatura de 400°C y la muestra de aceite se enfrió a temperatura ambiente. El porcentaje de grasa se calculó con la siguiente ecuación (4).

$$\% de\ grasa = \frac{Peso\ de\ grasa}{Peso\ total\ de\ muestra} * 100 \quad (4)$$

Los datos se expresan sobre muestra seca, g de aceite/100 g de salvado seco.

Cuantificación de humedad

Para la determinación de humedad se utilizó un equipo de referencia Metler Toledo HB43-S®. El salvado previamente se tamizó utilizando una malla de 850 µm, se tomó un peso de muestra entre 2,6 - 3,5 g, se seca a 105 °C y se reporta la humedad en porcentaje g/100 g de muestra fresca.

Análisis de capacidad antioxidante. Método ABTS

Se utilizó la metodología desarrollada por Re *et al.*, descrita por Kuskoski *et al.* (Kuskoski M. *et al.*, 2005). El radical ABTS⁺ se obtuvo tras la reacción de ABTS (7 mM) con persulfato potásico (2,45 mM concentración final) incubados a temperatura ambiente y en oscuridad por un período de 16 horas. Una vez formado el radical ABTS⁺ se diluyó con etanol al 95% hasta obtener un valor de absorbancia de 0,70 (±0,1) a 754 nm en un espectrofotómetro Jenway® 6505 UV/VIS. Luego se tomó la muestra de aceite de SA y se realizó una dilución con 0,5 ml de isopropanol hasta tener una solución homogénea; se tomaron 1,5 ml de radical de ABTS y se añadieron a 30 µl de la muestra, en oscuridad. Posteriormente, se esperó a que trascurrieran 7 minutos y se determinó la absorbancia a una longitud de onda de 754 nm a temperatura ambiente (19°C). El antioxidante sintético de referencia Trolox se ensayó a una concentración de entre 0,0005 y 0,002 mg/ml para construir una curva patrón. Los resultados están expresados en TEAC mmol de Trolox/kg de aceite de arroz.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto de la variedad y la etapa de procesamiento en la composición nutricional del salvado de arroz

Se estudió el efecto de cada una de las tres variedades de arroz sobre cada componente nutricional en las respectivas etapas de pulido.

Contenido de grasa

En la tabla 7 se encuentra el promedio y la desviación estándar de los contenidos de grasa para cada variedad y cada etapa de proceso expresados como g/100 g de salvado seco.

Tabla 7. Contenido de grasa en el SA por variedad en las respectivas etapas de proceso.

Variedad	GRASA g/100 g muestra seca	
	Pulido 1	Pulido 2
Cimarrón Barinas	19,7 ± 2,34	17,7 ± 3,76
Fedearroz 50	22,9 ± 2,13	19,7 ± 2,87
Fedearroz 60	19,1 ± 0,85	17,9 ± 1,44

Al aplicarse la evaluación estadística (ANOVA) del efecto de la variedad y la etapa de proceso sobre el contenido de grasa, se encuentra que la variedad no tiene un efecto estadísticamente significativo (p-valor 0,0934) sobre el contenido de grasa y que la etapa del proceso tampoco influye significativamente en el contenido de grasa de las muestras (p-valor 0,0712) con un nivel de confianza del 95%.

Contenido de proteína

En la tabla 8 se encuentran el promedio y la desviación estándar de los contenidos de proteína para cada variedad y etapa de proceso expresados como g/100 g de salvado seco.

Tabla 8. Contenido de proteína en el SA por variedad en las respectivas etapas de proceso.

Variedad	PROTEÍNA g/100 g muestra seca	
	Pulido 1	Pulido 2
Cimarrón Barinas	17,1 ± 0,57	17,6 ± 1,30
Fedearroz 50	18,4 ± 0,52	15,9 ± 0,20
Fedearroz 60	13,1 ± 0,31	16,9 ± 0,57

Cuando se aplica la evaluación estadística (ANOVA) del efecto de la variedad y la etapa de proceso sobre el contenido de proteína se encuentra que la variedad tiene un efecto estadísticamente significativo sobre el contenido de proteína en el salvado (p-valor 0,0399); sin embargo, la etapa de proceso no influye en el contenido proteico de las muestras (p-valor 0,4198).

El porcentaje de proteína cuantificado para las tres variedades obtenidas en el departamento del Tolima son comparables con las reportadas en la literatura, como los estudios realizados en Venezuela de otras variedades cultivadas en dicho país, que arrojan un promedio de contenido de proteína de entre 11,3% y 13% en base seca (Pacheco, 2001). Por otra parte, en Malasia el contenido de proteína oscila entre 8,5% y 12,6%, expresado en peso húmedo (Abdul *et al.*, 2007), lo que muestra que las variedades evaluadas son superiores en el contenido de proteína.

Contenido de cenizas

En la tabla 9 se encuentran el promedio y la desviación estándar de los contenidos de ceniza para cada variedad y etapa de proceso, expresados como g/100 g de salvado seco.

Tabla 9. Contenido de ceniza en el SA por variedad en las respectivas etapas de proceso.

Variedad	CENIZA g/100 g muestra seca	
	Pulido 1	Pulido 2
Cimarrón Barinas	9,6 ± 0,54	8,9 ± 0,40
Fedearroz 50	10,4 ± 0,45	7,8 ± 0,47
Fedearroz 60	12,8 ± 0,22	6,9 ± 0,54

Cuando se aplica la evaluación estadística (ANOVA) del efecto de la variedad y la etapa de proceso sobre el contenido de ceniza, se encuentra que la variedad no tiene un efecto estadísticamente significativo sobre el contenido de ceniza en el salvado (p-valor 0,2791); sin embargo, la etapa de proceso influye en el contenido de ceniza de las muestras (p-valor 0,000) con un nivel de confianza del 95%.

Los minerales en el grano de arroz constituyen del 1 al 3% del peso y se localizan principalmente en su pericarpio (Yúfera, 1998), por lo cual, el contenido de ceniza en el primer pulido es mayor debido a que esta es la capa más externa que envuelve al grano y la que se retira en esta operación.

Contenido de fibra dietaria

En la tabla 10 se encuentran el promedio y la desviación estándar de los contenidos de fibra dietaria para cada variedad y etapa de proceso, expresados como g/100 g de salvado seco.

Tabla 10. Contenido de fibra dietaria en el SA por variedad en las respectivas etapas de proceso.

Variedad	FIBRA DIETARIA g/100 g muestra seca	
	Pulido 1	Pulido 2
Cimarrón Barinas	30,0 ± 4,30	30,8 ± 1,96
FEDEARROZ 50	20,2 ± 3,43	24,4 ± 0,63
FEDEARROZ 60	19,9 ± 1,31	17,5 ± 0,72

Cuando se aplica la evaluación estadística (ANOVA) del efecto de la variedad y la etapa de proceso sobre el contenido de fibra dietaria se encuentra que la variedad tiene un efecto estadísticamente significativo sobre el contenido de fibra en el salvado (p-valor 0,000); sin embargo, la etapa de proceso no influye en el contenido de fibra dietaria de las muestras (p-valor 0,5163) con un nivel de confianza del 95%.

El alto contenido en fibra dietaria es debido a que la celulosa y la hemicelulosa, componentes de la fibra, abundan en el pericarpio y en el germen como constituyentes

estructurales de las paredes celulares (Othon & Sadivar, 1996). El tipo de molienda quizás afecta la cantidad de fibra dietaria presente en el SA desengrasado como se menciona en el trabajo de Slavin & Lampe (1992). Otras investigaciones presentan intervalos de entre 30% y 40% de fibra dietaria (Carroll, 1990) muy próximos a los resultados obtenidos.

Efecto de la variedad y la etapa de procesamiento en la capacidad antioxidante del aceite obtenido del salvado de arroz

En la tabla 11 se encuentran el promedio y la desviación estándar de la capacidad antioxidante para cada variedad y etapa de proceso expresados como mmol de Trolox/kg de aceite.

Tabla 11. Capacidad antioxidante del aceite extraído del SA en mmol de Trolox/kg de muestra.

Variedad	mmol TROLOX g/100 g muestra seca	
	Pulido 1	Pulido 2
Cimarrón Barinas	7,7 ± 0,66	6,6 ± 0,63
Fedearroz 50	7,5 ± 0,63	2,5 ± 0,03
Fedearroz 60	6,8 ± 0,11	5,4 ± 0,35

Cuando se aplica la evaluación estadística (ANOVA) del efecto de la variedad y la etapa de proceso sobre la capacidad antioxidante del aceite de SA se encuentra que la variedad tiene un efecto estadísticamente significativo sobre la capacidad antioxidante del salvado (p-valor 0,0004). Por otra parte, la etapa de proceso también influye en la capacidad antioxidante de las muestras (p-valor 0,0180).

La capacidad antioxidante del salvado de arroz se debe a su contenido en tocotrienoles, tocoferoles y gamma-orizanol los cuales se encuentran contenidos en el aceite; el gamma-orizanol es un componente que solo se encuentra en el aceite de arroz y es importante por la actividad antioxidante que ofrece, ya que es 10 veces mayor que la de los tocoferoles y tocotrienoles (Chen & Bergman, 2005). La variedad con mayor capacidad antioxidante es Cimarrón Barinas con 7,68 mmol/kg de muestra para la primera etapa de pulido, seguida por las variedades Fedearroz 50 y Fedearroz 60 con 7,46 mmol/kg de muestra y 6,81 mmol/kg de muestra, respectivamente. Se observó una disminución de la capacidad antioxidante para las distintas variedades en la segunda etapa de pulido, probablemente debido a efectos del proceso o efectos enzimáticos que degradan los compuestos antioxidantes.

Efecto de la etapa de procesamiento en la composición nutricional del salvado de arroz obtenido de un proceso industrial

Se estudió el efecto de la etapa de pulido para cada uno de los componentes nutricionales del SA obtenido de un proceso industrial.

Contenido de grasa

En la tabla 12 se encuentran el promedio y la desviación estándar de los contenidos de grasa para cada etapa de proceso expresados como g/100 g de salvado seco.

Tabla 12. Contenido de grasa en el SA industrial para cada etapa de proceso

SALVADO INDUSTRIAL	
Etapa de pulido	GRASA g/100 g muestra seca
PPU1	20,8 ± 0,64
PPU2	19,5 ± 0,94
PPU3	17,0 ± 2,17

Cuando se aplica la evaluación estadística (ANOVA) del efecto de la etapa de proceso sobre el contenido de grasa se encuentra que el pulido tiene un efecto estadísticamente significativo (p-valor 0,0448) sobre el contenido de grasa, con un nivel de confianza del 95%. La primera etapa de pulido presenta el mayor contenido de grasa con un 21% y se observa una disminución del contenido graso a medida que se avanza en las etapas de proceso: la segunda etapa con 20% y la tercera con 17%. Esto se debe a que la mayor fracción de grasa en el grano de arroz se encuentra en las capas externas; el epicarpio y el germen fueron removidas en la primera etapa de pulido (Othon & Serna, 1996).

Contenido de proteína

En la tabla 13 se encuentran el promedio y la desviación estándar de los contenidos de proteína para cada variedad y etapa de proceso expresados como g/100 g de salvado seco.

Tabla 13. Contenido de proteína en el SA industrial para cada etapa de proceso.

SALVADO INDUSTRIAL	
Etapa de pulido	PROTEÍNA g/100 g muestra seca
PPU1	16,7± 0,59
PPU2	12,5 ± 0,51
PPU3	11,8 ± 0,66

Cuando se aplica la evaluación estadística (ANOVA) del efecto de la etapa de proceso sobre el contenido de proteína se encuentra que el pulido tiene un efecto estadísticamente significativo (p -valor 0,0001) sobre el contenido de proteínas, con un nivel de confianza del 95%. Los valores obtenidos en las etapas de pulido se encuentran dentro del rango determinado en la evaluación por variedades. Las proteínas se encuentran en mayor proporción en las capas externas del arroz, en el endospermo y con mayor exactitud en las capas subaleurónicas, aunque también se encuentra proteínas en el germen y en la aleurona (Juliano, 1985).

Contenido de ceniza

En la Tabla 14 se encuentran el promedio y la desviación estándar de los contenidos de ceniza para cada etapa de proceso expresados como g/100 g de salvado seco.

Tabla 14. Contenido de ceniza en el SA industrial para cada etapa de proceso.

SALVADO INDUSTRIAL	
Etapa de pulido	CENIZA g/100 g muestra seca
PPU1	9,1± 0,82
PPU2	9,4 ± 0,10
PPU3	9,2 ± 0,73

Cuando se aplica la evaluación estadística (ANOVA) del efecto de la etapa de proceso sobre el contenido de ceniza se encuentra que el pulido no tiene un efecto estadísticamente significativo (p -valor 0,7642) sobre el contenido de ceniza, con un nivel de confianza del 95%. Cabe señalar que los contenidos de ceniza obtenidos en las etapas de pulido son inferiores a los reportados en la literatura para variedades cultivadas en Venezuela, las cuales se encuentran entre 9,38% y 12,31% (Pacheco *et al.*, 2002).

Contenido de fibra dietaria

En la tabla 15 se encuentran el promedio y la desviación estándar de los contenidos de fibra dietaria por etapa de proceso, expresados como g/100 g de salvado seco.

Tabla 15. Contenido de fibra dietaria en el SA industrial para cada etapa de proceso.

SALVADO INDUSTRIAL	
Etapa de pulido	FIBRA DIETARIA g/100 g muestra seca
PPU1	26,2± 0,46
PPU2	25,8 ± 1,73
PPU3	25,6 ± 1,34

Cuando se aplica la evaluación estadística (ANOVA) al efecto de la etapa de proceso sobre el contenido de fibra dietaria se encuentra que el pulido no tiene un efecto estadísticamente significativo (p -valor 0,7642) sobre el contenido de fibra, con un nivel de confianza del 95%. Tal como se vio en la evaluación por variedad, la etapa de proceso no tiene efecto en el contenido de fibra dietaria.

Efecto de la etapa de procesamiento en la capacidad antioxidante del aceite obtenido del salvado de arroz procesado industrialmente

En la tabla 16 se encuentran el promedio y la desviación estándar de la capacidad antioxidante para cada etapa de proceso del salvado procesado industrialmente expresados como mmol de Trolox/kg de aceite.

Tabla 16. Capacidad antioxidante del aceite extraído del SA procesado industrialmente en mmol de Trolox/kg de muestra.

SALVADO INDUSTRIAL	
Etapa de pulido	mmol Trolox/Kg de muestra
PPU1	8,1± 1,17
PPU2	8,7 ± 1,40
PPU3	6,6 ± 0,77

Cuando se aplica la evaluación estadística (ANOVA) al efecto de la etapa de proceso sobre la capacidad antioxidante del aceite de SA procesado industrialmente se encuentra que la etapa de proceso no tiene un efecto estadísticamente significativo sobre la capacidad antioxidante del aceite del salvado (p -valor 0,1425), con un nivel de confianza del 95%. La actividad antioxidante del aceite del SA presenta un valor mayor (8 mmol Trolox/kg de muestra) al de otros aceites como el de soya (2,20mmol Trolox/kg de muestra) y el aceite extravirgen de oliva (1,79 mmol Trolox/kg de muestra), esto probablemente se deba a su alto contenido de tocotrienoles (Rovellini *et al.*, 1997) y a la presencia del gamma-orizanol, el cual no lo contienen los otros aceites (Chen & Bergman, 2005).

CONCLUSIONES

La distribución de los componentes nutricionales en el grano de arroz es heterogénea. La concentración de los distintos contenidos no sólo depende de la variedad sino también del tipo de molienda y del grado del arroz. Aunque la variedad no parece tener un efecto significativo en la composición nutricional para algunos de los componentes, como grasa y ceniza, sí se puede reconocer a la variedad Cimarrón Barinas como una mejor fuente de proteína, fibra y compuestos antioxidantes.

El SA obtenido de las variedades Cimarrón Barinas, Fedearroz 50 y Fedearroz 60 es una fuente de nutrientes con alto valor para la salud humana debido a su alto contenido graso, fibra dietaria y proteínas. Su uso potencial en el mercado colombiano puede ser importante en la producción de aceites o en la fortificación de alimentos en la industria de pastas, panadería o cereales. Además, por ser fuente de antioxidantes, con una mezcla única de tocotrienoles, tocoferoles y γ -orizanol, se sugiere su uso en alimentos funcionales.

Referencias bibliográficas

- AOAC (1990), Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists, 15a Ed., Washington. *Cereal Foods World* 27:317-322.
- AOAC (1984), Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists, 15a Ed., Washington. *Cereal Foods World* 7:17-22.
- Azzizah, Abdul-Hamid, R. R. Raja Suliman, A. Osman, N. Saari., 2007. Preliminary study of the chemical composition of rice milling fractions satabilized by microwave heating. *Journal of food composition and analysis* (20) 627-637.
- Callejo G., María Jesús. 2002. *Industria de cereales y derivados*. Editorial Mundi Prensa. Madrid, España.
- Carroll 1990, Functional properties and applications of estabilized rice bran is barkery products. *Food techonolgy*, April, 74-76.
- Chen, M.-H., y Bergman, C. J. 2005. A rapid procedure for analyzing rice bran tocopherol, tocotrienol and orizanol contens. *Journal of food composition and analysis*, 18, 319-331.
- Consumer. es 2007. Aceite del SA, En línea disponible en: http://www.chilepotenciaalimentaria.cl/content/view/92003/Aceite_de_salvado_de_arroz.html. consultado en mayo de 2009.
- DANE, Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas de Colombia. En línea: disponible en: Consultado en Agosto de 2008. http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/ena/Bolet_Arroz_IIsem06.pdf
- Don, McCaskill y Fan Zahng. 1999. Use of rice bran oil in foods. *Food Technology*. Febrero. 53 (2): 50-53.
- FAO, 1996. Draft definition and classification of commodities W2979.
- FAO 1994. *Codex Alimentarius volumen 7. Cereals, pulses, leumes and derived products and vegetable proteins*. Pg 57.
- Handbooks and standards relates to realiability 1963. *Sampling procedures and tables for inspection by attributes*. EEUU. 16-30.
- Houston. D.F., 1972 *Rice bran and polish In: Houston, D.F.E (Ed.), Rice: Chemistry and techonology*. AACC publications, Minnesota.

- Hu, W.; Wells, J.H.; Shin, T-S.; Godber, S. Comparison of isopropanol and hexane from extraction of vitamin E and orizanol from stabilized rice bran. *Journal of American Oils Chemists' Society*, (1996), 73, 1653-1656.
- Huang, D., Ou, B., y Prior R. 2005. The chemistry behind antioxidant capacity assays. *Journal of agricultural and food chemistry*, 53, 1841 – 1856.
- Induarroz, Presentación titulada Mercado de los subproductos del arroz frente al TLC. 2007.
- Juliano, B. 1985. *Rice: Chemistry and technology*. 2ª Ed. U.S.A American Association of Cereal Chemistry: 744 p.
- Kuskoski, Martha, Asuero, Agustín, Troncoso, Ana, Mancini, Jorge, Fett, Roseane. 2005. Aplicación de diversos métodos químicos para determinar actividad antioxidante en pulpa de frutos. *Ciencia, tecnología y alimentos Campinas* 25(4) 726-732.
- Mercados Inteligentes de Proexport. En línea consultado en agosto de 2008. Disponible en: www.proexport.com.co/intelelexport/aplicacion/.
- Observatorio Agro Cadenas Colombia. En línea: disponible en: Consultado en junio 2009. http://www.florhuila.com/pagina_el%20arroz%20en%20colombia.htm.
- Othon, Sergio y Saldívar, Serna. 1996. *Química, almacenamiento e industrialización de los cereales*. Departamento de Tecnología de los alimentos ITESM- campus Monterey. A.G.T Editor.
- Orthofer, F. 1996. Rice bran oil: healthy lipid source. *Food technology*. Diciembre: 62-64.
- Pacheco, Delahaye, E. 1999. Effect of the insoluble dietary fibre from the oil palm fat-free flour on digestibility in rats. *Food chemistry* 65: 433-437.
- Pearson 1988. *Análisis químico*. Compañía Editorial Continental S.A. México.
- Pacheco, Emperatriz, Peña, José y Ortiz, Aida. 2001. Composición fisicoquímica del aceite del SA estabilizado por calor. *Agronomía Tropical* 52(2):173-185
- Rovellini, P., Azollini, M. y Cortesi, N. 1997. Tocoferolie tocotrienoli in oli e grassi vegetali mediante HPLC. *Riv. Ital. Sostanze Grasse* LXXIV: 1-5.
- Saunders, R. M., 1990. The properties of rice bran as a food stuff. *Cereal foods world* 35(7), 632-636.
- Slavin, J. L. y J. W. Lampe. 1992. Health benefits of rice bran in human nutrition. *Cereals foods world* 37(10): 760-763.
- Yúfera, Eduardo. 1998. *Química de los alimentos*. Editorial Síntesis. Madrid, España.
- Wang, M., Hettiarachchy, N. S., Qi, M., Burks, W., Siebenmorgen, T., 1999. Preparation and functional properties of rice bran protein isolate. *Journal of Agricultural and food chemistry* 47 (2) 411-416.

ESTUDIO DEL EFECTO DE LA VARIEDAD DE ARROZ Y LA ETAPA DE PULIDO EN LA CALIDAD FUNCIONAL DEL SALVADO DE ARROZ COLOMBIANO

Se estudió la concentración de tocoferoles, tocotrienoles y γ -orizanol en cada etapa de pulido (tres etapas), la mezcla de los pulidos y algunas variedades de arroz sembradas en dos regiones arroceras. Se compararon las concentraciones de antioxidantes encontradas con variedades sembradas en Pakistán y en Estados Unidos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las muestras de SA (*Oryza sativa*) analizadas en este proyecto se clasificaron en dos grandes grupos:

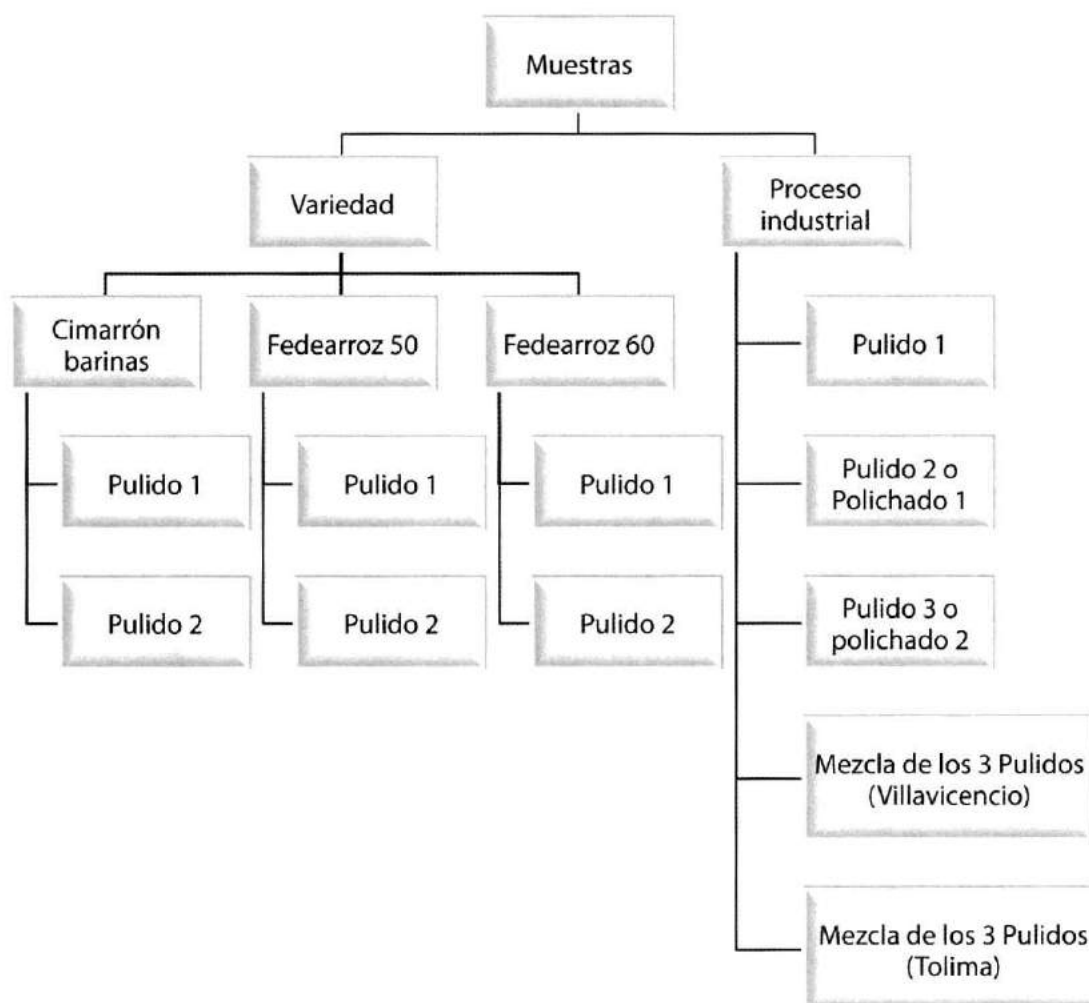
- 1. Muestras obtenidas directamente del proceso industrial:** molinos de Villavencio (Arroz del Llano) y Tolima (Arroz Diana). El material proveniente de los molinos fue clasificado como *Pulido 1*, *Pulido 2* y *Pulido 3* según su procesamiento individual y la mezcla (conjunto de pulidos) se identificó como *Mezcla de Planta*, dicha mezcla provenía de ambos molinos.
- 2. Muestras obtenidas a partir de tres variedades de arroz:** el grano de arroz entero fue sometido a dos procesos de pulimento en los laboratorios de la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano utilizando el equipo (Molino de arroz, GranEl®) en condiciones similares al proceso industrial. Las muestras de arroz se recibieron con el etiquetado de Fedearroz 50, Fedearroz 60 y Cimarrón Barrinas. Por otra parte, los pulidos fueron identificados como *Pulido 1* y *Pulido 2*.

Cabe resaltar que todas las muestras, inmediatamente después de haber sido recolectadas ya fuese en los molinos o en los laboratorios de la Universidad, fueron conservadas en empaque individual en condiciones de vacío (gráfica 9) y baja temperatura (-20 °C), (Electroluz®, H 420) hasta el momento de ser analizadas con el fin de evitar la pronta pérdida de su calidad y que tal fenómeno interviniera en los ensayos a realizarse sobre ellas.



Gráfica 9. Conservación al vacío de las muestras de SA

En la gráfica 10 se presenta un diagrama explicativo en cuanto a lo que se refiere a la toma de muestras.



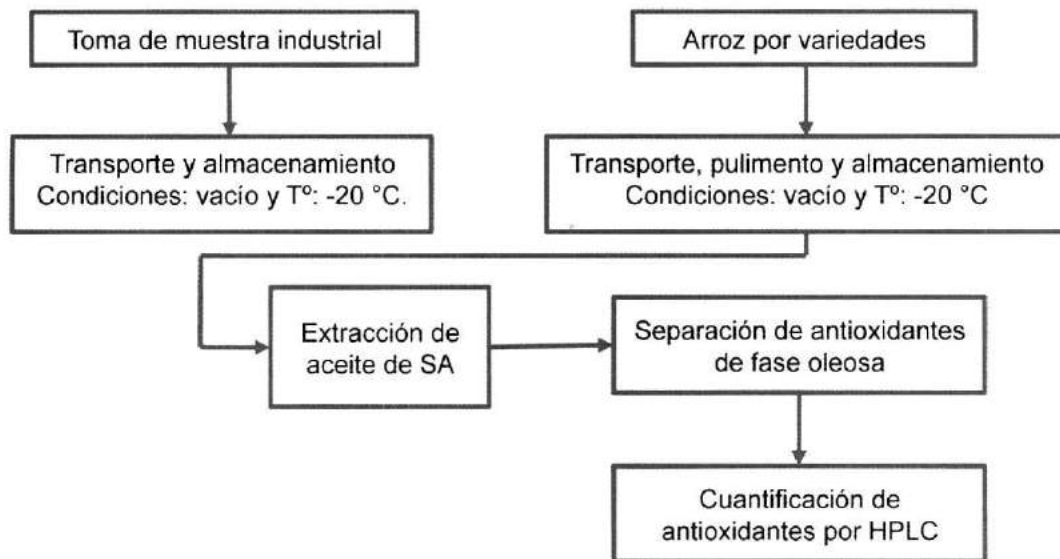
Gráfica 10. Diagrama de muestras analizadas en el proyecto.

Se analizaron once muestras, seis de las cuales pertenecían al grupo variedad y las cinco restantes, al grupo de pulidos industriales. Dicho análisis se llevó a cabo por triplicado, de modo que finalmente se trabajó sobre un total de treinta y tres muestras.

Para la cuantificación de antioxidantes presentes en las muestras fue necesario:

- ✓ Extraer el aceite crudo de SA.
- ✓ Separar los antioxidantes de la fase oleosa.
- ✓ Cuantificar los compuestos de interés (tocoferoles, tocotrienoles y γ -orizanol) por cromatografía líquida (HPLC) (Merck Hitachi LaChrom L- 7400).

La gráfica 11 muestra en resumen de los pasos llevados a cabo para la obtención de los resultados.



Gráfica 11. Metodología desarrollada para cada uno de los grupos de salvado de arroz.

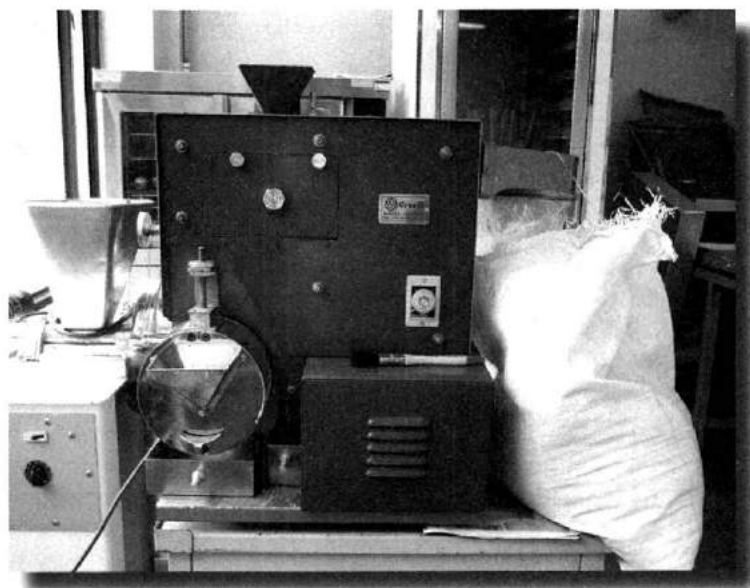
Cada una de las etapas de la metodología anteriormente descrita se detalla a continuación para un mejor entendimiento:

Toma de muestras en molinos por variedad

El arroz paddy o verde por variedad, cuya humedad inicial promedio fue de 12%, fue secado en un horno convectivo en la planta industrial, a una temperatura que oscilaba entre 38 y 40 °C. En seguida, fueron removidos piedras y tallos de las muestras por medio de una malla vibratoria, y se dispuso su transporte hacia las instalaciones de la UJTL a condiciones ambiente.

Una vez las muestras llegaron se llevó a cabo el proceso de descascarillado y remoción de la primera capa de salvado, por medio de un equipo de abrasión (gráfica 12), que remueve alrededor del 9 al 10% del peso del arroz integral inicial. Esta capa de salvado es etiquetada como Pulido 1 y se almacena en bolsas a condiciones de vacío, a -20 °C, con el fin de evitar la activación de las lipasas y peroxidasas presentes en la muestra.

Este proceso se hace una vez más. De la segunda remoción resulta una cantidad menor de salvado, equivalente a entre el 1 y el 2% en peso inicial de arroz integral, y se almacena de igual forma que el primer pulido. Esta muestra es etiquetada como Pulido 2. Los dos pulidos realizados a escala piloto en la Universidad, fueron llevados a cabo simulando las condiciones industriales.



Gráfica 12. Molino de arroz GranEl®

Toma de muestras en molinos directamente del proceso industrial

El proceso de molienda industrial consta de tres etapas de pulido (Pulido 1, Pulido 2 y Pulido 3), y el mayor porcentaje de extracción de los tres pulidos corresponde al primero. Estas tres etapas se mezclan en una misma corriente de proceso, que para este estudio se llamará mezcla de planta, este es el producto que la industria molinera comercializa como SA. Las muestras de cada etapa de pulido se obtuvieron directamente del ducto de salida de cada pulidor industrial de los molinos.

Transporte y almacenamiento

Las muestras de SA obtenidas del proceso industrial (Pulido 1, Pulido 2, Pulido 3 y Mezcla de Planta) fueron transportadas a los laboratorios de la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano en bolsas plásticas al vacío y a una temperatura de $-36\text{ }^{\circ}\text{C}$ utilizando hielo seco; se almacenaron en congeladores a una temperatura de $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta la etapa experimental.

Extracción de aceite crudo de salvado de arroz

La extracción del aceite crudo de salvado de arroz se llevó a cabo como se describe en el capítulo 1 en la gráfica 2.

Cuantificación de antioxidantes por cromatografía líquida de HPLC

La cuantificación de antioxidantes por cromatografía líquida para tocoferoles, tocotrienoles y γ -orizanol se realizó bajo las condiciones especificadas en el capítulo 1 en condiciones cromatográficas para cuantificación de tocoferoles, tocotrienoles y γ -orizanol. Con un gradiente de elución presentado en la siguiente tabla (tabla 17).

Tabla 17. Gradiente de elución para cuantificación de antioxidantes.

Tiempo (min)	% Metanol	% Acetonitrilo
0	50	50
5	50	50
15	95	5

Análisis estadístico

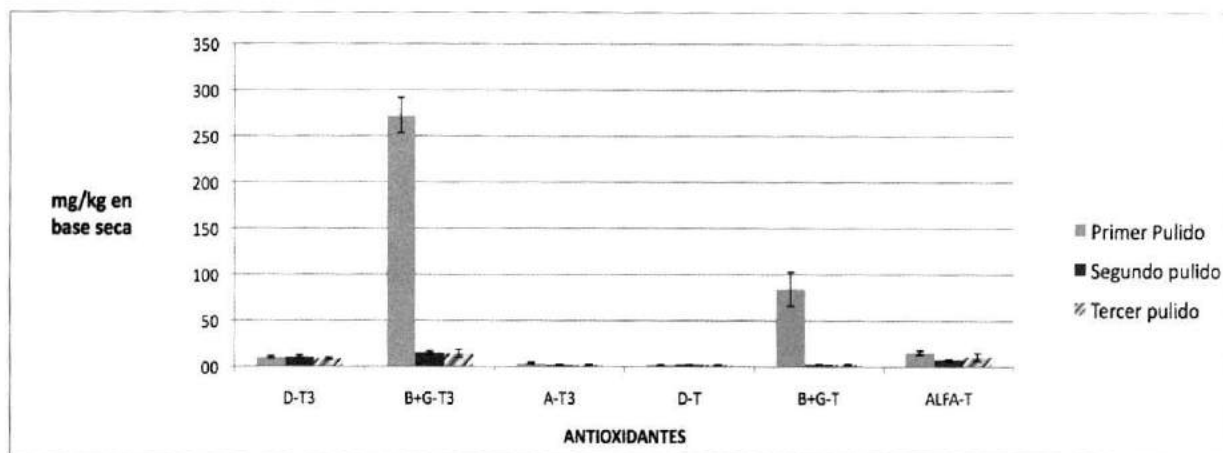
Los datos obtenidos fueron analizados mediante comparación entre tratamientos para la determinación de las diferencias (ANOVA con significancia del 95%) utilizando el software Statgraphics®. Todos los datos reportados corresponden al valor medio de tres mediciones realizadas sobre experimentos corridos por triplicado y las barras de error corresponden a la desviación estándar alrededor de dichas medidas. Para mayor comprensión $p < 0,05$ es equivalente a una diferencia significativa del 95%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Muestras obtenidas directamente del proceso industrial

Pulidos 1, 2 y 3. Molino: Villavicencio

En el siguiente diagrama de barras (gráfica 13) se observa la cuantificación de los diferentes isómeros tanto de tocoferoles como de tocotrienoles para las muestras obtenidas de cada uno de los pulidos del proceso en el molino de Villavicencio.



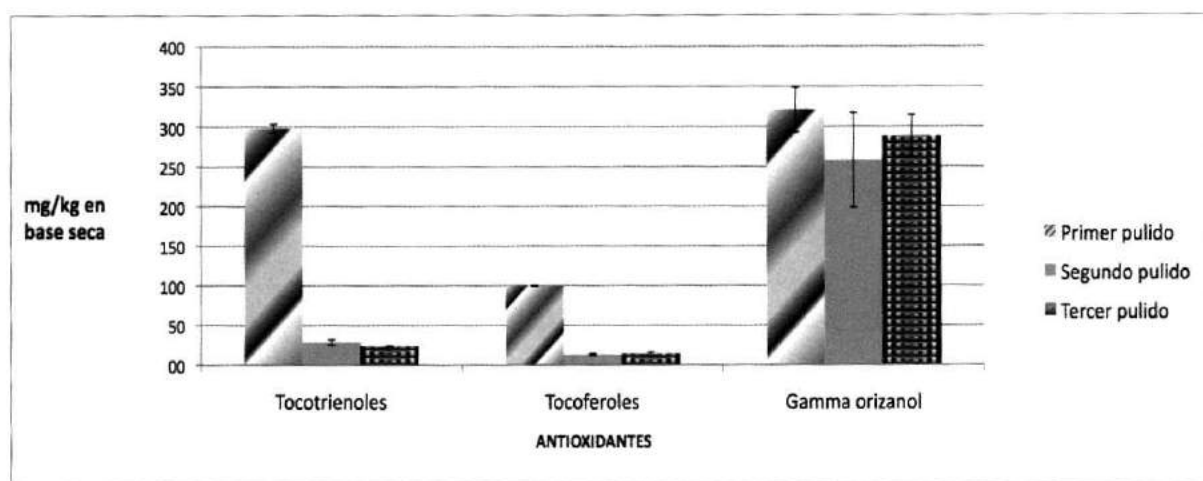
Gráfica 13. Contenido de tocoferoles, tocotrienoles por cada isómero en los diferentes pulidos de proceso. D-T3 (Delta tocotrienoles), B+G-T3 (Beta+gamma tocotrienoles), A-T3 (Alfa tocotrienoles), D-T (Delta tocoferoles), B+G-T (Beta+gamma tocoferoles), Alfa-T (Alfa tocoferoles).

Se observa (gráfica 13) que el salvado obtenido en el Pulido 1 contiene mayor cantidad de Beta+gamma tocotrienol (B+G-T3), Beta+gamma tocoferol (B+G-T) y alfa tocoferol (A-T) ($p < 0,05$). Para las cantidades de los isómeros Delta tocotrienol (D-T3) y Delta tocoferol (D-T), no se evidenció una diferencia significativa entre los pulidos. En cambio, con relación al Delta tocotrienol (A-T3), el Pulido 1 presentó una diferencia estadísticamente significativa ($p < 0,05$) con respecto al 2 y al 3. En la tabla 18 se presentan los valores de cuantificación de los compuestos antioxidantes (mg/kg de salvado con base seca) para cada pulido.

Tabla 18. Contenido tocotrienoles

CONTENIDO DE ANTIOXIDANTES (mg/kg base seca)						
Compuesto	Pulido 1		Pulido 2		Pulido 3	
	Promedio	CV	Promedio	CV	Promedio	CV
D-T3	10,1	1,6	10,5	2,7	8,9	2,2
B+G-T3	272,7	7,1	15,1	9,9	14,2	4,7
A-T3	3,9	21,1	2,1	17,5	2,3	29,4
D-T	2,2	14	2,5	1,8	2,2	1,4
B+G-T	84,3	2,4	2,8	5,9	2,7	6,3
ALFA-T	15,6	2,4	7,5	13,4	10,7	25,5

En cuanto a las muestras obtenidas en los tres pulidos en la industria para las variables de respuesta de los tocoferoles y tocotrienoles totales que corresponde a la suma de los isómeros delta, beta + gamma + alfa de tocoferol y tocotrienol. Se puede observar (gráfica 14) que el salvado obtenido en el Pulido 1 contiene una cantidad de tocoferoles y tocotrienoles totales significativamente mayor ($p < 0,05$) que el Pulido 2 y el Pulido 3. El isómero gamma-orizanol no presentó una diferencia estadísticamente significativa ($p > 0,05$) entre el Pulido 1, el Pulido 2 y el Pulido 3.



Gráfica 14. Contenido totales de tocoferoles, tocotrienoles y γ -orizanol en los diferentes pulidos industriales.

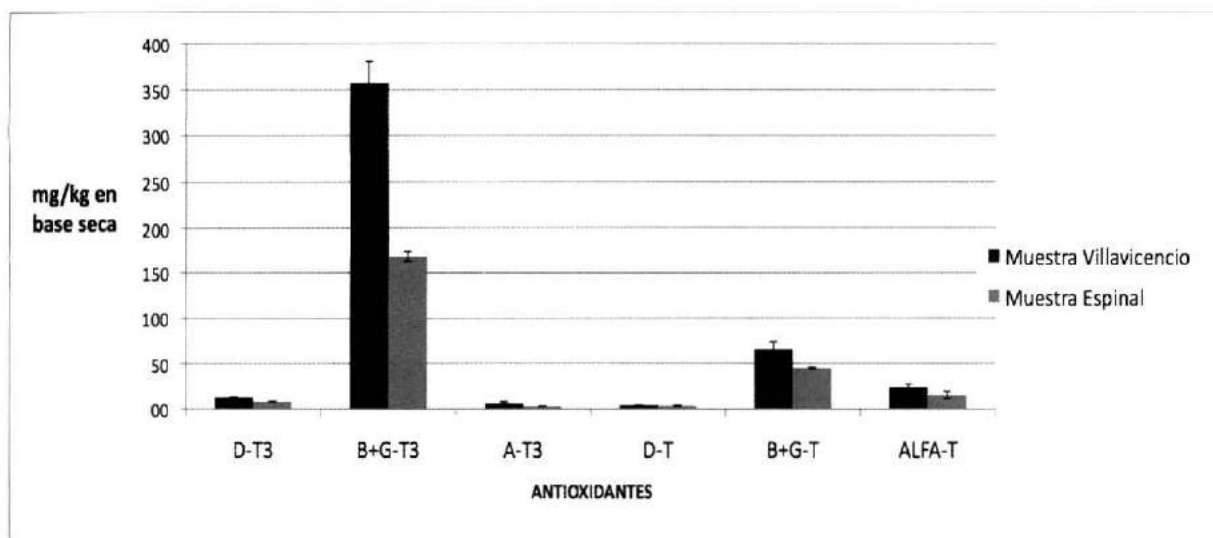
En la tabla 19 se pueden observar los valores de cuantificación (mg/kg de salvado en base seca) para cada uno de los compuestos antioxidantes en las distintas etapas de pulido.

Tabla 19. Contenido total de tocotrienoles, tocoferoles y gamma-orizanól.

CONTENIDO DE ANTIOXIDANTES (mg/kg base seca)						
Antioxidante	Pulido 1		Pulido 2		Pulido 3	
	Promedio	CV	Promedio	CV	Promedio	CV
Tocotrienoles	297,7	1,84	28,7	12,47	23,4	0,93
Tocoferoles	100	0,76	12,8	9,19	13,3	15,81
Gamma-orizanól	320,7	8,82	257,9	23	288	9,21

Mezcla de Planta. Molinos: Villavicencio y Tolima

La cuantificación de los diferentes isómeros tanto de tocoferoles como de tocotrienoles en la mezcla de planta de Villavicencio y El Espinal se observa en la gráfica 15. El SA obtenido en el molino de Villavicencio tiene una mayor cantidad de compuestos antioxidantes que el que proviene del molino del Tolima ($p < 0,05$) siendo el componente mayoritario el beta+gamma tocotrienol (B+G-T3) y beta+gamma tocoferol (B+G-T).



Gráfica 15. Contenido de tocoferoles y tocotrienoles en las Mezclas de Planta. D T3 (Delta tocotrienoles), B+G-T3 (Beta+gamma tocotrienoles), A-T3 (Alfa tocotrienoles), D-T (Delta tocoferoles), B+G-T (Beta+gamma tocoferoles), Alfa-T (Alfa tocoferoles).

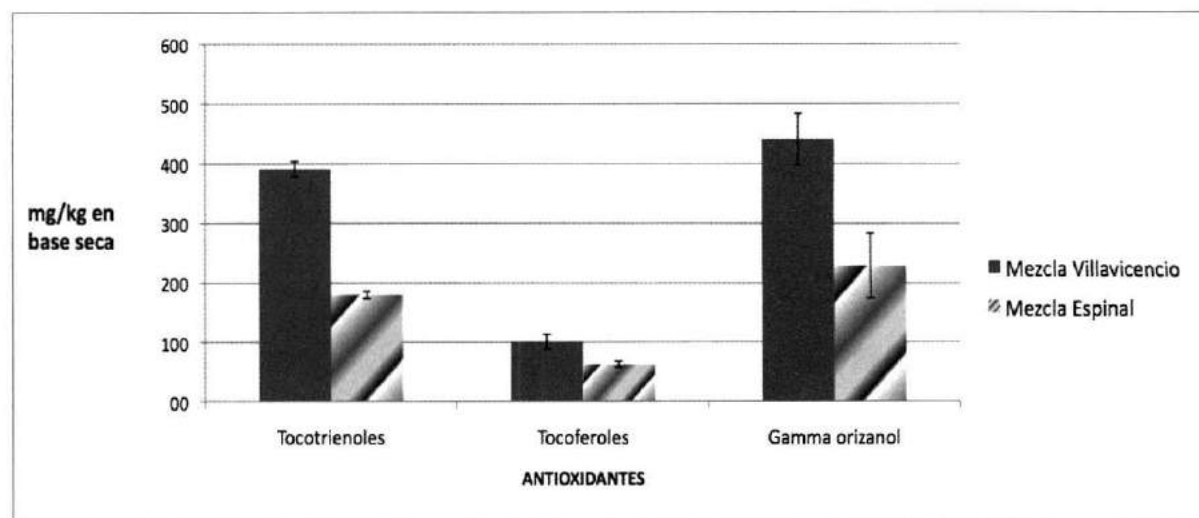
En la tabla 20 se pueden observar los valores de cuantificación de los compuestos antioxidantes (mg/kg de salvado en base seca) para cada una de las mezclas de planta.

Tabla 20. Contenido de tocoferoles y tocotrienoles obtenido del proceso industrial en mezcla de salvado de arroz.

CONTENIDO DE ANTIOXIDANTES (mg/kg base seca)				
Compuesto	Mezcla de planta Villavicencio		Mezcla de planta Espinal	
	Promedio	CV	Promedio	CV
D-T3	13,1	4,29	8,39	2,08
B+G-T3	356,5	6,81	168,11	3,40
A-T3	6,7	22,51	3,54	1,98
D-T	4,5	3,72	3,99	7,97
B+G-T	65,7	12,62	45,13	2,52
ALFA-T	23,7	17,51	15,41	24,73

La cuantificación total de tocoferoles, tocotrienoles y gamma-orizanol para las mezclas en planta se pueden observar en la gráfica 16. Al sumar los compuestos individuales tanto de tocoferoles como de tocotrienoles se corrobora que la *mezcla de planta* proveniente del molino de Villavicencio tiene una cantidad significativamente mayor de tocoferoles y tocotrienoles ($p < 0,05$).

Con respecto a la cuantificación del compuesto gamma-orizanol se aprecia una diferencia gráfica, sin embargo el análisis estadístico de los datos permite afirmar que no existe diferencia significativa en el contenido del antioxidante mencionado ($p > 0,05$).

**Gráfica 16.** Contenido total de tocoferoles, tocotrienoles y gamma-orizanol en las mezclas de planta.

En la tabla 21 se pueden observar los valores de cuantificación (mg/kg de salvado con base seca) para cada uno de los compuestos antioxidantes totales.

Tabla 21. Contenido total de tocoferoles y tocotrienoles.

CONTENIDO DE ANTIOXIDANTES (mg/kg base seca)				
Antioxidante	Mezcla de planta Villavicencio		Mezcla de planta Espinal	
	Promedio	CV	Promedio	CV
Tocotrienoles	391,2	3,24	180,0	3,18
Tocoferoles	100,7	12,21	62,5	8,16
Gamma-orizanól	441,0	9,68	229,3	23,82

Muestras obtenidas a partir de tres variedades de arroz

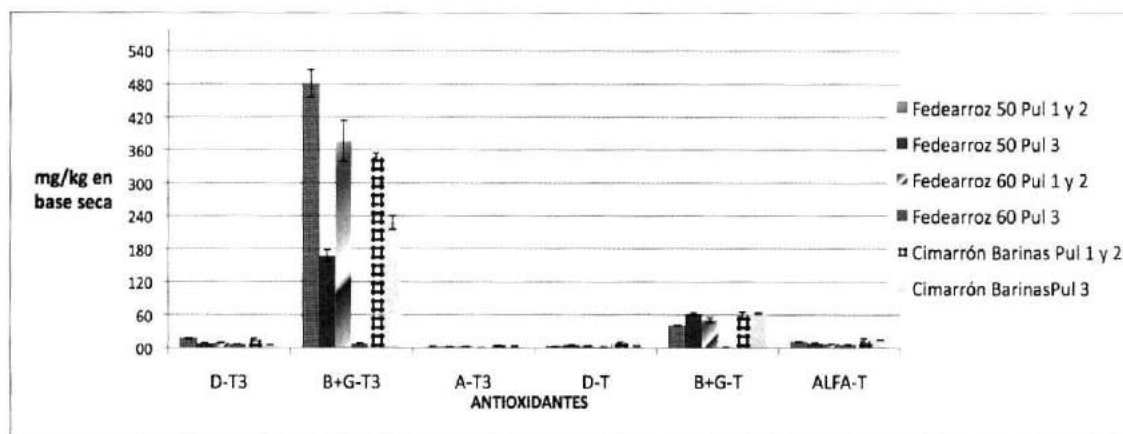
En este grupo se encuentran las muestras procesadas en el laboratorio las cuales resultaron de realizar un doble pulimento buscando simular las etapas de pulido del proceso industrial.

Pulido 1 y Pulido 2. Fedearroz 50, Fedearroz 60 y Cimarrón Barinas

La cuantificación de antioxidantes de los pulidos 1 y 2 en los diferentes isómeros tanto de tocoferoles como de tocotrienoles para las tres variedades de arroz se observa en la gráfica 17. En los isómeros (delta, delta + gamma y alfa) tanto de tocotrienoles como de tocoferoles se encontró que el Pulido 1 de cada variedad tenía mayor cantidad de antioxidantes que el Pulido 2 ($p < 0,05$), lo cual nos indica que los antioxidantes se concentran en la capa más externa del grano.

En el análisis por variedad se encontró que el Pulido 1 de Fedearroz 50 contiene mayor concentración del grupo de isómeros de tocotrienoles que las otras variedades estudiadas ($p < 0,05$).

En cuanto al Pulido 1 de Cimarrón Barinas, contiene mayor cantidad del grupo de isómeros de tocoferoles ($p < 0,05$).



Gráfica 17. Contenido de tocoferoles, tocotrienoles en cada variedad.

*D-T3 (Delta tocotrienoles), B+G-T3 (Beta+gamma tocotrienoles), A-T3 (Alfa tocotrienoles), D-T (Delta tocoferoles), B+G-T (Beta+gamma tocoferoles), Alfa-T (Alfa tocoferoles).

En las tablas 22 y 23 se pueden observar los valores de cuantificación (mg/kg de salvado en base seca) para cada uno de los compuestos antioxidantes mencionados anteriormente.

Tabla 22. Contenido de tocoferoles y tocotrienoles por variedad para dos pulidos.

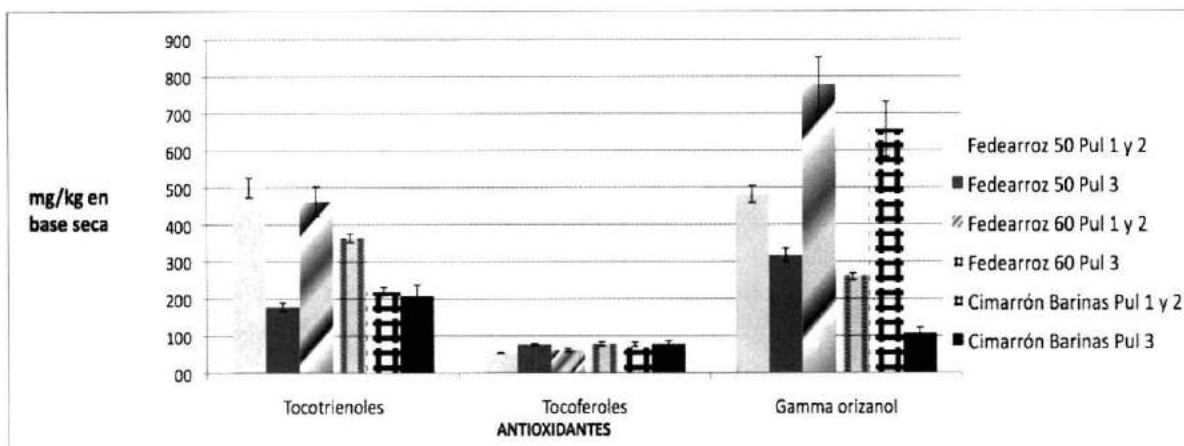
CONTENIDO DE ANTIOXIDANTES (mg/kg base seca)						
Antioxidante	Fedearroz 50 Pulido 1		Fedearroz 50 Pulido 2		Fedearroz 60 Pulido 1	
	Promedio	CV	Promedio	CV	Promedio	CV
D-T3	17,0	5,57	8,8	6,91	10,1	4,73
B+G-T3	480,6	5,26	167,4	6,35	376,1	9,88
A-T3	2,4	19,49	2,0	12,76	2,7	7,96
D-T	2,9	6,72	5,1	5,96	3,2	17,35
B+G-T	40,2	1,66	61,8	3,96	50,4	8,86
ALFA-T	11,0	12,77	8,7	14,02	7,5	5,40

Tabla 23. Contenido de tocoferoles y tocotrienoles por variedad para dos pulidos.

CONTENIDO DE ANTIOXIDANTES (mg/kg base seca)						
Antioxidante	Fedearroz 50 Pulido 1		Cimarrón Barinas Pulido 1		Cimarrón Barinas Pulido 2	
	Promedio	CV	Promedio	CV	Promedio	CV
D-T3	7,2	1,88	15,2	14,80	6,0	5,65
B+G-T3	8,2	5,97	346,8	2,20	228,3	5,51
A-T3	0,7	17,99	3,5	19,62	2,9	17,31
D-T	2,2	3,60	8,1	29,73	3,5	6,73
B+G-T	1,9	15,80	60,0	9,19	62,9	2,26
ALFA-T	6,1	10,63	13,4	30,21	15,6	0,45

La cuantificación de tocoferoles y tocotrienoles totales para los pulidos 1 y 2 obtenidos de tres variedades de arroz se observa en la gráfica 18.

Se evidencia que el SA obtenido en el Pulido 1 de cada variedad presenta cantidades significativamente mayores de tocotrienoles y tocoferoles que el Pulido 2 de la variedad correspondiente ($p < 0,05$). Es evidente observar que en el Pulido 1 los tocotrienoles se presentan en mayor cantidad que los tocoferoles en cada una de las muestras analizadas por variedad. El gamma-orizanól se encuentra en mayor cantidad en el Pulido 1 de cada muestra, las variedades Fedearroz 60 y Cimarrón Barinas son las que presentan mayor contenido de este antioxidante en el Pulido 1 que las demás ($p < 0,05$).



Gráfica 18. Contenidos de tocoferoles, tocotrienoles y γ -orizanol en cada variedad por pulido.

En las tablas 24 y 25 se pueden observar los valores de cuantificación (mg/kg de salvado en base seca) de los compuestos antioxidantes anteriormente descritos.

Tabla 24. Contenido totales de tocotrienoles, tocoferoles y gamma-orizanol.

CONTENIDO DE ANTIOXIDANTES (mg/kg base seca)						
Antioxidante	Fedearroz 50 Pulido 1		Fedearroz 50 Pulido 2		Fedearroz 60 Pulido 1	
	Promedio	CV	Promedio	CV	Promedio	CV
Tocotrienoles	500	5,3	178,2	6,3	462,7	8,9
Tocoferoles	54	1,7	75,7	1,6	61,0	7,7
Gamma-orizanol	481,4	4,8	317,6	5,6	777,7	9,5

Tabla 25. Contenido totales de tocotrienoles, tocoferoles y gamma-orizanol.

CONTENIDO DE ANTIOXIDANTES (mg/kg base seca)						
Antioxidante	Fedearroz 60 Pulido 2		Cimarrón Barinas Pulido 1		Cimarrón Barinas Pulido 2	
	Promedio	CV	Promedio	CV	Promedio	CV
Tocotrienoles	363,7	3,1	219,9	5,1	206,4	15,1
Tocoferoles	77,9	7,3	76,8	7,4	76,8	12,3
Gamma-orizanol	258,7	3,5	657,0	11,3	107,6	13,1

Comparación de resultados con otros estudios

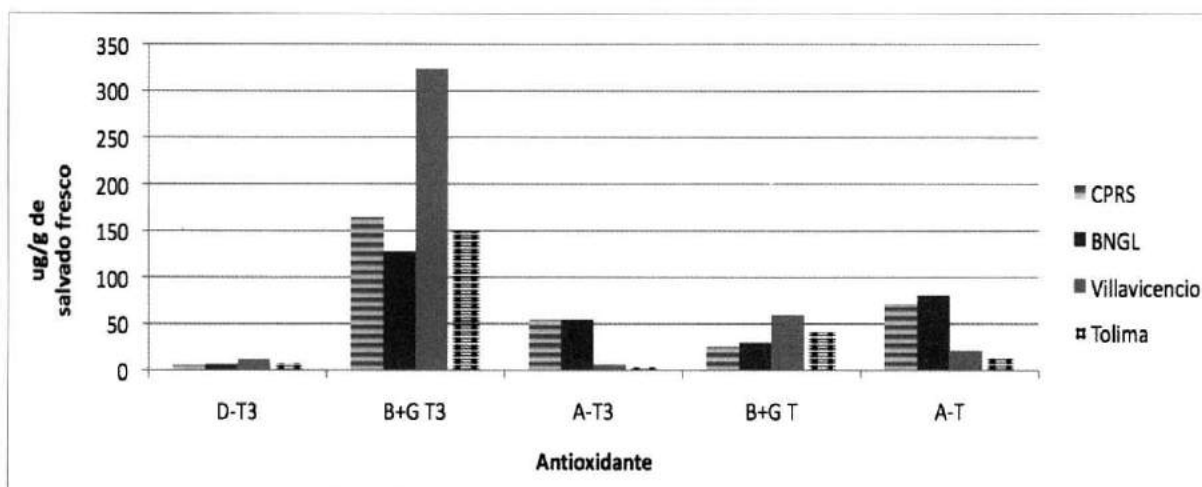
Para comparar los datos obtenidos en este estudio con otros trabajos internacionales, las unidades de concentración fueron ajustadas como se ve en la tabla 26.

Tabla 26. Unidades mostradas para cada comparación

AUTOR	ISÓMERO	UNIDAD
Chen, 2003	D-T3 (Delta tocotrienoles)	ug/g salvado fresco
	B+G T3 (Beta+gamma tocotrienoles)	
	A-T3 (Alfa tocotrienol)	
	B+G T (Beta+gamma tocoferol)	
	A-T3 (Alfa tocoferol)	
	Gamma-orizanol	mg/g de salvado fresco
Anwar, 2005	D-T3 (Delta tocotrienoles)	mg/kg de aceite crudo
	A-T3 (Alfa tocotrienol)	
	D-T3 (Delta tocoferol)	
	A-T3 (Alfa tocoferol)	
	Gamma-orizanol	ug/g aceite crudo

A continuación se analizan los resultados del presente estudio con el desarrollado por Chen (2003), quien trabajó con SA obtenido de diferentes variedades de arroz sembradas en Estados Unidos: cypress (CPRS) y bengal (BNGL).

La gráfica 19 muestra el contenido de los isómeros beta + gamma, alfa tocoferoles, alfa tocotrienoles y el isómero delta tocotrienol. En ésta se destaca la concentración de beta + gamma tocotrienol en las muestras de salvado de Villavicencio y Tolima, ya que es superior a las muestras de las variedades CPRS y BNGL. Sin embargo, en los isómeros alfa tocoferoles y tocotrienoles se observa menor concentración de estos compuestos antioxidantes respecto a las variedades estadounidenses.



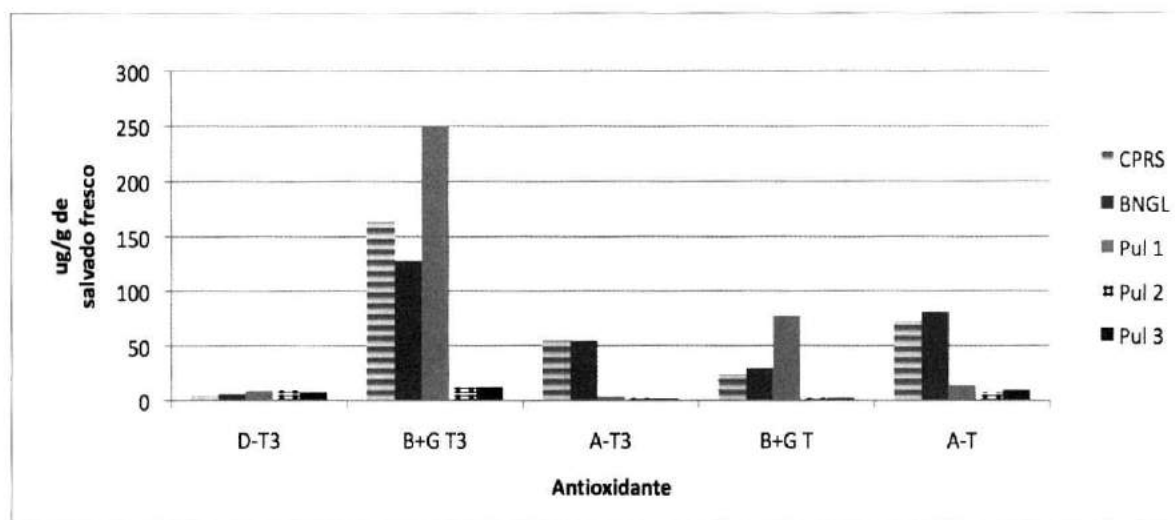
Gráfica 19. Comparación de los contenidos de D-T3 (Delta tocotrienoles), B+G-T3 (Beta+gamma tocotrienoles), A-T3 (Alfa tocotrienoles), D-T (Delta tocoferoles), B+G-T (Beta+gamma tocoferoles), Alfa-T (Alfa tocoferoles) en las variedades Cypress (CPRS) y Bengal (BNGL) con mezclas de salvado obtenido en Villavicencio y Tolima.

La tabla 27 presenta los valores de cuantificación ($\mu\text{g/g}$ de salvado en base húmeda) de los compuestos anteriormente descritos.

Tabla 27. Comparación entre variedades Cypress (CPRS), Bengal (BNGL) y las mezclas de planta.

CONTENIDO DE ANTIOXIDANTES ($\mu\text{g/g}$ salvado fresco)				
Antioxidante	Variedades		Muestra	
	CPRS	BNGL	Villavicencio	Tolima
Delta tocotrienol	4,6	6,2	11,9	7,58
Beta+Gamma tocotrienol	163,5	127,5	323,6	149,38
Alfa tocotrienol	54,8	54,5	6,1	3,15
Beta+Gamma tocoferol	24,2	29,4	59,6	40,12
Alfa tocoferol	72	80,9	21,5	13,1

Al ser comparadas la concentración de antioxidantes de las variedades CPRS y BNGL y las obtenidas de cada uno de los pulidos del proceso en el molino de Villavicencio (gráfica 20), se observa que al igual que en la mezcla, el isómero B+G T3 (beta+gamma tocotrienol) predomina entre todos los isómeros, y el primer pulido cuenta con la mayor concentración. El isómero que se encuentra en menor cantidad es el A-T3 (Alfa tocotrienol), en comparación con las variedades CPRS y BNGL.



Gráfica 20. Comparación de los contenidos de antioxidantes de las variedades Cypress (CPRS), Bengal (BNGL) con los pulidos de Villavicencio. D-T3 (Delta tocotrienoles), B+G-T3 (Beta+gamma tocotrienoles), A-T3 (Alfa tocotrienoles), D-T (Delta tocoferoles), B+G-T (Beta+gamma tocoferoles), Alfa-T (Alfa tocoferoles).

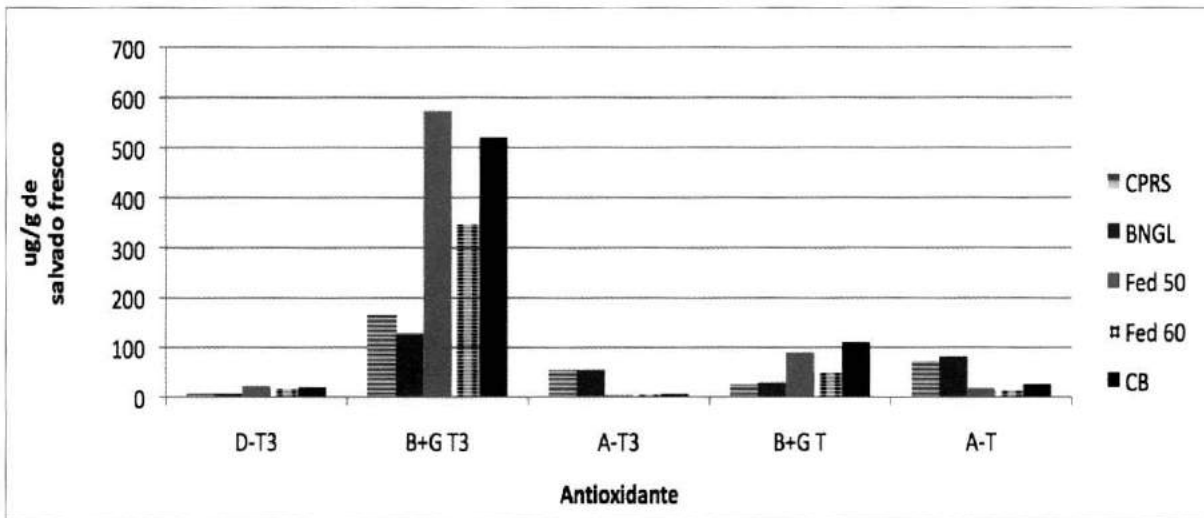
En la tabla 28 se muestran los valores de cuantificación (ug/g de salvado en base húmeda) de estos compuestos antioxidantes.

Tabla 28. Comparación de antioxidantes entre variedades Cypress (CPRS, Bengal (BNGL) y los pulidos obtenidos del proceso.

CONTENIDO DE ANTIOXIDANTES (ug/g base húmeda)					
Antioxidante	Variedades		Muestra		
	CPRS	BNGL	Pul 1	Pul 2	Pul 3
D-T3	4,6	6,2	9,23	9,4	7,84
B+G T3	163,5	127,5	249,64	13,49	12,6
A-T3	54,8	54,5	3,55	1,87	2
B+G T	24,2	29,4	77,16	2,46	2,35
A-T	72	80,9	14,24	6,74	9,49

En la gráfica 21 se muestra la comparación de la concentración de antioxidantes de las variedades CPRS, BNGL, Fedearroz 50, Fedearroz 60 y Cimarrón Barinas.

Las muestras Fedearroz 50, Cimarrón Barinas y Fedearroz 60 presentan una concentración mayor de B+G T3 (beta+gamma tocotrienoles) que la de las variedades CPRS y BNGL. Las concentraciones de alfa tocoferoles y alfa tocotrienoles de las variedades estadounidenses son superiores a las colombianas. Los D-T3 (delta tocotrienoles) y B+G T (beta+gamma tocoferoles) son mayores en las variedades nacionales.



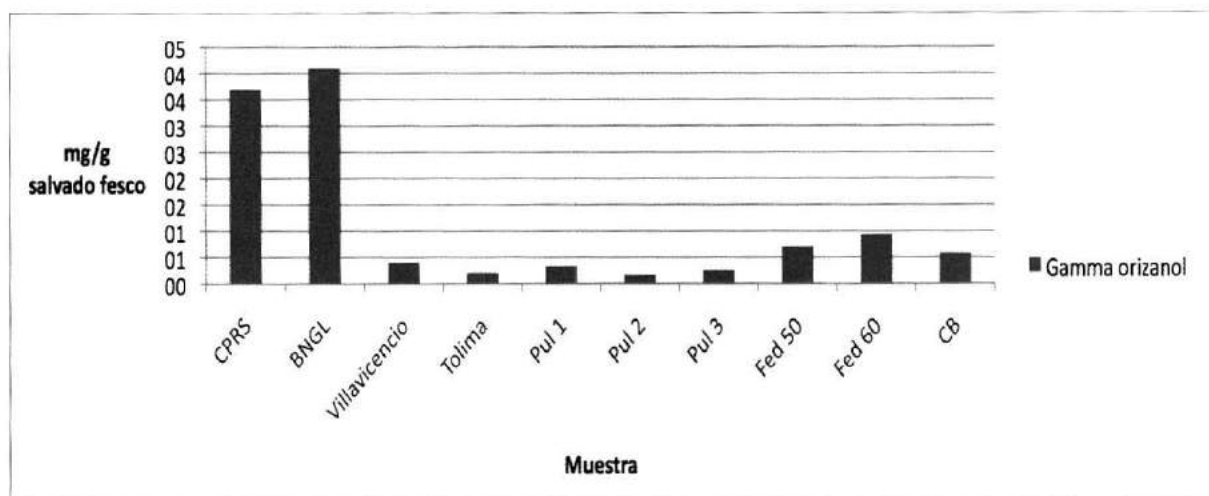
Gráfica 21. Comparación de los contenidos de antioxidantes de las variedades Cypress (CPRS), Bengal (BNGL) con las variedades Fedearroz 50 (Fed 50), Fedearroz 60 (Fed 60) y Cimarrón Barinas (CB). D-T3 (Delta tocotrienoles), B+G-T3 (Beta+gamma tocotrienoles), A-T3 (Alfa tocotrienoles), D-T (Delta tocoferoles), B+G-T (Beta+gamma tocoferoles), Alfa-T (Alfa tocoferoles).

En la tabla 29 se muestran los valores de cuantificación (ug/g de salvado en base húmeda) de estos compuestos antioxidantes para las variables colombianas y estadounidenses.

Tabla 29. Comparación de antioxidantes entre variedades CPRS, BNGL, Fedearroz 50 (Fed 50), Fedearroz 60 (Fed 60) y Cimarrón Barinas (CB).

CONTENIDO DE ANTIOXIDANTES (ug/g base húmeda)					
Antioxidante	Variedades		Muestra		
	CPRS	BNGL	Fed 50	Fed 60	CB
D-T3	4,6	6,2	22,8	15,4	19,1
B+G T3	163,5	127,5	572,8	345,2	519,9
A-T3	54,8	54,5	3,8	3,1	5,8
B+G T	24,2	29,4	90,4	47,0	111,0
A-T	72	80,9	17,5	12,1	26,2

La concentración de gamma-orizanol en las variedades nacionales estudiadas por etapas de pulido y zona de origen es menor que en las variedades CPRS y BNGL (gráfica 22).



Gráfica 22. Comparación de los contenidos de antioxidantes de las variedades CPRS, BNGL con las muestras Mezcla Villavicencio (Villavicencio), Mezcla Tolima (Tolima), Fedearroz 50 (Fed 50), Fedearroz 60 (Fed 60), Cimarrón Barinas (CB).

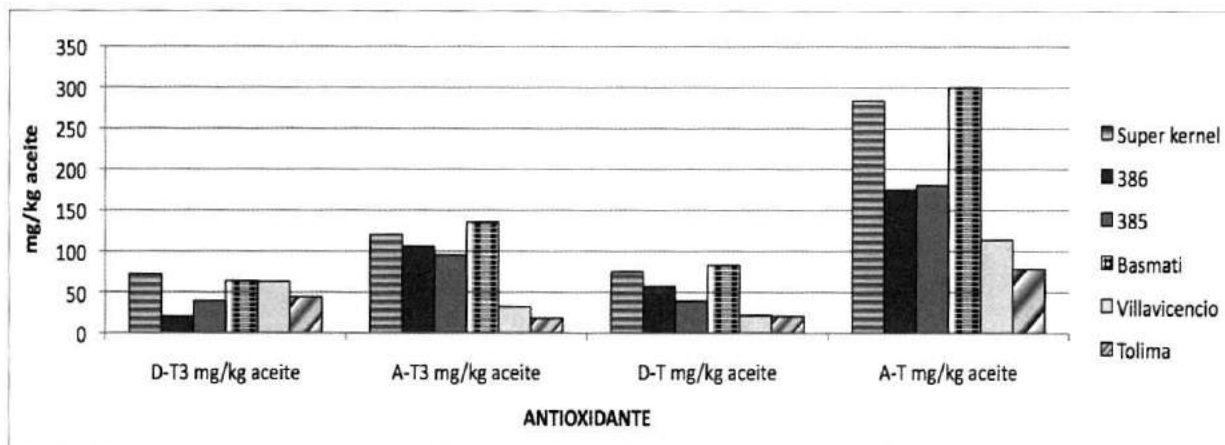
En la tabla 30 se pueden observar los valores de cuantificación (ug/g de salvado en base húmeda) de los compuestos antioxidantes anteriormente descritos.

Tabla 30. Comparación de gamma-orizanol CPRS, BNGL, Fedearroz 50 (Fed 50), Fedearroz 60 (Fed 60) y Cimarrón Barinas (CB).

CONTENIDO DE ANTIOXIDANTES (ug/g base húmeda)			
Isómero	Gamma-orizanol	Isómero	Gamma-orizanol
CPRS	3,7	Pul 2	0,2
BNGL	4,1	Pul 3	0,3
Villavicencio	0,4	Fed 50	0,7
Tolima	0,2	Fed 60	0,9
Pul 1	0,3	CB	0,6

A continuación se analizan los resultados del presente estudio con los publicados por Anwar *et al.* (2005), quien trabajó con salvado obtenido de diferentes variedades de arroz sembradas comúnmente en Pakistán: Super Kernel (SK), 386, 385 y Basmati (BAS).

En la gráfica 23 se observa que las concentraciones de los isómeros delta tocoferol, alfa tocotrienol y alfa tocoferol de las muestras nacionales son menores que las de las variedades SK, 386, 385 y BAS. De igual manera, el isómero delta tocotrienol presentó una menor concentración en las muestras colombianas, en comparación con las variedades pakistaníes. No obstante, se observó para el delta tocotrienol una mayor concentración para las mezclas de las plantas de Villavicencio y Tolima comparadas con las variedades SK, 386 y 385.



Gráfica 23. Comparación de los contenidos de antioxidantes de las variedades Súper Kernel, 386, 385 y Basmati con las mezclas de planta. D-T3 (Delta tocotrienoles), B+G-T3 (Beta+gamma tocotrienoles), A-T3 (Alfa tocotrienoles), D-T (Delta tocoferoles), B+G-T (Beta+gamma tocoferoles), Alfa-T (Alfa tocoferoles).

En las tablas 31 y 32 se muestran los valores de cuantificación (mg/kg de aceite) de los compuestos antioxidantes anteriormente descritos.

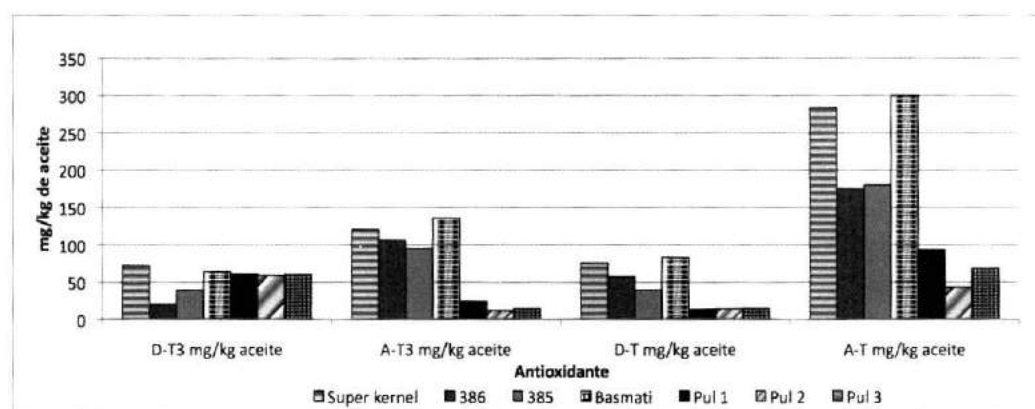
Tabla 31. Comparación de antioxidantes entre variedades Súper Kernel, 386 y 385.

CONTENIDO DE ANTIOXIDANTES (mg/kg de aceite)			
Isómero	Variedades		
	Super Kernel	386	385
D-T3	72,5	20	39,3
A-T3	120,3	106	95,2
D-T	75,16	57,2	39,32
A-T	284	175,12	180,42

Tabla 32. Comparación de antioxidantes entre variedades Basmati, mezcla Villavicencio y mezcla Tolima.

CONTENIDO DE ANTIOXIDANTES (mg/kg de aceite)			
Isómero	Basmati	Molino	
		Villavicencio	Tolima
D-T3	64	63,0	44,56
A-T3	135,74	32,4	18,50
D-T	83	21,7	20,76
A-T	300,06	113,8	78,26

La gráfica 24 muestra la comparación de antioxidantes entre las variedades SK, 386, 385 y BAS con los pulidos de planta de Villavicencio. El isómero Delta tocotrienol para todos los pulidos de planta de Villavicencio presenta una concentración menor respecto a las variedades SK y BAS, no obstante, es mayor respecto a las variedades 386 y 385. La concentración de los isómeros alfa tocotrienol, Delta tocoferol y alfa tocoferol para los pulidos de planta de Villavicencio son menores que las variedades SK, 386, 385 y BAS.

**Gráfica 24.** Comparación de los contenidos de antioxidantes de las variedades Súper Kernel, 386, 385 y Basmati con los pulidos de planta de Villavicencio. D-T3 (Delta tocotrienoles), B+G-T3 (Beta+gamma tocotrienoles), A-T3 (Alfa tocotrienoles), D-T (Delta tocoferoles), B+G-T (Beta+gamma tocoferoles), Alfa-T (Alfa tocoferoles).

En las tablas 33 y 34 se registran los valores de cuantificación (mg/kg de aceite) de los compuestos antioxidantes anteriormente descritos.

Tabla 33. Comparación de antioxidantes entre variedades Súper Kernel, 386 y 385.

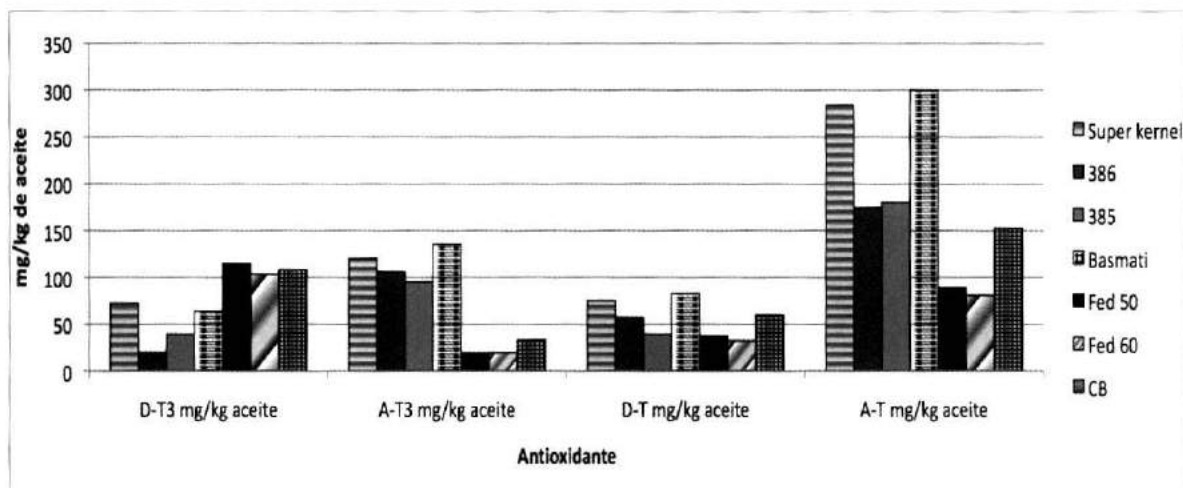
CONTENIDO DE ANTIOXIDANTES (mg/kg de aceite)				
Isómero	Super Kernel	386	385	385
D-T3	72,5	20	39,3	64
A-T3	120,3	106	95,2	135,74
D-T	75,16	57,2	39,32	83
A-T	284	175,12	180,42	300,06

Tabla 34. Comparación de antioxidantes entre variedades Pulido 1, Pulido 2 y Pulido 3.

CONTENIDO DE ANTIOXIDANTES (mg/kg de aceite)			
Isómero	Pulido de planta		
	Pul 1	Pul 2	Pul 3
D-T3	60,7	59	60,2
A-T3	24	11,88	14,54
D-T	13,6	14,35	14,95
A-T	93,6	42,68	68,8

En la gráfica 25 se muestra la comparación de antioxidantes entre las variedades 386, 385, BAS, Fedearroz 50, Fedearroz 60 y Cimarrón Barinas. Las variedades estudiadas (Fedearroz 50, Fedearroz 60 y Cimarrón Barinas) presentan mayor concentración del isómero Delta tocotrienol que las variedades SK, 386 y 385.

Se encontró una menor concentración de los isómeros alfa tocotrienol y alfa tocoferol en las variedades colombianas, con respecto a las variedades SK, 386 y 385. El isómero Delta tocoferol en las variedades Fedearroz 50 y 60 presento concentración menor que la de las variedades SK, 386, 385, BAS; contrario a lo que ocurrió con la variedad Cimarrón Barinas, al compararse con las variedades 386 y 385.



Gráfica 25. Comparación de los contenidos de antioxidantes de las variedades Súper Kernel, 386, 385, Basmati, Fedearroz 50 (Fed 50), Fedearroz 60 (Fed 60) y Cimarrón Barinas (CB). D-T3 (Delta tocotrienoles), B+G-T3 (Beta+gamma tocotrienoles), A-T3 (Alfa tocotrienoles), D-T (Delta tocoferoles), B+G-T (Beta+gamma tocoferoles), Alfa-T (Alfa tocoferoles).

En las tablas 36 y 37 se muestran los valores de cuantificación (mg/kg de aceite) de los compuestos descritos.

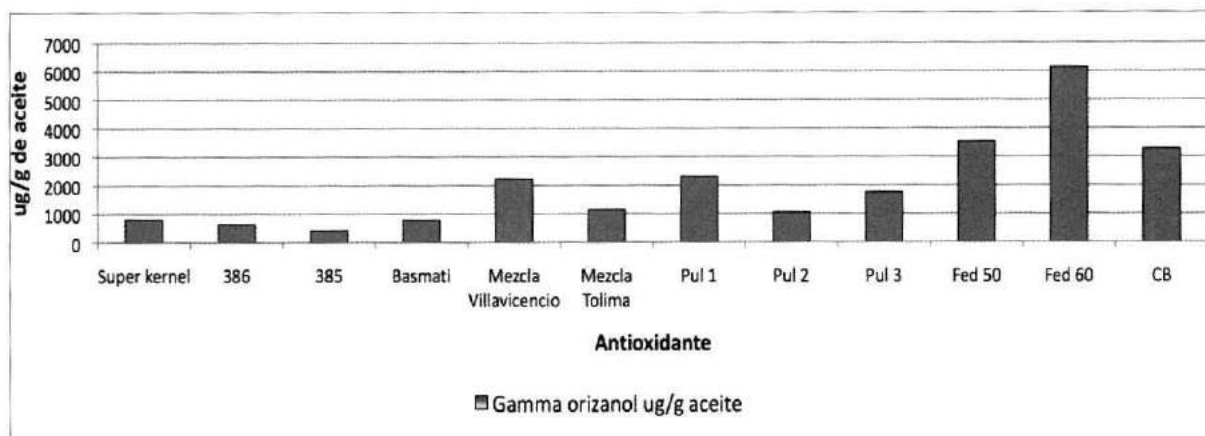
Tabla 36. Comparación de antioxidantes entre variedades.

CONTENIDO DE ANTIOXIDANTES (mg/kg de aceite)				
Isómero	Variedades			
	Súper Kernel	386	385	Basmati
D-T3	72,5	20	39,3	64
A-T3	120,3	106	95,2	135,74
D-T	75,16	57,2	39,32	83
A-T	284	175,12	180,42	300,06

Tabla 37. Comparación de antioxidantes entre variedades

CONTENIDO DE ANTIOXIDANTES (mg/kg de aceite)			
Isómero	Variedades		
	Fed 50	Fed 60	CB
D-T3	115	103,7	108,4
A-T3	19,7	19,8	33,3
D-T	37,5	32,2	59,7
A-T	89,5	81	152,7

La comparación gamma-orizanol entre las variedades SK, 386, 385, BAS, Fedearroz 50, Fedearroz 60, Cimarrón Barinas, mezcla de planta Villavicencio, mezcla planta Tolima y etapas de pulido se muestra en la gráfica 26. Se evidencia que la concentración de gamma-orizanol en las variedades, etapas de pulido y zonas estudiadas es mayor que en las variedades SK, 386, 385 y BAS.



Gráfica 26. Comparación de los contenidos de gamma-orizanol de las variedades Súper Kernel, 386, 385, Basmati, Fedearroz 50 (Fed 50), Fedearroz 60 (Fed 60) y Cimarrón Barinas (CB).

En la tabla 38 se pueden observar los valores de cuantificación (mg/kg de aceite) de los compuestos antioxidantes anteriormente descritos.

Tabla 38. Comparación de antioxidantes entre variedades.

CONTENIDO DE ANTIOXIDANTES (mg/kg de aceite)			
Isómero	Gamma-orizanol ug/g aceite	Isómero	Gamma-orizanol ug/g aceite
Super Kernel	802,05	Pul 1	2304,8
386	639,11	Pul 2	1043,7
385	415,12	Pul 3	1753,2
Basmati	778,54	Fede 50	3531,5
Mezcla Villavicencio	2219,66	Fede 60	6132,9
Mezcla Tolima	1143,02	Cimarrón Barinas	3281,1

CONCLUSIONES

Por variedad se concluyó que la Fedearroz 60 contiene un 93,8% más de tocotrienoles y un 35% más de gamma-orizanol que las variedades Fedearroz 50 y Cimarrón Barinas. La concentración de los tocoferoles en la variedad Cimarrón Barinas es mayor que en las variedades Fedearroz 50 y Fedearroz 60 en un 18,4% y 9,6% respectivamente.

La cuantificación de antioxidantes en los pulidos 1, 2, y 3 de planta, determinó que la concentración de estos es mayor para el Pulido 1, el contenido de tocotrienoles, tocoferoles y gamma-orizanol se destacaron con valores de 297,7, 100 y 320,7 mg/kg base seca respectivamente y por esto es el pulido de mayor calidad funcional.

En las mezclas de planta de Villavicencio y Tolima, se encontró mayor concentración de antioxidantes en las muestras procedentes de Villavicencio.

La clasificación del salvado de arroz de acuerdo a su etapa permitió evidenciar que el Pulido 1, posee una mayor concentración de antioxidantes, lo que permite sugerir la separación del Pulido 1 de los dos pulidos siguientes para darle un mayor valor agregado a este subproducto de la industria arrocera, los pulidos 2 y 3 se pueden seguir destinando a la elaboración de piensos para animales.

En las comparaciones realizadas con las variedades sembradas en los Estados Unidos, se determinó que las concentraciones de los isómeros delta tocotrienol y beta + gamma tocotrienol son superiores en el SA colombiano, por ello se sugiere que su uso se debe encaminar a sacar el mayor beneficio posible en las industrias alimenticia, farmacéutica y cosmetológica.

Las comparaciones con las variedades sembradas en Pakistán determinaron que la concentración del isómero delta tocotrienol es cercana a las variedades colombianas cuantificadas en este estudio. La concentración del gamma-orizanol mostró ser mayor para todas las muestras obtenidas en Colombia en comparación con las variedades sembradas en Pakistán.

Referencias bibliográficas

- Answers.com. (s.f.). Recuperado el 5 de agosto de 2008, de www.answers.com/topic/tocotrienol.
- Association of Official Analytical Chemists. (2000). Official methods of analysis of the AOAC. (P. Cunniff., Ed.) Gaithersburg, Maryland: AOAC.
- Burton, G.W., & Ingloig, K. (1983). First prof that vitamin E is the major lipid soluble chain breaking antioxidant in human blood plasma. 2,327-328.
- Castillo Niño, A. (1999). Molinera de arroz en los tropicos. Santa Fe de Bogota: Ediagro.

- Chen , M. H.,& Bergman, C.J. (2005). A rapid procedure for analysing rice bran tocopherol, tocotrienol and gamma-oryzanol contents. *Journal of Food Composition and Analysis*, 18,139-151.
- Chemblink.com. (s.f.). Recuperado el 2008 de Agosto de 7, de <http://www.chemblink.com/products/11042-64-1.htm>.
- Da Silva, M. A., Sanches,C.,& Amante, E. R. (2005). Prevention of hydrolytic rancidity in rice bran. *Journal of food engineering* , 75, 487-491.
- Pacheco de Delahaye, & Peña J. (2006). Efecto del SA sobre parámetros químicos, físicos y sensoriales de arepas precocidas y congeladas.
- E, M. K., Agustin, G. A., Troncoso, A. M., Mancini Filho, J., & Roseane, F. (2005). Aplicación de diversos métodos químicos para determinar actividad antioxidante en pulpa de frutos. *Ciencia Tecnología de los Alimentos*.
- Erickson M. D., Frey N. 1994. Property-enhanced oils in food applications. *Food Technology*. 48: 63-66.
- Gerhardt A. L., Gallo N. B. 1998. Full-fat rice bran and oat bran similarly reduce hypercholesterolemia in mans. *J. Nutr.* 128: 865-869.
- Gibney, Michael J. (2005). *Nutrición y metabolismo*. Madrid Editorial España. Acribia
- Gibney, Michael J. (2007). *Nutrición clínica*. Madrid Editorial España. Acribia
- Ghoneum M., Gollapudi S. 2003. MGN-3 sensitizes man T cell leukemia cells to death receptor (CD95) induced apoptosis. *Cancer Lett.* 201:41-9.
- Graf E. Eaton J. W. 1985. Dietary suppression of colonic cáncer. Fiber or phytate? *Cancer.* 56: 717.
- Graf E., Eaton J. W. 1990. Antioxidant functions of phytic acid. *Free Radical Biology and Medicine.* 61-9.
- Guthrie N., Gapor A., Chambers A. F., Carroll K. K. 1997. Inhibition of proliferation of estrogen receptornegative MDA-MB-435 and -positive MCF-7 man breast cancer cells by palm oil tocotrienols and tamoxifen alone and in combination. *J. Nutr.* 127: 544S.
- Ha, T.Y., Ko, S. N., Lee S. M., Kim, H. R., Chung, S. H. Kim, S. R., et al (2006). Changes in nutraceutical lipid components of rice at different degrees of milling. *European Journal of lipid Science and Technology*, 108, 175-181.
- Hu ,W., Wells, J.H., ShIn,T-S., Godber, J.S., 1996. Comparison os isipropanol and hexane for extraction of vitamin E and Oryzanols from stabilized rice bran. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 73, 1653-1656.
- Kim J. S., Suh M. H., Yang C. B., Lee H. G. 2003. Effect of γ -oryzanol on the flavor and oxidative stability of refrigerated cooked beef. *Journal of Food Science.* 68:

2423-2429.

- Kochhar S. P. 2000. Stable and healthful frying oil for 12th century. *Inform.* 11: 642-647.
- Indira T. N., Narayan A. V., Barhate R. S., Raghavarao k. S., Khatoon S., Channai-ah G., Res., assignee (September 30, 2004; May 24, 2005; October 28, 2004). Production of oryzanol useful in the treatment of melanin related disorders and for minimizing wrinkles involves saponifitation; dehydration and leaching of RBO soapstock. Patents Nos. US200 AI, US6896911-B2 & JP2004300034.
- Jariwalla R. J. 2001. Rice-bran products: phytonutrients with potential applications in preventive and clinical medicine. *Drug Exp Clinic Res.* 27:17-26.
- Juliano C., Cossu M., Alamanni M. C., Piu L. 2005. Antioxidant activity for gamma-oryzanol : Mechanism of action and its effect on oxidative stability of pharmaceutical oils. *International Journal of Pharmaceutics.* 299 Lupo M. P. 2001.
- Lichtenstein, A. H., Ausman, L. M., Carrasco, W., Gualtieri, L. J., Jenner, J. L., Ordovas, J. M., Nicolosi, R. J., Goldin, B. R. Schaefer, E. J. 1994. Rice bran oil consumption and plasma lipid levels in moderately hypercholesterol- emic mans. *Arterioscler. Thromb.* 14: 549-556.
- Mervyn, L. (1994). *The Vitamins explained simply.* 131-139.
- M-H, C., & CJ, B. (2003). A rapid procedure for analyzing rice bran tocopherol, tocotrienol and gamma oryzanol contents. *USDA-ARS Rice Research .*
- Moldenhauer Ka, ChampagneEt, McCaskill Dr, Guraya H. 2003. Functional products from rice, In : *Functional Foods*, Ed. Mazza, Technomic Publishing Co., Inc Lancaster . Base., pp71-89.
- Monografias.com. Recuperado el 5 de agosto de 2008, de www.monografias.com/trabajos15/salvado-arroz/salvado-arroz.shtml.
- Murase, Y., & Lishima, H. (1963). Clinical studies of oral administration of gamma oryzanol on climacteric complaints and its syndrome . *Obstetric and Gynecological Practice ,* 12,147-149.
- Nam S. H., Choi S. P., Kang M. Y., Kho H. J., Kozukue N., Griedman M. 2006. Antioxidative activities of bran extracts from twenty one pigmented rice cultivars. *Food Chemistry.* 94: 613-620.
- Nanua J. N., McGregor J. U., Godber J. S. 2000. Influence of high-oryzanol RBO on the oxidative stability of whole milk powder. *Journal of Dairy Science.* 83: 2426-2431.
- Natuurlijkerwijs. (s.f.). Recuperado el 5 de Agosto de 2008, de <http://www.natuurlijkerwijs.com/english/vitaminen.htm>.
- Neila, A., & Ruíz, F. (Diciembre de 2005). Efectos beneficiosos de una dieta rica en

- granos enteros. *Rev Chil Nutr* Vol. 32, No 3 .
- Nicolosi R. J., Ausman L. M., Hegsted D. M. 1991. Rice bran oil lowers serum total and low density lipoprotein cholesterol and apo B levels in nonman primates. *Atherosclerosis*. 88: 133-42.
- Pacheco de Delahaye, E., Peña, J., & Ortiz Domínguez, A. (4 de agosto de 2008). Composición físico-química del aceite y SA estabilizado por calor. Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias. CENIAP.
- Patel, M., & Naik, S. N. (2004). Gamma-oryzanol from RBO- A review . *Journal of Scientific e Industrial Research*,63, 569-578.
- Rong, N., Ausman L. M., Nicolosi R. J. 1997. Oryzanol decrease cholesterol absorption and aortic fatty streaks in hamsters. *Lipids*. 32: 303-309.
- Ragram T. C., Brajmaji R. U., Rukmini C. 1989. Studies on hypolipidemic effects of dietary rice bran oil in man subjects. *Nutr Rep Int*. 39: 889-95.
- Revista de la ANDI. Retos de la industria del arroz en el contexto de la cadena noviembre del 2007
- Rindi G. T. 1996. In *Present Knowledge in Nutrition*, en: Ziegler E. E., Filer L. J. Eds. Seventh Ed., ILSI Press, Washington, DC. 160-166.
- Rukmini C., Bioactive in rice bran and rice bran oil, en: Bidlack S. T., Omaye M. S., Meskin D. K. W., Topham. 2000. (Eds.). *Phytochemicals as Bioactive Agents*, Technomic Publishing Company, Inc. 851 New Hooland Avenue, Box 3535, Lancaster, Pennsylvania. 213-240.
- Saunders RM.1986 Rice bran composition and potential food uses. *Food Reviews International*, 1, 465-495.
- Scavariello, E., & Arellano, D. (1998). Gamma oryzanol: an important component in rice brain oil. 7-12.
- Sharma R. D., Rukmini C. 1987. Hypocholesteromic activity of unsaponifiable fraction of rice bran oil. *Indian J. Med. Res*. 85: 278-81.
- Stoggl, W., Huck C., Wongyai, S., Scherz, H., & Bonn, G. (2005) Simultaneous determination of carotenoids, tocopherols, and gamma oryzanol in crude RBO by liquid chromatography coupled to diode array and mass spectrometric detection employing silica C30 stationary phases. *Journal of Separation Science*, 28, 1712-1718.
- Sugano M., Tsuji E. 1996. Rice bran oil and human health. *Biomed. Environ Sci.*,9, 242-246.
- Sugano M., Tsuji E. 1997. Rice bran oil and cholesterol metabolism. *J. Nutr*. 127: 521S-524S

- Takashi, M., Fumio, T., Mitsuhiro, S., Kanji, T., Takuo, T., Satomi, T., et al (2008). Effects of dietary supplementation of ferulic acid gamma-oryzanol on integument color and suppression of oxidative stress in cultured red sea bream, *Pragus major*. *Journal of Oleo Science*, 57, 133-137.
- Tsuno.co.jp. (s.f.). Recuperado el 5 de Agosto de 2008, de <http://www.tsuno.co.jp/e/04/main2.htm>
- Xu, Z., Hua, N., & Godber, J. (2001). Antioxidant activity of tocopherol, tocotrienols, and gamma-oryzanol components from rice bran against cholesterol oxidation accelerated by 2,2'-azobis (2-methylpropionamide) dihydrochloride. *J Agric Food Chem*, 2077-2081.
- Vergheze M., Rao D.R., Chawan C.B., Walker L. T., Shackelford L. 2006. Anticarcinogenic effects of phytic acid (IP6): apoptosis as a possible mechanism of action. *Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie*. 39:1093-8.
- Wilson T. A., Ausman L. M., Lawton C. W., Hegsted D. M., Nicolosi R. J. 2000. Comparative cholesterol lowering properties of vegetable oils: Beyond fatty acids. *J Am Coll Nutr*. 19: 601-7.
- Zhimin, N., & Samuel. (2001) *et al*. Antioxidant activity of tocopherol, tocotrienols, and gamma-oryzanol components from rice bran against cholesterol oxidation accelerated by 2,2'-azobis (2-methylpropionamide) dihydrochloride. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 49, 2077-2081.

CAPÍTULO 3

ANÁLISIS EXPERIMENTAL Y DE RESULTADOS DE TÉCNICAS DE ESTABILIZACIÓN DE SALVADO DE ARROZ, MEDIANTE EL USO DE ENZIMAS, ÁCIDOS Y CALOR

Técnicas de estabilización de salvado de arroz colombiano mediante tratamiento térmico, ácido y enzimático.

Autores

Jenifer Guzmán
Diana Milena Parra
David Álvarez
Carol Díaz



INTRODUCCIÓN

El salvado de arroz (SA) contiene entre un 15 y un 20% de aceite comestible de alto valor funcional, presenta un importante contenido de ácidos grasos insaturados como el oléico, linoléico y linolénico. Además, presenta un alto contenido de vitaminas del complejo B y E como el alfa tocoferol, tocotrienoles y gamma-orizanol, compuestos químicos naturales que benefician la salud de las personas (Kennedy *et al.*, 2003; Rogers *et al.*, 1993).

El SA contiene enzimas las cuales tienen valores de pH y temperatura óptimas de actividad (pH: valores entre 7 y 8, Temperatura: 37 °C) (Aizono *et al.*, 1971) además la actividad se ve favorecida por concentraciones elevadas de calcio (Ca⁺⁺) o por la ruptura de la membrana cercana a la cascarilla (Malekian *et al.*, 2000). La acción de estas enzimas genera la liberación de ácidos grasos, lo que consiste en la incrustación en triacilglicérol en el sitio de unión 1,3 (Aizono *et al.*, 1971). Las consecuencias de estas actividades lipolíticas se manifiestan en el incremento de la acidez (la reducción del pH), el sabor jabonoso, los cambios en las propiedades funcionales y el aumento considerable de la vulnerabilidad de los ácidos grasos a la oxidación (Silva, 2005).

La reacción de oxidación sobre los lípidos insaturados (LH) libres permite la generación de radicales libres. La iniciación de este proceso se determina por la pérdida de un hidrógeno llamado radical libre (H⁺), este radical da como resultado un lípido inestable (L^{*}), que reacciona con oxígeno y produce radicales de peróxido (LOO⁻), en este proceso de propagación, los LOO⁻ reaccionan con más lípidos insaturados y forman hidroperóxidos (LOOH), el principal producto de autooxidación (Frankel, 1984).

La descomposición de los lípidos hidroperóxidos es un efecto biológico que deteriora el sabor en los alimentos grasos generando cetonas, aldehídos, alcoholes, hidrocarbonos, ésteres, furanos y lactosas (Frankel, 1982).

Cuando la capa que forma el SA no ha sido removida del grano de arroz, el aceite que contiene es completamente estable, ya que las enzimas lipolíticas se encuentran en la cubierta de la semilla y la mayor parte del aceite, en la capa contigua al grano de arroz, es decir, cada componente, se encuentra ordenado en un cubículo celular. Durante el pulimento, sucede una ruptura celular extrema por la combinación del aceite con las enzimas lipolíticas, que causa la hidrólisis de las grasas y libera ácidos grasos y glicerol en el SA (Malekian, 2000).

Para evitar la descomposición y oxidación del producto, se debe aplicar un tratamiento de estabilización. En este estudio se proponen los siguientes:

Método térmico

Se utiliza la técnica de estabilización con calor húmedo (vapor saturado), ya que el vapor actúa con un doble propósito: medio calefactor con coeficiente de transferencia de calor elevado e incrementado de la actividad de agua del salvado reduciendo la termorresistencia de las enzimas (lipasas y peroxidasas) y microorganismos que lo

contienen. El proceso de calor húmedo generalmente incluye vapor saturado (de 95 °C a 121 °C), los rangos de tiempo que se manejan en esta implementación son de 30 minutos a 1 hora, dependiendo de la temperatura que se quiera alcanzar.

Se han desarrollado estudios como el de Amarasinghe y Gangidavillage (2004), en los que se implementó el calor húmedo y otros tipos de estabilizaciones para observar la liberación de ácidos grasos en el aceite crudo extraído del SA.

En Sri Lanka, los investigadores expusieron el SA a cinco procedimientos: 1) calor húmedo, 2) calor seco, 3) fluidización, 4) estabilización química y 5) refrigeración. El mejor método para la estabilización fue el calor húmedo, a 100° C durante treinta minutos; su resultado favorable se debe a la baja presencia de ácidos grasos libres presentes en el aceite de SA.

El estudio de la aplicación de tratamientos térmicos sobre el SA se ha desarrollado hace unos años en varios países pero no en Colombia. Los investigadores que han implementado estas técnicas determinaron la eficiencia del método basados en las cuantificaciones nutricionales del SA, que dio muy buenos resultados con la implementación de calor húmedo y microondas.

Este proyecto pretende acoger las mejores condiciones bajo las que se han desarrollado los otros métodos, dándoles una visión industrial, además de suministrar los resultados sobre la cuantificación funcional del SA colombiano, ya que no existen investigaciones acerca de este producto. Además, este es un procedimiento económico, provee calor uniforme al SA y permite un fácil manejo en las industrias.

Método enzimático

La mayoría de procesos de estabilización se realizan mediante calor. Las temperaturas y presiones altas pueden afectar componentes valiosos del SA. Para evitar este efecto, es posible recurrir a la estabilización del SA por medio de una proteasa, método nuevo para conservar de manera natural las propiedades funcionales de este subproducto (Hammond, 1998).

Hammond llevó a cabo un experimento de estabilización con una proteasa fermentada de varios hongos, y en su estudio propone como otra opción, el de la papaína. Sin embargo, aún no existen estudios sobre estabilización del SA por medio de esta enzima, ni acerca de su efecto sobre las lipasas.

Las investigaciones respecto a la interacción de las proteasas y las lipasas se ha limitado al cuerpo humano, en el que se comprobó la disminución de la actividad lipolítica de las lipasas humanas por medio de la adición de tripsina y quimotripsina (Thiruvengadam *et al.*, 1963).

Pese a la carencia de estudios sobre la estabilización del SA con proteasas, sí existen investigaciones que relacionan este subproducto con dichas enzimas.

Seok (2007) generó hidrolizados proteicos altamente nutricionales y digeribles de SA, al mezclarlo con papaína; Hamada (1998) llevó a cabo un estudio similar, usando una mezcla de varias endoproteasas. Estos ejemplos indican que el uso de proteasas puede ser un método eficiente para recuperar la calidad nutricional alta y el valor agregado que tienen las proteínas del SA (Hamada, 1998).

La papaína también se ha usado en la hidrólisis de proteínas de la harina de arroz integral, con el fin de mejorar sus propiedades reológicas (Renzetti *et al.*, 2009).

Ron (1982) desarrolló un experimento similar con harina de ajonjolí desengrasado.

Además la bromelina también fue estudiada en el presente estudio, ya que esta cuenta con características similares a la papaína.

Gracias a este estudio se generará un aporte académico a la industria. Por ende, es importante extender la vida útil de este subproducto para asegurar la preservación del contenido de ácidos grasos insaturados, tocoferoles, tocotrienoles y γ -orizanol, lo que generará un valor agregado a las investigaciones anteriormente mencionadas, las cuales como ya se hizo notar, no se enfocan hacia el estudio de la permanencia de los componentes funcionales del producto.

Método ácido

Las enzimas que catalizan las reacciones de hidrólisis y peroxidación tienen un pH óptimo para su funcionamiento. En el caso de las lipasas este pH debe estar entre 7,5 y 8 (Sastry, 1973), y en el caso de las peroxidasas, este rango es de 5 a 5,5 (Castro *et al.*, 2006). Al modificar el pH, el grado de ionización de los residuos ionizables de las enzimas (amino, carboxilo y otros tipos) pueden alterarse cambiando la conformación del sitio activo de la enzima y su estructura, lo que genera una disminución marcada de la actividad enzimática (Conn *et al.*, 2001), y además produce condiciones de desnaturalización enzimática parcial.

Se consultó la patente de Jiaxun Tao (2001), quien estabilizó SA parbolizado (cocción húmeda y secado con cáscara), con un ácido comestible de características antioxidantes, con lo que aumentó la vida útil del producto a seis meses, en condiciones ambientales de almacenamiento. Este parámetro se midió empleando el método de peróxido (Foundation, 1984). Las concentraciones de ácido estabilizador fueron de 0,1% y 2% (p/p), dependiendo de si el SA era extruido o no, y del tipo de ácido empleado. En este estudio no se reporta el contenido de componentes funcionales.

Por otro lado, Prabhakar *et al.* (1986) publicaron un estudio que contempló la estabilización del SA empleando ácido clorhídrico comercial (28-30%) en aspersión, además se evaluaron dos formas de mezclado: manual y mecánico. Como variable de respuesta se tomó el contenido de aceite y la cantidad de ácidos grasos libres, usando el método AOCS. El pH establecido fue de 4, determinado por suspensión del sólido en agua (Relación: 10g/100ml).

La mezcla manual no logró una homogeneidad en la muestra, así que produjo una dispersión mayor de la variable de respuesta. Por otro lado los resultados arrojados en el proceso de mezcla mecánica presentaron una dispersión menor de los datos. En este estudio tampoco se reporta el contenido de componentes funcionales del SA después del tratamiento ácido.

Por último, si presenta resultados positivos, este tipo de estabilización es de fácil aplicación en la industria arrocera en términos del manejo del proceso, a pesar del incremento de la humedad producida por la incorporación de agua en el tratamiento.

ESTABILIZACIÓN TÉRMICA: ESTABILIZACIÓN DEL SALVADO DE ARROZ COLOMBIANO MEDIANTE TRATAMIENTO TÉRMICO PARA EVALUAR LA CONSERVACIÓN DE ÁCIDOS GRASOS INSATURADOS Y ANTIOXIDANTES (TOCOFEROLES Y TOCOTRIENOLES)

Para evitar la pérdida de ácidos grasos insaturados y antioxidantes se propone aplicar el tratamiento de calor húmedo evaluado a tres temperaturas (80, 100 y 120 °C) y a tres diferentes tiempos de exposición (3, 5 y 10 minutos), esto con el fin de inactivar las enzimas que promueven el rápido deterioro, como las lipasas (hidrólisis) y las peroxidasas (oxidación). Se evaluó la estabilización y los antioxidantes de acuerdo a la liberación de ácidos grasos libres insaturados (AGLI) (suma de omegas: ω -3: Linolénico, ω -6: Linoléico, ω -9: Oléico), y la concentración de los tocoferoles (suma de α -T, β -T, γ -T y δ -T) y tocotrienoles (suma de α -T3, β -T3, γ -T3 y δ -T3) en el transcurso del tiempo (0, 15 y 30 días).

MATERIALES Y MÉTODOS

Para evitar la pérdida de ácidos grasos insaturados y antioxidantes se propone aplicar el tratamiento de calor húmedo evaluado en tres temperaturas (80, 100 y 120 °C) y en tres tiempos de exposición (3, 5 y 10 minutos), con el fin de inactivar las enzimas que promueven el rápido deterioro, como las lipasas (hidrólisis) y las peroxidasas (oxidación).

Se consideró como estable las muestras que no presentaron liberación de ácidos grasos libres insaturados (AGLI) (suma de omegas: ω -3: linolénico, ω -6: linoléico, ω -9: oleico), y la conservación de antioxidantes tocoferoles (suma de α -T, β -T, γ -T y δ -T) y tocotrienoles (suma de suma de α -T3, β -T3, γ -T3 y δ -T3) en el transcurso del tiempo (0, 15 y 30 días).

Características del salvado de arroz

El SA utilizado fue identificado como mezcla de los pulidos de planta (pulido 1+ pulido 2 + pulido 3) con un tamaño de partícula de 450 μ m, donado por el molino Arroz del Llano, proveniente de Villavicencio, Colombia.

Una vez recolectadas en los molinos, las muestras de salvado fueron conservadas en empaque individual a baja temperatura (-20 °C) y selladas al vacío (ElectroluxR, H 420).

Estabilización del salvado

Estabilización a 120 °C

Se precalentó la autoclave eléctrica (All-americanR) hasta generar vapor saturado. Después, se introdujo en esta una bandeja circular de aluminio que contenía 150 g de SA con una humedad del 10 al 11%, verificando que tuviera un espesor de 3 cm. Se

cerró el autoclave y se dejó calentar por 27 minutos. Pasado este tiempo, y observando que la temperatura de la autoclave alcanzara los 120 °C, se sometió la muestra a los tiempos de estabilización deseados: 3, 5 y 10 minutos. La temperatura del sistema fue controlada manualmente en 120 °C, utilizando la válvula de alivio como elemento de control (gráfica 27).

Se retiró la bandeja con el salvado (humedad 17-18%), se transfirió a papel aluminio y se llevó a un secador de convección forzada (MLWR) a 40 °C. Se dejó por 18 minutos para obtener el salvado final con una humedad de entre 8 y 10%.

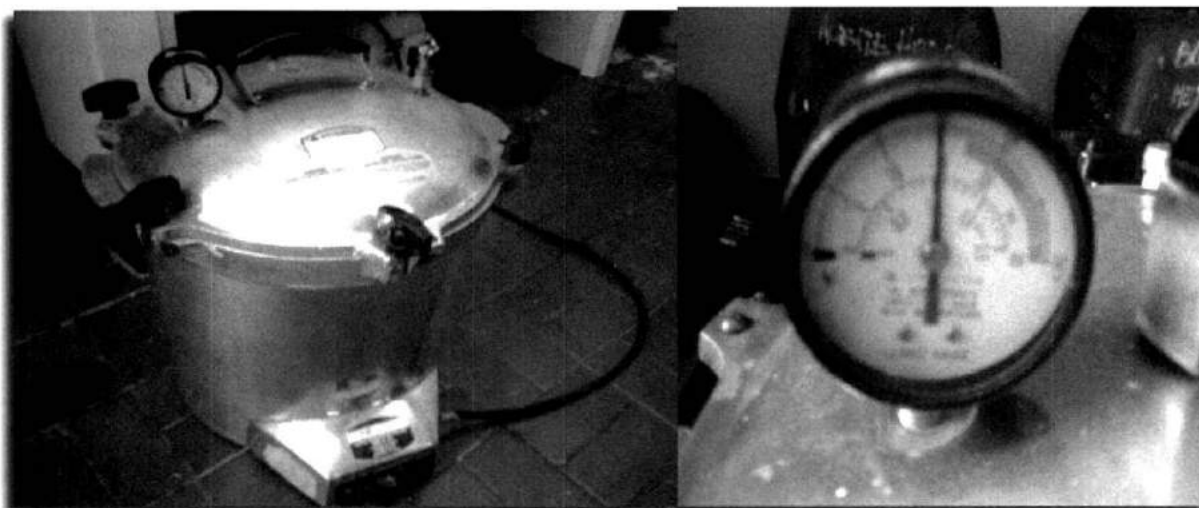


Figura 27. Montaje experimental para estabilización de 120 °C

Estabilización a 100 °C

El desarrollo de la experimentación es el mismo que el de 120 °C, el cambio es el tiempo de calentamiento de la muestra, que fue hasta el momento de la ebullición del agua de la autoclave. En este caso, la válvula de alivio de la autoclave permaneció totalmente abierta para asegurar los 100 °C. El tiempo de secado fue de 12 minutos (de 10 a 11% de humedad), ya que el salvado salió de la estabilización con una humedad de 14-15%, que es menor que para la anterior condición.

Estabilización a 80 °C

En la estufa de gas (Josearraga®), se dispusieron dos recipientes metálicos, de forma que permitiera el flujo de vapor del agua en ebullición a la matriz vegetal (gráfica 28).



Gráfica 28. Montaje experimental para estabilización de 80 °C

Se introdujo la bandeja de aluminio con el salvado, con un espesor de 3 cm y humedad del 10 al 11%. Una bandeja de icopor se posicionó en la parte superior de la olla permitiendo el ingreso de aire y la liberación de presión para mantener los 80 °C. El control de la temperatura se llevó a cabo mediante tres termocuplas situadas así: una en el fondo de la bandeja de salvado, otra en el medio de la bandeja y otra en el ambiente dentro de la olla. Posteriormente se retiró la bandeja con el salvado con una humedad de 14-15%, se transfirió a papel aluminio y se llevó a un secador de convección forzada (MLW®) a 40 °C. Se secó por 12 minutos para obtener el salvado con una humedad final entre el rango del 8 al 10 %.

Análisis de muestras

Extracción de aceite del salvado de arroz estabilizado

La extracción de aceite crudo de SA se llevó a cabo como se describe en el capítulo 1, gráfica 2.

Separación y cuantificación de ácidos grasos insaturados libres del aceite extraído del salvado de arroz estabilizado

La metodología para la separación de ácidos grasos insaturados libres se explica en la metodología expuesta en el capítulo 1, gráfica 5.

La cuantificación de los de ácidos grasos insaturados libres (oléico, linoléico y linolénico) por HPLC se realizó bajo las condiciones descritas en el capítulo 1 expuestas en "Condiciones cromatográficas II para cuantificación de ácidos grasos insaturados (oléico, linoléico y linolénico) libres y totales".

Separación y cuantificación de tocoferoles y tocotrienoles del aceite extraído del salvado de arroz estabilizado

La metodología para la separación de tocoferoles y tocotrienoles se explica en la metodología expuesta en el capítulo 1, gráfica 3.

La cuantificación de los de tocoferoles y tocotrienoles por HPLC se realizaron bajo las condiciones descritas en el capítulo 1 expuestas en "Condiciones cromatográficas II para cuantificación de tocoferoles, tocotrienoles y γ -orizanól".

Cálculo de las concentraciones de los componentes funcionales

Para la cuantificación de los componentes funcionales se utilizó una curva de calibración especificada por área (mV min) vs Concentración ($\mu\text{g/ml}$), ésta arrojó una ecuación de la curva que permitió el cálculo de la concentración del compuesto de interés por interpolación del área arrojada por el cromatograma.

Posteriormente se empleó la Ecuación (5) para hallar la concentración del componente de interés en 100 gramos de SA (bs):

$$X \mu\text{g} * 1 \text{ ml} * \text{g aceite salvado} * 10^{-6} * 100 = \text{g componente} \quad (5)$$

$$\text{ml gaceite (13 g - \%H)} \quad 1 \mu\text{g} \quad 100 \text{ g de SA (bs)}$$

Siendo,

X = dato obtenido mediante la interpolación por la ecuación de la curva ($\mu\text{g/ml}$).

g_{aceite} = gramos de aceite de SA tomados para la prueba (g).

$g_{\text{aceite salvado}}$ = contenido de aceite extraído del SA (g).

%H = humedad del SA (%).

Nota. Los resultados para el Gamma Oryzanól no se tuvieron en cuenta, puesto que las cantidades obtenidas a través del tiempo para todas las muestras no mostraron una tendencia lógica con la cual se pudiera dar un análisis acertado.

Análisis estadístico

Los factores utilizados en esta experimentación fueron temperatura, tiempo de exposición al calor húmedo (tiempo de estabilización) y tiempo de muestreo. Los niveles que se usaron fueron la temperaturas de 80, 100 y 120 °C; tiempo de exposición de 3, 5, 10 minutos; el tiempo de muestreo fue en los días 0, 15 y 30.

Los datos obtenidos se sometieron a la prueba de normalidad, y después se ejecutó un análisis de varianza (ANOVA MULTIFACTOR), la comparación se efectuó con la prueba de rangos múltiples de Duncan, para una probabilidad de $P \leq 0.05$, empleando el paquete estadístico Statgraphics ® Plus 4.0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

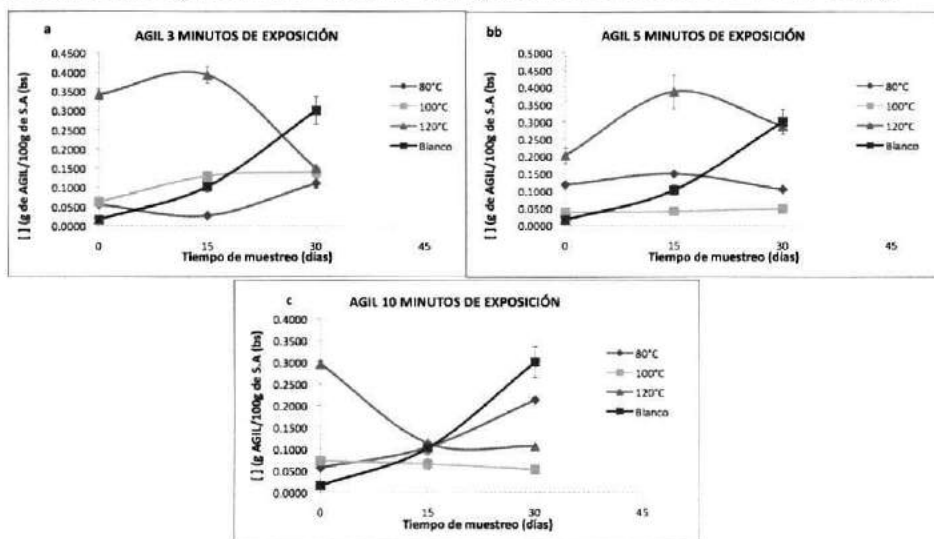
Análisis de ácidos grasos insaturados libres (AGIL)

El aceite del SA sufre diferentes transformaciones, debido a que el enlace éster de los acilglicerol es susceptible a la hidrólisis química y enzimática; a su vez, los ácidos grasos insaturados se degradan por reacciones oxidativas, y producen compuestos volátiles que generan olores y sabores desagradables (Pérez, 2008).

Por lo tanto, una manera indirecta de medir la estabilidad en el SA fue la cuantificación de ácidos grasos libres insaturados (suma de omegas: ω -3: oleico, ω -6: linoléico, ω -9: linolénico), que proporcionan una calidad funcional a este subproducto de la industria arrocera. El muestreo de los ácidos grasos insaturados libres se llevó a cabo durante los días 0, 15 y 30.

Análisis del tratamiento térmico a 120 °C

La gráfica 29 (a, b y c) muestra los resultados del estudio para las variables de tratamiento (tiempo de exposición al calor húmedo y temperatura del tratamiento) y los tiempos de muestreo, con respecto a las concentraciones de ácidos grasos insaturados libres. Se puede notar que la concentración de AGIL en el SA tratado a 120 °C en el tiempo inicial, es aproximadamente veinte veces mayor que la del blanco. Éste fenómeno puede atribuirse a la temperatura, a la acidez formada (AGIL) y a las condiciones de humedad propias del tratamiento térmico evaluado, ya que estas condiciones favorecen las reacciones de hidrólisis química (Barber *et al.*, 1987; Perez, 2008). Estos factores generan una ruptura del enlace éster de los triglicéridos, y liberan glicerol y ácidos grasos insaturados, debido al aumento en la humedad de la matriz de SA, de 6 a 7 puntos de humedad más que para los otros tratamientos (humedad inicial: 11%, humedad final: de 17 a 18%).



Gráfica 29. Comportamiento de las muestras expuestas a diferentes temperaturas y a diferentes tiempos de exposición para los AGIL. a) SA expuesto a 3 minutos de estabilización; b) SA expuesto a 5 minutos de estabilización; c) SA expuesto a 10 minutos de estabilización.

El análisis de varianza arrojó diferencias significativas para las temperaturas de los tratamientos, mientras que los tiempos de exposición y de muestreo no presentaron diferencias tan radicales. Mediante la prueba de Duncan para la temperatura de tratamiento, se encontró que el experimento realizado a 120 °C presentó diferencias con respecto a los de 80 y 100 °C (tabla 39).

Es importante apreciar que para todos los blancos (sin tratamiento de estabilización) los AGIL aumenta continuamente con el tiempo de muestreo (pendiente creciente), lo que no ocurre para la mayoría de las muestras tratadas con calor (proceso de estabilización).

Tabla 39. Tabla del análisis de varianza para los ácidos grasos insaturados libres y diferencias significativas entre las temperaturas.

ANÁLISIS DE VARIANZA		DUNCAN	
Factores	Valor de P	Temperatura (°C)	Diferencia
Temperatura (°C)	*0,0000	80 – 100	0,0317803
Tiempo de exposición (minutos)	0,1414	80 – 120	&-0,148888
Tiempo de muestreo (días)	0,4969	100 - 120	&-0,180668

* Indica diferencias significativas a nivel de $p \leq 0.05$; & denota diferencia significativa entre niveles.

A diferencia de los otros, en este tratamiento se observó una disminución en la concentración de AGIL a los treinta días de muestreo. Es posible que dicho efecto se deba a la oxidación de los enlaces insaturados presentes en los AGIL; mientras que la auto-oxidación se explique por la presencia de luz y por el O_2 presente en el aire, debido a que la adición de este componente al enlace doble de la cadena del ácido graso insaturado forma peróxidos o hidroperóxidos, compuestos inestables que se descomponen en hidrocarburos, como aldehídos y cetonas (Alton, 1984).

Otros factores que afectan la concentración de los AGIL con respecto al tiempo son las enzimas presentes en el SA como la peroxidasa, ya que al ser termorresistente, tiende a recuperar su actividad catalítica después de inactivarse por el calor a 120 °C. Esta regeneración se evidencia cuando el medio ofrece factores favorables como la humedad, pues cuanto menor es la cantidad de agua, mayor estabilidad al calor presenta, por lo tanto es posible que la humedad de 11 a 17% no fuera suficiente para la desnaturalización de este biocatalizador. Para humedades entre 20 y 35% y a la misma temperatura se ha comprobado la desnaturalización de esta enzima (Barber *et al.*, 1987).

Análisis del tratamiento térmico a 100 °C

Con respecto al tiempo inicial para el tratamiento a 100 °C, la concentración de los AGIL fue, aproximadamente, cuatro veces mayor, comparada con el blanco. Este fenómeno fue más leve que el del ensayo a 120 °C, y puede ser atribuido a la menor temperatura y humedad de la muestra evaluada.

En el tiempo de muestreo 15 y 30 días, los AGIL permanecieron casi constantes (acercándose a una pendiente de cero). Esto se confirmó mediante el análisis estadístico ANOVA para los diferentes tiempos de muestreo, que reveló que no existen diferencias significativas con respecto a la liberación de AGIL ($p=0,4969$; $\alpha=0,05$).

Para el tiempo de exposición al calor húmedo, se evidenció un $p=0,1414$ ($\alpha=0,05$), lo que permite asegurar que el efecto del tiempo de exposición (3, 5 y 10 min) no fue estadísticamente significativo ($p>0,05$); por lo tanto, se recomienda la estabilización a tres minutos de exposición con tratamiento térmico, ya que requiere menos tiempo y vapor, y esto se traduce en beneficios económicos.

El grado de estabilidad del SA generado a la condición de 100°C puede ser atribuido a la desnaturalización de las enzimas (lipasas I y II, lipoxigenasas), ya que a temperaturas mayores a 80°C las estructuras secundaria, terciaria y cuaternaria sufren efectos de ruptura de enlaces generados por los puentes de hidrógeno, interacciones hidrofóbicas y puentes salinos (Barber *et al.*, 1987).

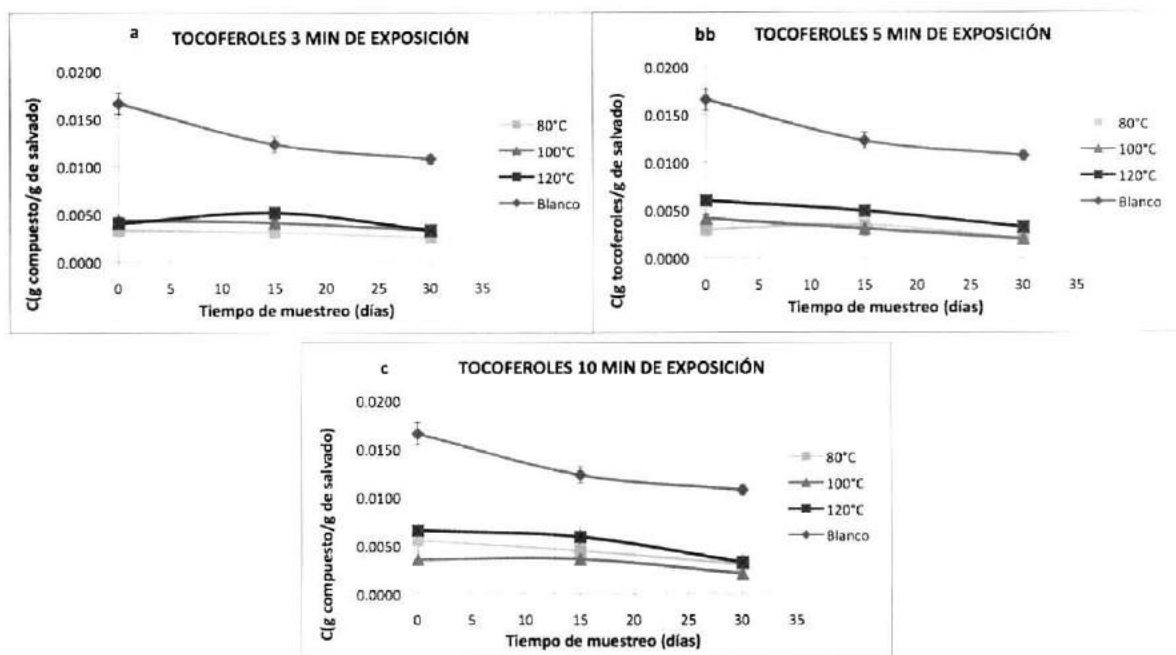
Análisis del Tratamiento Térmico a 80 °C

El comportamiento del SA tratado a 80 °C fue inestable desde el punto de vista de AGIL. La concentración de AGIL a través del tiempo de muestreo se incrementó (aumento de la pendiente), pero en menor proporción que el blanco, por lo tanto, no se efectuó una estabilización eficiente bajo estas condiciones.

Esta inestabilidad puede atribuirse a la regeneración o recuperación de las enzimas lipasas (I y II) y lipoxigenasas después del tratamiento, ya que su desnaturalización se da a temperaturas mayores de 80 °C, lo que permite el reacomodamiento de la estructura proteica del biocatalizador, por lo tanto, con el tiempo, puede recuperar parte de su estructura activa (Barber *et al.*, 1987).

Análisis de tocoferoles y tocotrienoles

En la gráfica 30 (a, b y c) se muestran los resultados para las variables de tratamiento (tiempo de exposición al calor húmedo y temperatura del tratamiento) y los tiempos de muestreo con respecto a las concentraciones de tocoferoles.



Gráfica 30. Comportamiento de las muestras expuestas a diferentes temperaturas y a diferentes tiempos de exposición para los tocoferoles. a) SA expuesto a 3 minutos de estabilización; b) SA expuesto a 5 minutos de estabilización; c) SA expuesto a 10 minutos de estabilización.

Los aceites y grasas naturales contienen sustancias antioxidantes capaces de capturar los radicales para evitar la oxidación de los ácidos grasos insaturados libres, la preservación de dichos compuestos determina un efecto de estabilidad en las muestras, además de conservar la funcionalidad en el SA

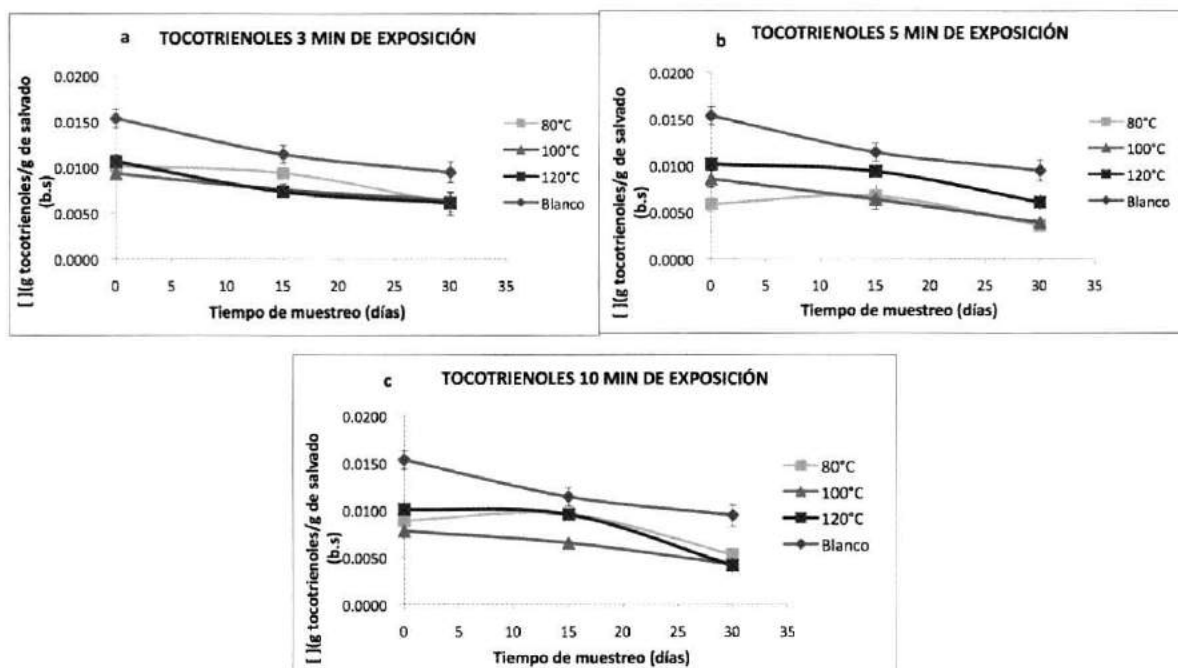
Al observar la gráfica 30 (a, b y c) se observan pérdidas en la concentración inicial de tocoferoles en los tratamientos con respecto al blanco, estas oscilan entre el 60 y el 80%, para todos los tiempos de exposición evaluados. Esto puede deberse a que los tocoferoles presentes en el SA posiblemente son sensibles a altas temperaturas, según Eitenmiller & Lee (2004) estos compuestos sufren degradación de un 28 a un 60% cuando son expuestos por encima de 60 °C. La luz y el oxígeno son factores que afectan también este fenómeno (Navarro *et al.*, 2004), lo que ocasiona una pérdida de la capacidad antioxidante debido a la apertura del heterociclo convirtiéndose posiblemente en tocoquinonas (Alton, 1984).

El análisis ANOVA arrojó diferencias estadísticamente significativas en la relación concentración de tocoferoles, temperatura de los tratamientos y tiempo de muestreo (días). Esto se evidencia en la degradación de los tocoferoles presentes en el SA en el tiempo de 0 y 30 días, en el intervalo de muestreo de 0 y 15 días no se observaron diferencias estadísticamente significativas en la concentración de dichos compuestos, por lo tanto se infiere que la muestra es estable en tiempos (tabla 40). Tampoco se observaron diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$) con respecto a los tiempos de exposición.

Tabla 40. Tabla del análisis de varianza para los tocoferoles y diferencias significativas entre la temperatura y el tiempo de muestreo.

ANÁLISIS DE VARIANZA		DUNCAN		DUNCAN	
Factores	Valor de P	Temperatura (°C)	Diferencia	Tiempo de muestreo (días)	Diferencia
Temperatura (°C)	*0,0252	80 – 100	-0.000152	0 – 15	0,0007259
Tiempo de exposición (minutos)	0,0625	80 – 120	^{&} -0.001107	0 – 30	^{&} -0,001790
Tiempo de muestreo (días)	*0,0004	100 - 120	^{&} -0.000955	15 - 30	^{&} -0,001066

* Indica diferencias significativas a nivel de $p \leq 0.05$.; & denota diferencias significativas entre niveles.



Gráfica 31. Comportamiento de las muestras expuestas a diferentes temperaturas y a diferentes tiempos de exposición para tocotrienoles. a) SA expuesto a 3 minutos de estabilización; b) SA expuesto a 5 minutos de estabilización; c) SA expuesto a 10 minutos de estabilización.

En la gráfica 31 (a, b y c) se observan pérdidas en la concentración inicial de tocotrienoles en las muestras con relación al blanco, estas oscilan entre el 30 y el 60% para todos los tiempos de exposición evaluados. Una explicación para esto puede ser que, como en el caso de los tocoferoles, los tocotrienoles son sensibles a las temperaturas mayores a 60 °C (Eitenmiller & Lee, 2004), luz y el oxígeno (Navarro *et al.*, 2004), de modo que se convierten en tocotrienolquinonas por apertura del heterociclo, y así pierden su capacidad antioxidante (Baldenius *et al.*, 2004).

Los factores que presentaron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) sobre la conservación de los tocotrienoles fueron el tiempo de exposición (minutos) y el tiempo de muestreo (días), como se observa en la tabla 36. La temperatura del tratamiento del SA no mostró diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$) entre estos. Con respecto al tiempo de muestreo, los tocotrienoles disminuyen su concentración en el transcurso de los 30 días, aunque en el lapso de 0 a 15 días se evidenció una conservación de este componente.

En la tabla 41 se muestra el análisis de varianza para los tocotrienoles y diferencias significativas entre el tiempo de exposición y el tiempo de muestreo.

Tabla 41. Tabla del análisis de varianza para los tocotrienoles y diferencias significativas entre el tiempo de exposición y el tiempo de muestreo.

ANÁLISIS DE VARIANZA		DUNCAN		DUNCAN	
Factores	Valor de P	Tiempo de exposición (minutos)	Diferencia	Tiempo de muestreo (días)	Diferencia
Temperatura (°C)	0.0695	3 – 5	⁸ 0.001821	0 – 15	0.000678
Tiempo de exposición (minutos)	*0,0082	3 – 10	⁸ 0.002508	0 – 30	⁸ -0.002894
Tiempo de muestreo (días)	*0.0016	5 – 10	0.000687	15 - 30	⁸ -0.002215

* Indica diferencias significativas a nivel de $p \leq 0.05$.; & denota diferencias significativas entre niveles

Los tocoferoles y tocotrienoles se estabilizaron entre el día 0 y 15, por lo tanto, la conservación de los componentes antioxidantes es factible para dicho intervalo.

CONCLUSIONES

La concentración de tocoferoles fue casi constante para los tiempos de muestreo de 0 a 15 días, e independientes de los tiempos de exposición evaluados (3, 5 y 10 minutos). En la mayoría de los casos, la concentración de tocotrienoles fue casi constante para estos tiempos, e independiente de la temperatura del tratamiento (80, 100 y 120 °C).

El SA evaluado a 120°C y a las condiciones experimentales de este estudio no fue efectivo debido a la alta liberación de AGIL tras el proceso de estabilización (tiempo inicial).

Referencias bibliográficas

- Alton, E. 1984. Aceites y grasas industriales. Editorial Reverté SA España. pp.41-43.
- Aizono, Y.; Funatsu, M.; Hayashi, K.; Inamasu, M.; Yamaguchi, M. 1971. Biochemical studies of rice bran lipase. Part II. Chemical properties, *Agricultural Biological Chemistry*, 35, 1973-1979.
- Amarasinghe, B.; Gangodavilage, N. 2004. Rice Bran Oil Extraction In Sri Lanka Data for Process Equipmnet Desing, *Institution of Chemical Engineers*, 82, 54-59.
- Baldenius, K.; Scköder, H.; Klämer, K.; Schein, K.; Strümer, R. 2004. Productos de ciclizado de tocotrienolquinona con acción antihipercolesterol. Patente N° 2 218 448. España.
- Barber, S.; Benedito, B. 1987. El SA una materia prima subutilizada. Instituto de agroquímica y tecnología de alimentos. España. pp 60-80
- Chen, M.; Bergman, C.J. 2005. A rapid procedure for analysing rice bran tocopherol, tocotrienol y gamma-Orizanol contents, *Journal of Food Composition and Analysis*. 18. pp 319-331.
- Devlin, T. M. 2004. Bioquímica: Libro de texto con aplicaciones clínicas, Reverte, Cuarta Edición, España.
- Eitenmiller, R.; Lee, J. 2004. Vitamin E: Food chemistry, composition and analysis. Marcel Dekker Inc. USA. pp. 121;250.
- Frankel, E.N. 1984. Lipid oxidation: Mechanisms, products and biological significance, *Journal of American Oil Chemists Society*. 61. 1908-1916.
- Hu, W.; Wells, J.H.; Shin, T.S.; Godber, J.S. 1996. Comparision of Isopropanol and hexane for extraction of vitamin and Oryzanols from stabilized rice bran, *Journal of the American Oil Chemists Society*. 73. 1653-1656.
- Malekian. F.; Ramu, M.; Prinyawiwatkul, W.; Marshall, W.; Windhauser, M.; Ahmedna, M. 2000. Lipase and Lipoygenase Activity, Functionality, and nutrient Losses in Rice Bran during storage, *Bulletin Number 870*, pp 1-69.
- Navarro. G; Bringas. A; Pacheco. A. 2004. Nueva herramienta para el desarrollo de la oxidación de los ácidos grasos, una de las causas fundamentales de la pérdida de calidad de los alimentos para la acuicultura. *Avances de nutrición acuícola VII*. México. pp 480-503.
- Parrado, J.; Miramontes, E.; Jover, M.; Gutiérrez, J.F.; Teran, L.C.; Bautista, J. 2006. Preparation of a rice bran enzymatic extract with potencial use as fuctional food, *Food Chemistry*, 98, 742-748.
- Pérez. J. 2008. Lípidos en los alimentos, Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de estudios superiores. España. pp 2-5.
- Pestana, V.; Zambiasi, R.; Mendonça, C.; Bruscatto, M.H.; Ramis-Ramos, G. 2009. Influencia del procesado industrial sobre las características químico-físicas y contenido en lípidos y antioxidantes del SA, *Grasas y aceites*, 60, 184-193.

ESTABILIZACIÓN DEL SALVADO DE ARROZ COLOMBIANO MEDIANTE TRATAMIENTO ENZIMÁTICO (papaína) PARA EVALUAR LA CONSERVACIÓN DE ÁCIDOS GRASOS INSATURADOS Y ANTIOXIDANTES (TOCOFEROLES Y TOCOTRIENOLES)

En este estudio se experimentó con la enzima proteolítica papaína como medio de estabilización, mezclando dicha enzima con el salvado. Se hicieron distintas combinaciones, cuyas variables influyentes fueron la relación agua-salvado (3:1, 5:1, 10:1) y la temperatura (ambiente y 40 °C).

Después del proceso de mezclado, el SA fue secado con aire caliente (40 °C), y se conservó a la intemperie por 60 días.

El grado de estabilización se determinó por la concentración de ácidos grasos libres insaturados y de antioxidantes de las muestras, con respecto al tiempo (0, 15, 30 y 60 días), y fueron comparados con los valores arrojados por una muestra sin tratamiento (blanco).

MATERIALES Y MÉTODOS

Características del salvado de arroz

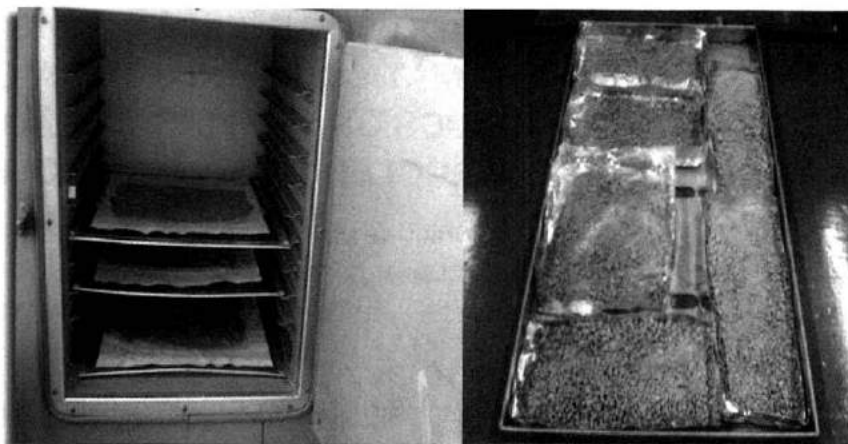
Las características del SA son iguales a las características expuestas en el método térmico de estabilización.

Estabilización del salvado

Se tomaron tres muestras de 160 g cada una, y se mezclaron con agua en una relación 3:1, 5:1 y 10:1, luego se les agregó 0,16 g de papaína a cada mezcla. La determinación de la cantidad de enzima se basó en el experimento de Hammond.

Las muestras se tomaron por triplicado para cada mezcla, a condiciones promedio de temperatura ambiente de 18,5 °C y a 40 °C y pH de 6,8.

El proceso de mezclado de todas las muestras duró diez minutos a velocidad constante gracias al agitador. Después de dicho tiempo, se filtró la mezcla con una seda, para separar la mayor cantidad de agua del SA. Este procedimiento representó una pérdida, en promedio, del 34,3% del SA. Las muestras húmedas se llevaron a un secador por convección forzada MLWR a 40 °C durante 7,8 horas en promedio (gráfica 32), hasta que el valor de la humedad se encontrara entre 8 y 11% (Hammond, 1998), luego se dispuso a la intemperie durante 60 días.



Gráfica 32. Proceso de secado y almacenamiento a la intemperie para el proceso de estabilización por papaína.

Análisis de muestras

Extracción de aceite del salvado de arroz estabilizado

La extracción de aceite crudo de SA se llevó a cabo como se describe en el capítulo 1, gráfica 2.

Separación y cuantificación de ácidos grasos insaturados libres y totales del aceite extraído del salvado de arroz estabilizado

La metodología para la separación de ácidos grasos insaturados libres se explica en la metodología expuesta en el capítulo 1, gráfica 5 y la de totales se presenta en el mismo capítulo en la gráfica 4.

La cuantificación de los de ácidos grasos insaturados libres (oléico, linoléico y linolénico) por HPLC se realizó bajo las condiciones descritas en el capítulo 1 expuestas en “Condiciones cromatográficas II para cuantificación de ácidos grasos insaturados (oléico, linoléico y linolénico) libres y totales”.

Separación y cuantificación de tocoferoles y tocotrienoles del aceite extraído del salvado de arroz estabilizado

La metodología para la separación de tocoferoles y tocotrienoles se explica en la metodología expuesta en el capítulo 1, gráfica 3.

La cuantificación de los de tocoferoles y tocotrienoles por HPLC se realizó bajo las condiciones descritas en el capítulo 1 expuestas en “Condiciones cromatográficas II para cuantificación de tocoferoles, tocotrienoles y γ -orizanol”.

Cálculo de las concentraciones de los componentes funcionales

Para la cuantificación de los componentes funcionales se utilizó una curva de calibración especificada por área (mV min) vs concentración ($\mu\text{g/ml}$), esta arrojó la ecuación de la curva, con la que se calculó la concentración del compuesto de interés por interpolación de esta área.

Posteriormente, se empleó la ecuación (5) para hallar la concentración del componente de interés en 100 gramos de SA (bs).

Las variables importantes en el proceso de estabilización fueron: la cantidad de agua por cantidad de SA, la temperatura y el tiempo de almacenamiento del SA estabilizado; las variables de respuesta de este estudio fueron la cuantificación de AGLI y de antioxidantes. Como para las tres proporciones de agua-salvado de arroz se emplearon dos temperaturas, cada una por triplicado y en cuatro tiempos de almacenamiento (tiempo 0, 15 días, 1 mes y 2 meses), el total de muestras fue de 84, incluyendo los 12 blancos, que se analizaron en los mismos tiempos. A cada una se le realizó el análisis de las dos variables de respuesta.

El resultado de cada muestra se calculó promediando los triplicados; la correlación de los datos se determinó mediante la desviación estándar y el coeficiente de variación. Además, se comprobó estadísticamente la normalidad de los resultados de cada tratamiento, incluso el blanco, en todos los tiempos y para cada compuesto funcional del SA. Con base en lo anterior, se plantearon análisis de varianza (ANOVA) para determinar la influencia de las variables sobre los resultados, y se aplicó el test de Duncan para analizar las diferencias significativas entre los rangos para cada una, con una significancia del 95%, por medio del paquete estadístico Statgraphics Plus versión 5.1.

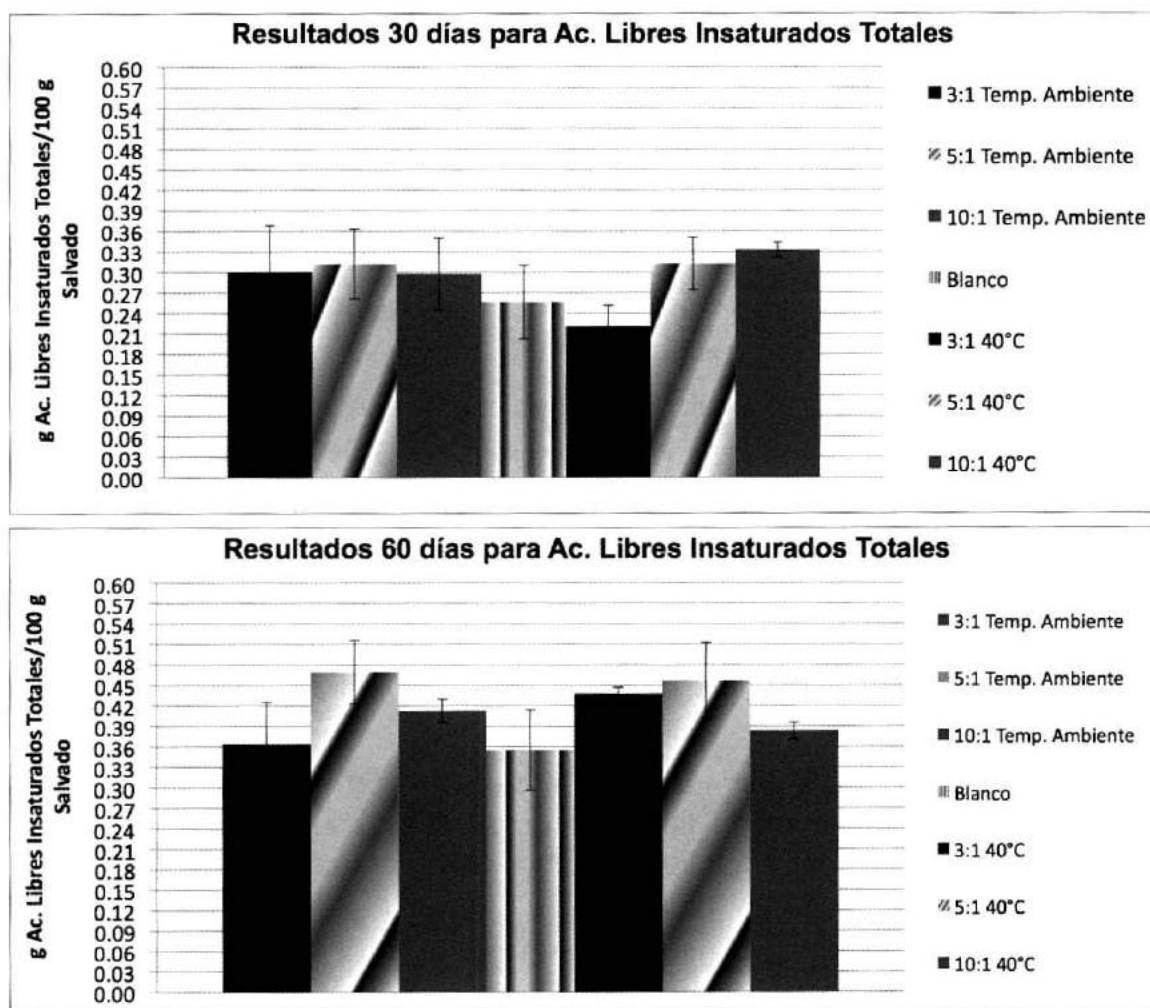
Nota. Los resultados para el gamma-orizanol no se tuvieron en cuenta, puesto que las cantidades obtenidas a través del tiempo para todas las muestras no mostraron una tendencia lógica con la cual se pudiera dar un análisis acertado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de este estudio se dividen en dos partes: la primera es la cuantificación de ácidos grasos libres insaturados totales (AGLIT), que representa la suma de las cantidades obtenidas de oléico, linoléico y linolénico en 100 g de SA, y la segunda es la cuantificación de antioxidantes (tocoferoles y tocotrienoles). Los resultados para el gamma-orizanol no se tuvieron en cuenta, puesto que las cantidades obtenidas a través del tiempo para todas las muestras no mostraron una tendencia lógica, que permitiera un análisis acertado.

Ácidos grasos libres insaturados totales

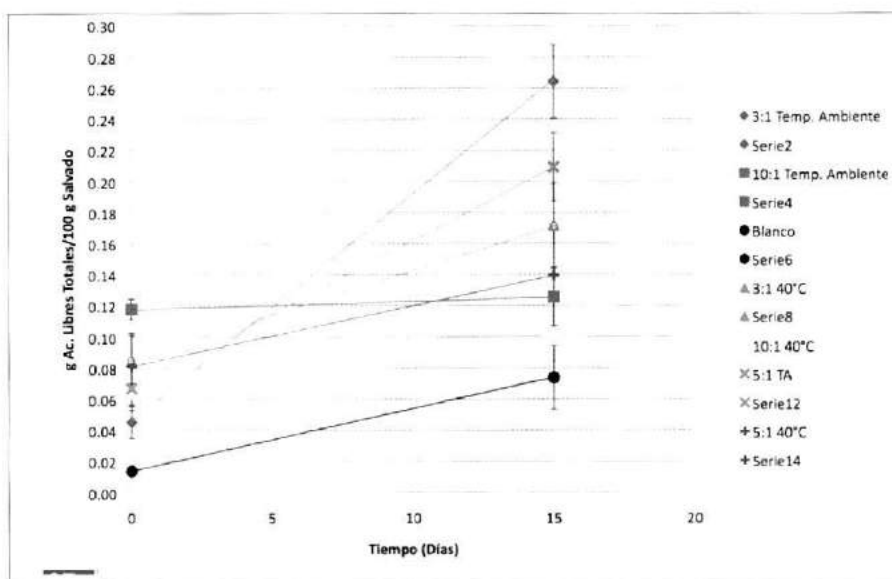
Los valores promedio de los resultados para los distintos tratamientos junto con el blanco, mostraron un rango en el coeficiente de variación entre 2,16 y 27,59. Con base en lo anterior, se comparó el comportamiento de los resultados de cada tratamiento y del blanco a través del tiempo, y se encontró que a los 30 y 60 días no hubo una diferencia estadísticamente significativa ($p > 0.05$) entre los resultados de todas las muestras; es decir, en estos tiempos las cantidades de AGLIT fueron similares, tanto para los tratamientos como para el blanco (gráfica 33).



Gráfica 33. Comparación de las cantidades obtenidas de AGLIT entre los tratamientos y el blanco para 30 y 60 días.

En consecuencia, solo se analizaron los resultados obtenidos en el tiempo 0 y a los 15 días de almacenamiento, dado que sí se observaron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) entre la concentración de ácidos libres en los tratamientos y el blanco, debido a que la degradación fue la misma para todas las muestras a partir del primer mes de almacenamiento.

Los resultados de los dos tiempos de los tratamientos mostraron diferencias significativas con las muestras del blanco (gráfica 34). Esta gráfica muestra el efecto negativo de los tratamientos sobre el SA, puesto que liberó una mayor cantidad de AGLIT con respecto al blanco en el tiempo inicial. Además, después de 15 días de los tratamientos, las muestras se degradaron más rápido que el blanco, lo que indica que las lipasas presentes en el SA no se inhibieron, y por lo tanto este no se estabilizó. Cabe aclarar que las muestras de los tratamientos que no mostraron diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$) con el blanco en cualquiera de los tiempos, no se incluyeron en la gráfica, pues describen un comportamiento de degradación similar al blanco.



Gráfica 34. Tratamientos que mostraron diferencias significativas con el blanco.

Luego de conocer los resultados comparativos entre los tratamientos y el blanco para los AGLIT, se determinó el efecto que tuvieron las dos variables sobre la concentración de estos compuestos a través del tiempo.

Según el análisis estadístico, el comportamiento fue normal. El análisis de varianza se muestra en la tabla 42 y el test de Duncan se presenta en la tabla 43.

Tabla 42. Resultados de la ANOVA para ácidos libres insaturados totales

VARIABLE	VALOR P*
Temperatura	0,0425
Relación agua-SA	0,1133
Tiempo	0,0000

*Menor a 0,05 indica que esta variable tiene un efecto estadísticamente significativo sobre los AGLIT, con una confianza del 95%.

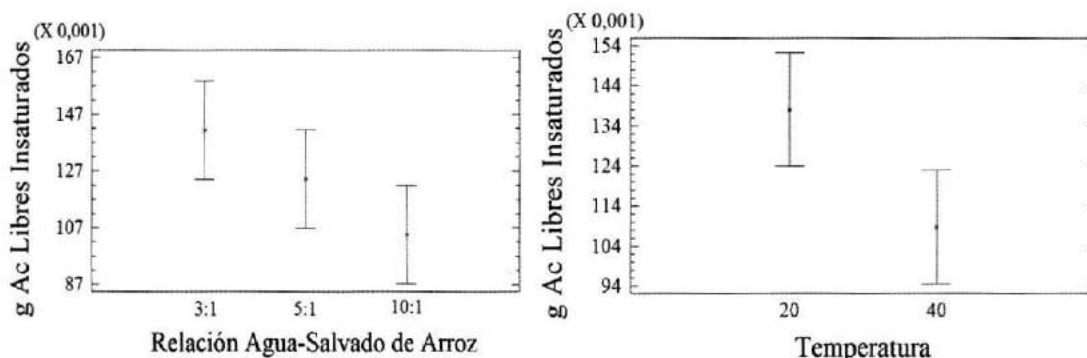
Tabla 43. Test de Duncan para AGLIT a 0 y 15 días

Variable	Rangos de las variables	Diferencias significativas (test de Duncan)
Temperatura	18,5 °C – 40 °C	X
Relación agua-SA	3:1 – 5:1	
	3:1 – 10:1	X
	5:1 – 10:1	
Tiempo	0 – 15 días	X

De acuerdo con las tablas 42 y 43, la diferencia de temperatura entre los tratamientos afectó la cantidad liberada de ácidos insaturados, en los procesos de estabilización realizados a 40 °C se liberaron menos lípidos, con respecto a los de temperatura ambiente (gráfica 35).

En la tabla 42 se observa que la relación 5:1 de la segunda variable no mostró diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$) con respecto a las otras. Sin embargo, por medio del test de Duncan (tabla 43) se confirmó que la cantidad de agua usada en el proceso afectó los resultados: las muestras tratadas con una relación agua-SA 10:1 liberaron menos ácidos grasos que las de 3:1 (gráfica 35).

Debido a que la variable tiempo indicó un efecto estadísticamente significativo ($p < 0.05$), se deduce que la cantidad de lípidos libres insaturados aumentó a lo largo de este.



Gráfica 35. Resultados test de Duncan de las variables temperatura y cantidad de agua para AGLIT a 0 y 15 días.

Tocotrienoles

Los promedios calculados para los resultados de tocotrienoles presentaron una buena correlación, los coeficientes de variación se encuentran en el rango entre 2,88 y

25,11. En el análisis de valores realizado por el programa estadístico, estos mostraron un comportamiento normal. A diferencia de los resultados de AGLIT, en este análisis se incluyeron los datos de todos los tiempos, pues hubo diferencias en la mayoría. La ANOVA para los resultados de tocotrienoles de todas las muestras en los cuatro tiempos se muestran en la tabla 44.

Tabla 44. Resultados de la ANOVA para tocotrienoles

VARIABLE	VALOR P*
Temperatura	0,9337
Relación agua-SA	0,0000
Tiempo	0,0000

*Si P es menor a 0,05, esta variable tiene un efecto estadísticamente significativo sobre los tocotrienoles, con una confianza del 95%.

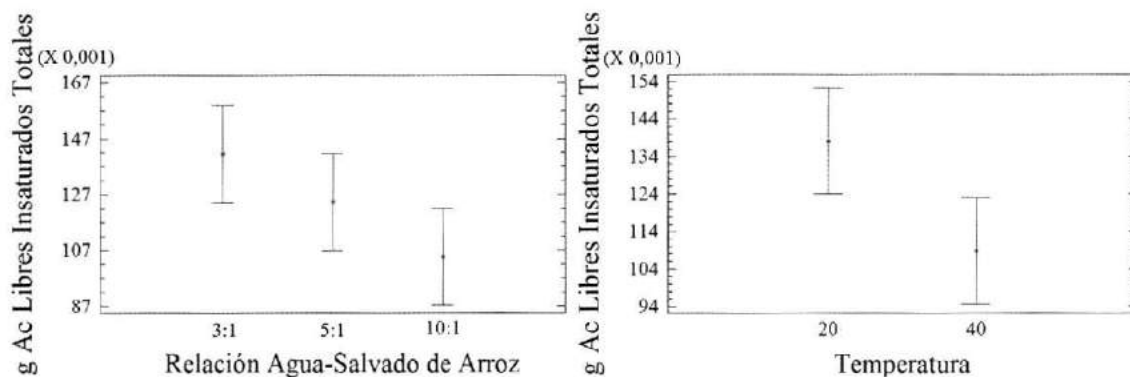
En la tabla 44 se muestra que existe un efecto importante de la cantidad de agua usada en el proceso sobre el contenido de tocotrienoles en la muestra.

Con los datos de la tabla 45, se comprobaron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) entre los tres valores de concentración de agua, la degradación de estos antioxidantes fue mayor en la medida en que se uso más liquido en el proceso.

Tabla 45. Test de Duncan para tocotrienoles (0 – 60 días)

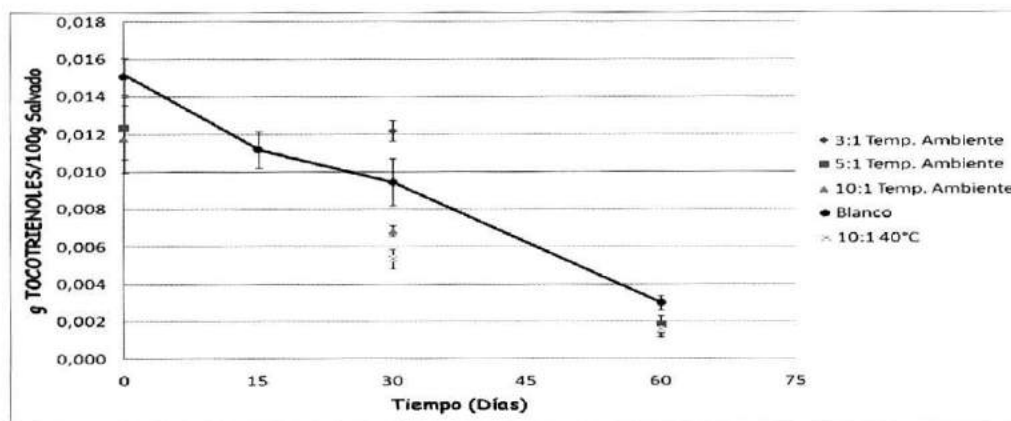
Variable	Rangos de las variables	Diferencias significativas (test de Duncan)
Temperatura	18,5°C – 40°C	
Relación agua-SA	3:1 – 5:1	X
	3:1 – 10:1	X
	5:1 – 10:1	X
Tiempo	0 – 15 días	X

El cambio en la temperatura no afecta dicha degradación, y las diferencias mostradas con respecto al tiempo confirman que a través de este la cantidad de tocotrienoles disminuye en todas las muestras (gráfica 36).



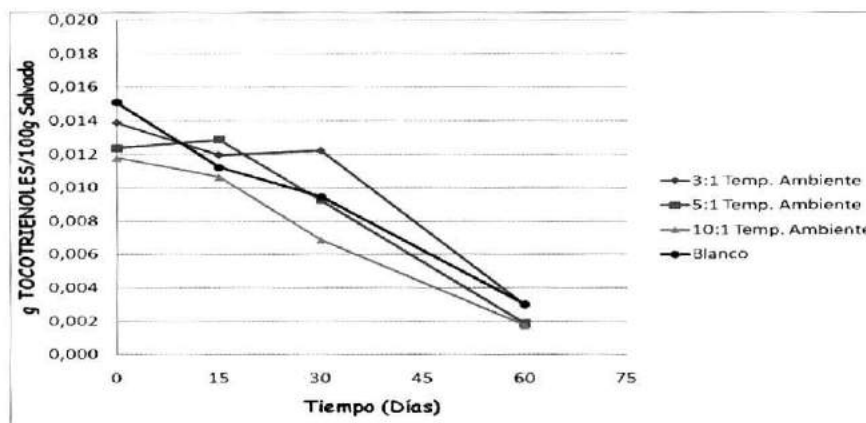
Gráfica 36. Resultados test de Duncan de las variables temperatura y relación agua-salvado para tocotrienoles.

Los tratamientos a temperatura ambiente presentaron diferencias con el blanco la mayor parte del tiempo. Dichas diferencias se rigen por una degradación mayor o igual de estos antioxidantes en las muestras con tratamiento, respecto a las que no fueron sometidas a ninguno (gráfica 36). Sin embargo, a los 30 días, la muestra del proceso 3:1 presentó un valor mayor de tocotrienoles que la muestra del blanco, lo cual motivó un análisis detallado del comportamiento de los tratamientos realizados a esta temperatura a través del tiempo (gráfica 37).



Gráfica 37. Tratamientos que mostraron diferencias con el blanco (tocotrienoles)

En la gráfica 38 se evidencia que del tiempo cero a los 15 días, la cantidad de tocotrienoles para las muestras del proceso 5:1 se mantuvo relativamente constante; un caso similar fue el de 3:1, pero en el tiempo comprendido entre los 15 y 30 días. Este comportamiento se analizó pues define una conservación de estos antioxidantes en los tiempos señalados.



Gráfica 38. Tratamientos a temperatura ambiente vs blanco para tocotrienoles

Tocoferoles

Los resultados obtenidos para estos antioxidantes mostraron la mejor correlación en comparación con los tocotrienoles y AGLIT, pues los coeficientes de variación oscilaron entre 0,44 y 17,21. Al igual que para los tocotrienoles, en el análisis estadístico se incluyeron los resultados de los cuatro tiempos, los cuales describieron una probabilidad normal. Los resultados de la ANOVA y test de Duncan para tocoferoles se muestran en las tablas 46 y 47, respectivamente.

Tabla 46. Resultados de la ANOVA para tocoferoles

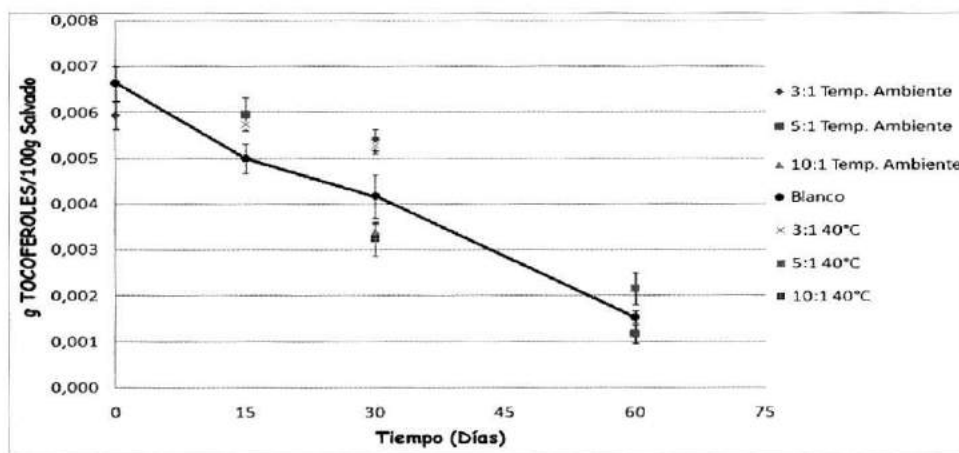
VARIABLE	VALOR P*
Temperatura	0,4522
Relación agua-SA	0,0021
Tiempo	0,0000

*Menor a 0,05 indica que esta variable tiene un efecto estadísticamente significativo sobre los tocoferoles, con una confianza del 95%.

Tabla 47. Test de Duncan para tocoferoles (0 – 60 días)

Variable	Rango de las variables	Diferencias significativas (test de Duncan)
Temperatura	18,5°C – 40°C	
Relación agua-SA	3:1 – 5:1	X
	3:1 – 10:1	X
	5:1 – 10:1	
Tiempo	0 – 15, 0 – 30, 0 – 60, 15 – 30, 15 – 60, 30 – 60 días	X

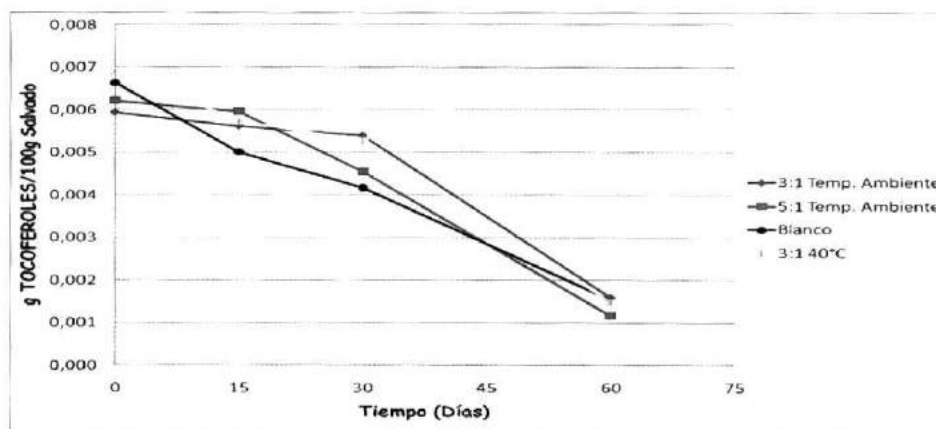
Según la tabla 46, el cambio de temperatura tampoco afectó los tocoferoles. Pese a que dos de las relaciones agua-SA no indicaron diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$) entre sí (tabla 47), se definió que, al igual que los tocotrienoles, la cantidad de agua usada en los tratamientos tuvo un efecto sobre su concentración. El test definió que a mayor cantidad de agua usada en el proceso, la concentración de tocoferoles fue menor. De esta manera, las tendencias para estas dos variables fueron similares a las obtenidas para los tocotrienoles en la gráfica 39.



Gráfica 39. Tratamientos que mostraron diferencias con el blanco (tocoferoles)

Todos los tratamientos mostraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) en por lo menos uno de los tiempos medidos (gráfica 39). De esta gráfica cabe resaltar, en primer lugar, que la mayoría de las muestras con tratamiento partieron con la misma cantidad de tocoferoles en comparación con el blanco, a excepción del proceso 3:1 a temperatura ambiente (TA) que mostró un nivel menor. Lo anterior, indicó que los tratamientos no afectaron inicialmente la concentración de estos antioxidantes. Y en segundo lugar, que a los 15 y 30 días de almacenamiento las muestras de los tratamientos 3:1TA, 5:1TA y 3:140 °C tuvieron niveles mayores de tocoferoles con respecto al blanco. Esto indicó, que posiblemente hubo una conservación de estos antioxidantes durante ese período de tiempo en las muestras que se manejaron con los tratamientos nombrados anteriormente.

En la gráfica 40 se observa el comportamiento a través del tiempo de las muestras nombradas anteriormente, en comparación con el blanco.



Gráfica 40. Comportamiento en el tiempo de las muestras de los tratamientos que tuvieron diferencias con el blanco.

Ácidos grasos libres insaturados totales

Este estudio determinó que con los tratamientos a los que se sometió el SA no disminuyó la liberación de los AGLIT, sino que incluso ocurrió una degradación mayor de los triglicéridos. La gráfica 35, evidencia que los tratamientos aceleraron la hidrólisis de los triacilgliceroles, ya que al incorporar grandes cantidades de agua en las mezclas, las lipasas del SA tuvieron buena provisión de materia prima para llevar a cabo la lipólisis, debido a que la presencia de agua influye en la actividad de estas enzimas (Chowdary *et al.*, 2001). Por otro lado, la acción proteolítica de la papaína sobre las lipasas, peroxidases y lipoxigenasas requiere la presencia de este líquido, ya que proteasas como la papaína tienen una mejor actividad enzimática en fase acuosa (Ferjančić *et al.*, 2005).

El incremento de la cantidad de agua favorece la mayoría de las reacciones químicas y enzimáticas (Romano *et al.*, 2008), y la proteólisis de la papaína es una de ellas. La gráfica 34 muestra que en la variable cantidad de agua, los rangos que mostraron diferencias fueron la relación 3:1 y 10:1, y la segunda mostró una menor liberación de lípidos insaturados.

Es probable que se produjera una pequeña acción enzimática de la papaína sobre las lipasas, ya que el agua en la mezcla es su medio de dispersión para entrar en contacto con todo el SA.



Romano (2008) dice que el agua favorece la movilidad del sustrato y de los productos, pues gracias a ella las enzimas establecen una estructura terciaria y adquieren sus propiedades catalíticas. Además, el agua es un promotor de la velocidad de reacción, pues sus moléculas tienen la capacidad de agregarse en formas diferentes y ordenadas a la enzima, de modo que minimizan la energía de reacción (Montiel *et al.*, 2007).

Lo anterior conduce a la hipótesis de que se presentó una proteólisis mínima de la papaína en los tratamientos en los que se utilizó la relación agua-SA 10:1. Este supuesto también se sustenta en que Hammond (1998) descubrió en su estudio que la relación entre la cantidad de agua y la activación de la proteasa es directamente proporcional, y por eso la proteólisis es más efectiva.

No se logró una acción efectiva de la papaína en todas las muestras, probablemente porque la cantidad agregada de esta enzima fue muy pequeña en comparación con las grandes porciones de agua utilizadas. Dicha cantidad se basó en la usada por Hammond en su patente, desconociendo las diferencias proteolíticas entre la enzima usada.

Si no hubo un efecto proteolítico importante de la papaína, debido a la baja cantidad que se usó, los resultados de menor liberación de lípidos libres deberían ser para los tratamientos de la relación 3:1, ya que al ser una menor porción de agua, la concentración de la papaína es mucho mayor. Sin embargo, se observó que las mezclas con esta cantidad de agua eran espesas en comparación con las de la relación 10:1, que eran bastante líquidas y permitían una mejor movilidad del SA en la agitación.

Otro punto que podría señalar una mínima proteólisis de la papaína sobre las lipasas, es que a 40 °C se liberaron menos ácidos grasos insaturados, lo cual se debe a que la temperatura óptima de esta proteasa es superior a este valor. La papaína es una enzima termófila, pues su actividad hidrolítica aumenta con la temperatura hasta valores elevados (Martínez *et al.*, 1980).

Por lo general, se habla de que el rango de temperatura óptima de la papaína está entre 55 °C y 65 °C; sin embargo, Taha (2002) reporta en su experimento para hidrolizar proteína de soya y de SA, que la temperatura de mejor trabajo de esta enzima es de 50 °C, mientras que Martínez (1980) señaló una actividad proteolítica importante a 80 °C. Lo anterior indica que 40 °C no es una temperatura adecuada para obtener una proteólisis de papaína efectiva; sin embargo, la menor degradación en este valor, podría deberse a que se le brindó una mayor energía a la enzima para llevar a cabo su trabajo, en comparación con el proceso trabajado a temperatura ambiente. Es importante recordar, que no se trabajó inicialmente con una temperatura mayor a 40 °C, pues los antioxidantes podrían verse afectados.

Otra explicación para que esta proteasa no presente una acción enzimática importante radica en la activación de la papaína. Esta desprende una parte de su cadena, llamada pro-papaína, que es la parte estabilizadora de las hélices de la estructura secundaria de la enzima, lo cual da pie a una reacción termodinámica irreversible, pues

la papaína se inactiva por completo tras llevar a cabo su función (Valle, 1997). Esta teoría va de la mano con la idea de que se usó una pequeña cantidad de enzima en las muestras, de modo que probablemente sí hubo una acción sobre las lipasas, pero al contar con poca papaína y al ser inactivada cada molécula de esta tras la proteólisis, no se abarcó la cantidad total de lipasas presentes en el SA.

El SA presenta en su composición ciertos factores antinutricionales como los fitatos, que tienen un efecto inhibitorio sobre la pepsina y la tripsina (Gallinger, 2003). Esto sugiere que la mínima acción de la papaína se explica por una posible inhibición de ella por parte de estos compuestos, debido a que dichas enzimas también son proteasas. El contenido de fitatos en el SA es aproximadamente de 78,94 $\mu\text{moles/g}$ b.s., una cantidad representativa en este subproducto.

Tocoferoles y tocotrienoles

Los resultados de estos dos antioxidantes mostraron tendencias muy similares, lo que valida dichos resultados y les da significancia, ya que los dos compuestos son familia. Por esta razón se analizaron en conjunto.

El análisis de varianza para ambos compuestos confirmó que la temperatura no tuvo un efecto sobre la concentración de antioxidantes en el SA. De modo que, tanto a temperatura ambiente como a 40 °C, las concentraciones de estos fueron similares, con lo que se podría inferir que, a diferencia de lo que ocurrió con los AGLIT, el aumento a 40 °C en la mezcla no facilitó la acción de la papaína sobre la lipoxigenasa y peroxidasas. Por consiguiente, esta proteasa no ataca este tipo de enzimas oxidativas del SA, o bien, requiere una activación total en su temperatura óptima para degradarlas. Los dos rangos de temperatura utilizados no influyeron sobre la degradación de los antioxidantes, puesto que son inferiores a los valores en los que estos compuestos son afectados.

Eitenmiller (2004) reportó pérdidas de estos antioxidantes en un rango entre 30 y 68% en alimentos para animales, a 60 °C; también estudió que a 70 °C se dan grandes pérdidas del alfa y gamma tocoferol y tocotrienol.

En el caso de la variable cantidad de agua, contrario a lo que sucedió con los AGLIT, su aumento tuvo un efecto negativo sobre los antioxidantes; esto indica que el agua promovió la degradación de la vitamina E. Según algunos estudios, la pérdida de los tocoferoles y tocotrienoles depende de la actividad de agua, condición en la que a mayor actividad la degradación es más rápida (Eitenmiller, 2004; Cortés, 2007). Eitenmiller (2004) también reportó que contenidos de humedad altos en la soya presentaron contenido bajo de tocoferoles.

Con base en la tabla 48, es factible que la teoría anterior explique que los tratamientos con mayor cantidad de agua afectaron más los antioxidantes, ya que después de la filtración, las muestras de SA que se sometieron a la relación 10:1, quedaron con un

porcentaje de humedad mayor con respecto a las de 5:1 y 3:1, a su vez, las de 5:1 con una humedad mayor que las de 3:1. Además, debido a que el proceso de secado duró entre 7 y 8 horas, las muestras estuvieron expuestas un gran tiempo con una importante cantidad de agua disponible, lo que aseguró una alta actividad de agua y por lo tanto una posible mayor degradación de la vitamina E.

Tabla 48. Humedades iniciales promedio de las muestras después de sometidas al proceso.

Relación agua-salvado de arroz	3:1	5:1	10:1
Valor promedio de la humedad (%)	61	69	78

Por otro lado, las gráficas 37 y 39 evidencian cómo las muestras de algunos tratamientos indicaron cantidades de tocotrienoles y tocoferoles por encima de las obtenidas por el blanco, en los tiempos 15 y 30 días. Además, las gráficas 38 y 40 indican cómo las muestras del tratamiento 3:1TA en el rango de tiempo 0-30 días y las del tratamiento 5:1TA en el de 0-15 días, tuvieron una concentración constante de tocoferoles y tocotrienoles. Los resultados anteriores, llevan a pensar en una posible conservación de la vitamina E durante este período de tiempo para dichos tratamientos.

Es factible que una de las razones por las cuales estos antioxidantes se mantuvieron constantes durante este período de tiempo para dichos tratamientos, se deba a que generalmente una sola molécula de tocoferoles y tocotrienoles puede proteger una gran cantidad de moléculas de ácidos grasos (Eitenmiller, 2004); por lo tanto, al haber una considerable concentración de vitamina E en las muestras, existe la probabilidad de que solo una cantidad muy pequeña se haya ocupado de evitar la oxidación de todos los AGLIT presentes.

Otro factor que podría haber incidido sobre esta tendencia de conservación, es la inhibición de la lipoxigenasa y peroxidasa por exceso de sustrato. Debido a que las muestras indicaron una presencia superior de AGLIT en comparación con la que se genera normalmente, posiblemente pudo haber una saturación de estos compuestos, de modo que inhibieron estas enzimas oxidativas. Esta situación se conoce como inhibición por sustrato y ocurre cuando las enzimas presentan más de un sitio activo para llevar a cabo la catálisis (alostéricas), en donde al haber un exceso de sustrato en el medio, se ocupan ambos sitios inactivando la enzima o la unión de un primer sustrato altera la afinidad de los sustratos posteriores por el otro sitio activo.

Este tipo de enzimas alostéricas presentan una cinética enzimática sigmoidea, que es diferente a la cinética normal de las enzimas representada por Michaelis-Menten (Agius *et al.*, 2008). Las peroxidasa muestran una cinética anómala de este tipo (Varón *et al.*, 1985) y, según estudios, la lipoxigenasa presenta un fenómeno de inhibición por exceso de sustrato en presencia de ácido linolénico (Flanzy, 2003). Este análisis

concuera con el hecho de que los tratamientos a temperatura ambiente y de menor relación agua-SA fueron los que liberaron una mayor cantidad de AGLIT.

CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos para ácidos grasos libres insaturados y antioxidantes, no se logró una estabilización del SA a través del tiempo.

El uso de la papaína como un instrumento proteolítico que pudiera degradar las enzimas dañinas del SA, a las distintas condiciones de temperatura y proporciones de agua establecidas, no fue efectivo.

Las muestras sometidas a los distintos tratamientos indicaron mayor liberación de ácidos omega.

Se generó un fenómeno de conservación de los tocoferoles y tocotrienoles en el rango de tiempo 0-15 días para el tratamiento 5:1 temperatura ambiente, y en el de 0-30 días para los tratamientos 3:1 temperatura de mezcla ambiente y 40 °C.

El aumento de temperatura ambiente a 40 °C en los tratamientos, contribuyó a generar una menor cantidad de ácidos grasos libres insaturados durante los primeros 15 días de almacenamiento; y no tuvo un efecto importante sobre la concentración de antioxidantes.

La cantidad de agua usada en los tratamientos jugó un papel inverso en su efecto sobre los antioxidantes y triglicéridos del SA; al usar una mayor cantidad de este fluido en el proceso disminuyó la hidrólisis de estos lípidos funcionales, pero se aumentó la degradación de los tocoferoles y tocotrienoles.

Referencias bibliográficas

- Chaudhary, R.C., Nanda, J.S., Tran, D.V. FAO 2003. Guía para Identificar las Limitaciones de Campo en la Producción de Arroz. Roma, Italia.
- Seok Heo, N.H., Park, J.S., Kim, H.I., Paik, H.D., Yun, M.S., Lee, S.K. 2007. Purification and Evaluation of Rice Bran Hydrolysates with Antimutagenicity. *Food Science and Biotechnology*. 16:285-289.
- Hammond, N.A. 1998. Method for Stabilizing Rice Bran and Rice Bran Products. Patent Number: 5,753,283.
- Renzetti, S., Arendt, E.K. 2009. Effect of Protease Treatment on the Baking Quality of Brown Rice Bread: From Textural and Rheological Properties to Biochemistry and Microstructure. *Journal of Cereal Science*. 50:22-28.
- Thiruvengadam, R., Dimagno, E.P. Inactivation of Human Lipase by Proteases. Am. D.

- Physiol Gastrointest Liver Physiol. 255:476-481.
- Hamada, J.S. 1998. Characterization and Functional Properties of Rice Bran Proteins Modified by Commercial Exoproteases and Endoproteases. *Journal of Food Science*. 65:305-310.
- Ron, J. 1982. Efecto del Tratamiento con Papaína sobre la Composición y Características Funcionales de la Harina de Ajonjolí. Trabajo de Grado Universidad Central, Venezuela.
- González, C. 1963. Neutralization of the Enzyme Activity and Specific Precipitation of Lipase by Antilipase. *Zentralbl Bakteriol Orig*. 191:556-564.
- Kennedy, G., Burlingame, B. 2003. Analysis of Food Composition Data on Rice a Plant Genetic Resources Perspective. *Food Chemistry*. 80:589-596.
- Rogers, E., Rice, S., Nicolosi, R., Carpenter, E., McClelland, C., Romanczyk, L. 1993. Identification and Quantitation of γ -oryzanol Components and Simultaneous Assessment of Tocols in Rice Bran Oil. *Journal of the American Oil Chemists Society*. 70:301-307.
- Funatsu, M., Aizono, Y., Hayashi, K., Watanabe, M., Eto, M. 1971. Biochemical Studies on Rice Bran Lipase. Part I: Purification and Physical Properties. *Agricultural and Biological Chemistry*. 35:734-742.
- Frankel, E. 1984. Lipid oxidation: Mechanisms, Products and Biological Significance. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 61:1908-1917.
- Hu, W., Wells, J., Shin, T., Godber, J. 1996. Comparison of Isopropanol and Hexane for Extraction of Vitamin E and Oryzanols from Stabilized Rice Bran. *Journal of the American Oil Chemists Society*. 73:1653-1656.
- Chowdary, G., Prapulla, S. 2001. The Influence of Water Activity on the Lipase Catalyzed Synthesis of Butyl Butyrate by Transesterification. *Process Biochemistry*. 38:393-397.
- Ferjancic, A., Puigserver, A., Gaertner, H. 2005. Papain-catalyzed Polymerization of Amino Acids in Low Water Organic Solvents. *Biotechnology Letters*. 13:161-163.
- Romano, G., Noguera, F. 2008. Agua, Alimentos y Salud. Escuela de Nutrición y Dietética UDELAR. Uruguay.
- Montiel, C., Mora, M., Pérez, S., García, M., Bárzana, E. 2007. Importancia del Agua en la Biocatálisis en Medio de Baja Humedad: Una Revisión Crítica. Congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería. Puerto Vallarta, México.
- Martínez, E., Esteban, M. 1980. Actividad Coagulante del Extracto de la Flor del Cardo *Cynara Humilis*. *Archivos de Zootecnia Universidad de Córdoba, España*.
- Taha, F., Ibrahim, M., El-Zanati, E. 2002. Optimum Conditions for Enzymatic Degradation of Some Oilseed Proteins. *Grasas y Aceites*. 53:267-272.

- Valle, L. 1997. Estudios Espectroscópicos Sobre el Replegamiento de la Enzima Papaína. Universidad Autónoma Metropolitana, Perú.
- Gallinger, C., Suárez, D., Barrera, R., Azcona, J., Schang, M. 2003. SA: Valor Nutritivo y Uso Potencial en Alimento de Parrilleros. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 23:13-24.
- Vargas, E., Haros, M. Mejora Nutricional de Pan con SA Colombiano. Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos, España y Universidad Jorge Tadeo Lozano, Colombia.
- Eitenmiller, R., Lee, J. 2004. Vitamin E: Food Chemistry, Composition and Analysis. Marcel Dekker, Inc. United States.
- Cortés, M., Osorio, A., García, E. 2007. Manzana Deshidratada Fortificada con Vitamina E utilizando la Ingeniería de Matrices. *Vitae.* 14:17-26
- Agius, F., Borsani, O., Díaz, P., Gonnet, S., Irisarri, P., Milnitsky, F., Monza, J. Enzimas. Facultad de Agronomía, Argentina. Disponible en <http://www.scribd.com/doc/3119919/enzimas>.
- Varón, R., Tudela, J., García, F. 1985. Estudio Cinético de la Fase de Transición del Mecanismo de Michaelis-Menten con Inhibición por Exceso de Sustrato. *Anales de Ciencias.* 64:21-24.
- Flanzy, C. 2003. Enología: Fundamentos Científicos y Tecnológicos. Ediciones Mundi Prensa, España. 2da Edición.

ESTABILIZACIÓN DEL SALVADO DE ARROZ COLOMBIANO MEDIANTE TRATAMIENTO ENZIMÁTICO (bromelina) PARA EVALUAR LA CONSERVACIÓN DE ÁCIDOS GRASOS INSATURADOS Y ANTIOXIDANTES (TOCOFEROLES Y TOCOTRIENOLES)

Este estudio planteó el uso de la bromelina, proteasa presente en la piña, como medio para estabilizar el SA. Se realizó un diseño experimental de matriz 3x2x3, en donde las variables de proceso manejadas fueron la relación másica entre agua y SA (niveles de 3:1, 5:1 y 10:1), temperatura (18 °C y 40 °C) y el tiempo de almacenamiento (0, 15 y 30 días). El experimento consistió en realizar una mezcla de agua y salvado en las relaciones másicas propuestas más 0,15 g de enzima agitando el sistema durante 10 minutos para lograr homogeneidad. Finalmente, la muestra fue filtrada y secada hasta alcanzar una humedad de entre el 6 y 10% para luego almacenarla a condiciones ambientales y posteriormente analizarla en el tiempo establecido. Las variables de respuesta fueron la concentración de ácidos grasos libres insaturados (AGLI) y de antioxidantes (tocoferoles y tocotrienoles).

MATERIALES Y MÉTODOS

Características del salvado de arroz

Como materia prima se utilizó arroz paddy seco con una humedad del 12%, proveniente de las plantas de Villavicencio (Colombia). A partir de este se obtuvo el SA mediante un proceso de pulido realizado en el molino de arroz marca GRANEL dispuesto en la planta piloto de la Universidad Jorge Tadeo Lozano. Luego, el salvado se tamizó (Tamiz N° 20 ASTM) por 15 minutos hasta homogenizar la muestra y se almacenó a -20 °C en bolsas de plástico selladas herméticamente.

Estabilización del salvado

En el proceso de estabilización del SA se utilizó agua desionizada, proteasa (bromelina) del Centro Agrolechero (c-274301709, Colombia) con condiciones óptimas de pH de 5,0 a 8,0 y de temperatura entre 50 °C y 60 °C.

Para la cuantificación de AGLI, tocoferoles y tocotrienoles se emplearon estándares como ácido oléico, ácido linoléico, ácido linolénico, α -tocoferol, α -tocotrienol y δ -tocotrienol (Sigma-Aldrich, Alemania). Para el análisis por cromatografía líquida de alta eficiencia se usaron solventes como metanol, acetonitrilo e isopropanol (casa matriz Merck). Para el análisis de las muestras se usaron los solventes hexano e isopropanol grado reactivo analítico (casa matriz Merck).

Diseño experimental

Se empleó un diseño experimental de matriz 3x2x3. Como variables del diseño se consideraron la proporción másica agua-salvado en los niveles 3:1, 5:1 y 10:1, la temperatura en la etapa de mezclado en los niveles 18 °C y 40 °C y el tiempo de almacenamiento del salvado a 0, 15 y 30 días. Con el fin de determinar el efecto de la estabilización en las muestras tratadas, estas fueron comparadas con ejemplares que no se sometieron a ningún tipo de procesamiento (blancos), los cuales fueron almacenados bajo las mismas condiciones de temperatura, humedad y tiempo. Para cada tratamiento se realizaron 3 réplicas y en general se consideraron 9 blancos, para un total de 63 muestras analizadas. A cada réplica se le hizo un seguimiento de pH y humedad durante el proceso de estabilización.

Para cuantificar el efecto que presentaba cada una de las variables de proceso sobre la estabilización del SA, se plantearon dos variables de respuesta: la primera es la cuantificación de los AGLI y la segunda corresponde a la cuantificación de los antioxidantes (tocoferoles y tocotrienoles).

Procedimiento experimental

En el proceso de estabilización se tomaron 150 g de SA para cada muestra y se mezclaron con agua en relación másica 3:1, 5:1 y 10:1; a cada una de estas mezclas se les adicionó un 0,1% de bromelina con respecto al peso del salvado (Hammond, 1998), lo que equivale en este caso a 0,15 g. Cada muestra se mezcló con un agitador durante diez minutos a velocidad constante para asegurar su homogeneidad. El proceso de mezclado se realizó bajo dos condiciones: temperatura ambiente (18 °C) y 40 °C; para esta última, se aseguró que la temperatura se mantuviera constante por medio de un baño termostático. Luego del proceso de agitación, la mezcla se filtró usando una seda. Inmediatamente, las muestras fueron introducidas en un secador de convección forzada marca MLW a 40 °C hasta alcanzar una humedad de entre el 6% y el 10% (Hammond, 1994). Las muestras estabilizadas, se almacenaron en bandejas de aluminio y se dejaron expuestas al ambiente. Los tiempos de recolección para análisis de AGLI y antioxidantes fueron 0, 15 y 30 días.

Análisis de muestras

Extracción de aceite del salvado de arroz estabilizado

La extracción de aceite crudo de SA se llevó a cabo como se describe en el capítulo 1, gráfica 2.

Separación y cuantificación de ácidos grasos insaturados libres y totales del aceite extraído del salvado de arroz estabilizado

La metodología para la separación de ácidos grasos insaturados libres se explica en la metodología expuesta en el capítulo 1, gráfica 5 y la de totales se presenta en el mismo capítulo en la gráfica 4.

La cuantificación de los de ácidos grasos insaturados libres (oléico, linoléico y linolénico) por HPLC se realizó bajo las condiciones descritas en el capítulo 1 expuestas en “Condiciones cromatográficas II para cuantificación de ácidos grasos insaturados (oléico, linoléico y linolénico) libres y totales”.

Separación y cuantificación de tocoferoles y tocotrienoles del aceite extraído del salvado de arroz estabilizado

La metodología para la separación de tocoferoles y tocotrienoles se explica en la metodología expuesta en el capítulo 1, gráfica 3.

La cuantificación de los tocoferoles y tocotrienoles por HPLC se realizó bajo las condiciones descritas en el capítulo 1 expuestas en “Condiciones cromatográficas II para cuantificación de tocoferoles, tocotrienoles y γ -orizanol”.

Cálculo de las concentraciones de los componentes funcionales

Para la cuantificación de cada uno de los componentes funcionales se utilizó una curva de calibración especificada por área (mV min) vs Concentración ($\mu\text{g/ml}$), esta arrojó una ecuación de la curva permitiendo el cálculo de la concentración del compuesto de interés por interpolación de esta área.

Posteriormente se empleó la Ecuación (5) para la obtención de la concentración del componente de interés en 100 gramos de SA (bs).

Nota. Los resultados para el gamma-orizanol no se tuvieron en cuenta, puesto que las cantidades obtenidas a través del tiempo para todas las muestras no mostraron una tendencia lógica con la cual se pudiera dar un análisis acertado.

Análisis estadístico

Al promedio de las 3 réplicas de cada punto experimental se determinó la desviación estándar y el coeficiente de variación. Posteriormente se verificó la normalidad de los datos para cada una de las variables de respuesta, lo que llevó a realizar un análisis de varianza ANOVA con el fin de medir la influencia que tuvieron las variables del proceso sobre los resultados. Por último, se realizó el test de Duncan con el propósito de

evaluar las diferencias entre las variables. Para cada uno de estos análisis se utilizó el software Statgraphics® Plus versión 5.0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características del proceso de estabilización

Dentro del proceso de estabilización del SA se midió el pH en la mezcla y la humedad luego del proceso de filtración. La medición del pH durante la estabilización tuvo como fin corroborar que la mezcla de agua, salvado y proteasa cumpliera con las condiciones óptimas de actividad proteolítica de la bromelina (5.0 a 8.0). Por otro lado, la medición de humedad se llevó a cabo para comparar si correspondía al valor al cual se comercializan las harinas ($\pm 6-10\%$).

Los valores de pH registrados tuvieron un promedio de $6,87 \pm 0,32$. Para el caso de la humedad en los tratamientos 3:1 y 5:1 se obtuvo una media de $67,80\% \pm 2,62$ y en el tratamiento 10:1 el valor promedio fue de $74,26\% \pm 2,76$. A partir de estos resultados se hace necesario someter la muestra a un proceso de secado, el tiempo registrado para alcanzar una humedad entre 6 y 10% fue de 10 horas.

Ácidos grasos libres insaturados totales (AGLIT)

Los resultados se reportan como ácidos grasos libres insaturados totales (AGLIT) que representan la suma en gramos de los ácidos oléico, linoléico y linolénico cuantificados por cada 100 gramos de SA base seca.

En la tabla 49 se muestran los resultados para el análisis de varianza de los AGLIT luego de verificar la normalidad de los datos experimentales.

Tabla 49. Resultados de la ANOVA para ácidos libres insaturados totales

Variable	Valor P*
Temperatura	0,7413
Relación agua-SA	0,0000
Tiempo	0,0000

*Menor a 0,05 indica que esta variable tiene un efecto estadísticamente significativo sobre los AGLIT, con una confianza del 95%.

El análisis de varianza permite apreciar el efecto de cada una de las variables de proceso sobre la estabilización del SA a partir del cual se puede concluir que la

temperatura no presentó un efecto estadísticamente significativo ($p > 0.05$) en la liberación de AGLIT. Caso contrario ocurrió con la relación agua-salvado y el tiempo, los cuales sí presentan efectos estadísticamente significativos ($p < 0.05$) sobre la concentración de los AGLIT.

En la tabla 50 se muestran los resultados del test de Duncan para los AGLIT.

Tabla 50. Test de Duncan para AGLIT a 0 y a 30 días.

Variable	Niveles	Diferencias entre niveles
Temperatura (°C)	18- 40	X
Proporción agua -salvado	3:1 - 5:1	X
	3:1 - 10:1	
	5:1 - 10:1	
Tiempo (días)	0 - 15	
	0 - 30	
	15 - 30	

*Los niveles de cada tratamiento que presentan diferencias son representados por un guión (-).

A partir de este análisis estadístico se confirmó que cada nivel de relación másica de agua-salvado utilizado en el proceso de estabilización tuvo un efecto diferente sobre la liberación de los AGLIT. El tiempo mostró igualmente diferencias entre los 3 niveles lo que ratifica una inestabilidad de los AGLIT de cero a los 30 días. En el caso de la temperatura se observa que no hubo diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos a 18 y 40 °C ni efecto de estos sobre los AGLIT.

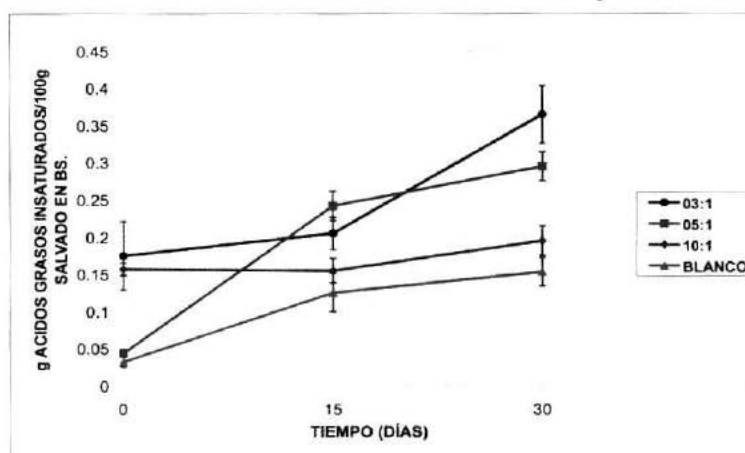
Debido a que los resultados de AGLIT analizados a partir de la variable temperatura no presentaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos a 18 y 40 °C, se puede inferir que la actividad proteolítica de la bromelina no fue eficiente bajo las condiciones de temperatura empleadas. Teniendo en cuenta que esta enzima tiene un óptimo rango de temperatura entre 50 y 60 °C, se presume que aunque haya presentado una actividad proteolítica sobre la estabilización del SA su efecto a bajos rangos de temperatura no se logra diferenciar.

No fue posible alcanzar un valor de temperatura por encima de 50 °C ya que esta variable ejerce una importante influencia sobre la degradación de los antioxidantes presentes en el salvado. Por tal razón, cada uno de los tratamientos se realizó de manera controlada con el fin de que no se produjera pérdida de los tocoferoles y tocotrienoles ya que en la bibliografía consultada se especifica que estos son compuestos que presentan una destrucción acelerada debido al calor con pérdidas de cerca del 50%

en procesos como la cocción de pan (Moore *et al.*, 1957). Otro estudio indicó grandes rangos de destrucción de los tocoferoles con pérdidas de un 90% a 58 y 98 °C (Hove & Hove, 1944).

Al no observar diferencias estadísticamente significativas entre los resultados de esta variable se decidió graficar los datos experimentales correspondientes a 18 °C. Es importante señalar que bajo esta condición de temperatura, no se requiere que el agua sea precalentada a 40 °C ni tampoco son necesarios procesos alternos para mantener esta condición durante la preparación de la mezcla, lo que indica menores costos tanto de operación como de logística del proceso.

En la gráfica 41 se muestran los resultados experimentales de la concentración de los AGLIT, para cada uno de los tratamientos analizados y el blanco.



Gráfica 41. Valores experimentales de la concentración de AGLIT para el blanco y los tratamientos sometidos a 18 °C en el tiempo de 0 a 30 días.

Las tendencias analizadas en la gráfica 41 muestran que los tratamientos empleados para la estabilización del salvado generaron una mayor liberación de AGLIT con respecto al blanco, esto indica que posiblemente aceleraron los procesos de hidrólisis de los triglicéridos mediados por las lipasas presentes en el SA.

Los tratamientos 3:1 y 10:1 presentan concentraciones iniciales superiores al blanco en el tiempo 0, lo que indica que el proceso de estabilización tuvo una influencia sobre la degradación de los AGLIT. Lo contrario ocurrió en el tratamiento 5:1 cuya concentración inicial de AGLIT fue cercana a la muestra patrón, indicando que no hubo un efecto externo sobre ésta. A los 15 días se muestra cómo todos los tratamientos, excepto 10:1, presentan diferencias en sus concentraciones de AGLIT con respecto al blanco observándose que los tratamientos causaron una mayor liberación de los ácidos. Para los 30 días todos los tratamientos mostraron diferencias en su concentración con respecto al blanco lo que indica que tuvieron una mayor degradación de los triglicéridos.

Estudiando las variables de proceso, en la anterior gráfica se puede observar que a menor relación másica de agua-salvado existe una mayor liberación de AGLIT a los 30 días. Cabe resaltar el tratamiento 10:1 con un comportamiento que tiende a ser constante en el tiempo mostrando tan solo un incremento de su concentración inicial con respecto a la final del 24%; seguido del tratamiento 3:1 que a pesar de presentar la mayor concentración final de AGLIT tuvo un porcentaje menor de liberación de los ácidos grasos en el tiempo con respecto a 5:1 que aunque partió con una concentración igual al del blanco tuvo una liberación de ácidos mayor de los 0 a 15 días. En el caso del blanco, a pesar de tener la menor concentración de AGLIT a través del tiempo, presenta un porcentaje de liberación mayor con respecto a 10:1 lo que indica que este último presenta el mejor comportamiento en el estudio realizado.

Debido a que la bromelina es una proteasa de carácter hidrofílico, su efecto en la disminución de la acción lipolítica presente en el SA sobresalió en las muestras con altas proporciones de agua. Este efecto se originó porque el agua, además de servir como sustrato, sirvió como difusor para que existiera una mayor interacción entre las lipasas y proteasas de la mezcla lo cual se evidenció en el tratamiento 10:1 (ONUDI, 1987).

La baja efectividad de la bromelina en los procesos de estabilización enzimáticos para los AGLIT pudo también ser debida a su baja concentración respecto a las cantidades de agua-salvado manejados en la mezcla. Se presume que otro factor que pudo haber intervenido en la actividad de la enzima comercial usada, fue que esta se extrajo de los tallos de la piña (Centro Agrolécher C-274301709) los cuales presentan menor acción proteolítica con respecto a la enzima obtenida de la pulpa y el corazón de la fruta (Gallardo *et al.*, 2008; López *et al.*, 1996). Por lo tanto, se abre así un camino para posteriores estudios con enzimas de alta actividad manejadas a mayores concentraciones.

Antioxidantes (tocoferoles y tocotrienoles)

Los resultados se reportan como gramos de tocoferoles o tocotrienoles cuantificados por cada 100 gramos de SA base seca.

En la tabla 51 se muestra el efecto que adoptaron las variables de proceso sobre la concentración de los tocoferoles. Para realizar el análisis estadístico se verificó que los datos experimentales fueran normales.

Tabla 51. Resultados de la ANOVA para tocoferoles.

Variable	Valor P*
Temperatura	0,2356
Relación agua-SA	0,0000
Tiempo	0,0000

*Menor a 0,05 indica que esta variable tiene un efecto estadísticamente significativo sobre los AGLIT, con una confianza del 95%.

Como se evidencia, la temperatura no tuvo un efecto estadísticamente significativo ($p > 0,05$) sobre la degradación de los tocoferoles en el tiempo. Caso contrario ocurrió con la relación -agua salvado y el tiempo, teniendo ambos un alto efecto en la pérdida de los antioxidantes presentes en el salvado con un valor p de cero (0).

En la tabla 52 se muestran los resultados del test de Duncan para la concentración de tocoferoles.

Tabla 52. Test de Duncan para tocoferoles a 0 y a 30 días.

Variable	Niveles	Diferencias entre niveles
Temperatura (°C)	18 - 40	
Proporción agua -salvado	3:1 - 5:1	
	3:1 - 10:1	-
	5:1 - 10:1	-
Tiempo (días)	0 -15	-
	0 - 30	-
	15 - 30	-

*Los niveles de cada tratamiento que presentan diferencias son representados por un guión (-).

Se observa que los tratamientos 3:1 y 5:1 no presentaron diferencias entre sí, por lo cual, su comportamiento presentó la misma tendencia y por ende el mismo grado de degradación de los tocoferoles. No obstante, las demás proporciones de agua sí presentaron una diferencia sobre la variable de respuesta. Por otro lado, las dos temperaturas no presentaron diferencia en los valores de concentración de tocoferoles por lo cual se puede concluir que no tuvieron efecto sobre la degradación de estos compuestos funcionales. Finalmente, se observa que el tiempo tuvo diferencias entre sus niveles indicando que no hubo una estabilidad de los tocoferoles durante el almacenamiento.

En la tabla 53 se muestra el efecto que generaron las variables de proceso sobre la concentración de tocotrienoles. Para realizar este análisis primero se verificó la normalidad de los datos.

Tabla 53. Resultados de la ANOVA para tocotrienoles.

Variable	Valor P*
Temperatura	0,2080
Relación agua-SA	0,0000
Tiempo	0,0000

*Menor a 0,05 indica que esta variable tiene un efecto estadísticamente significativo sobre los AGLIT, con una confianza del 95%.

Como se observa, la temperatura no presentó un efecto estadísticamente significativo ($p > 0,05$) sobre la degradación de los tocotrienoles en cada uno de los tratamientos. Sin embargo, la relación agua-salvado y tiempo muestran efectos estadísticamente significativos lo que indica que estas variables de proceso aportaron para que el SA no se mantuviera estable.

La tabla 54 muestra el test de Duncan para la concentración de tocotrienoles.

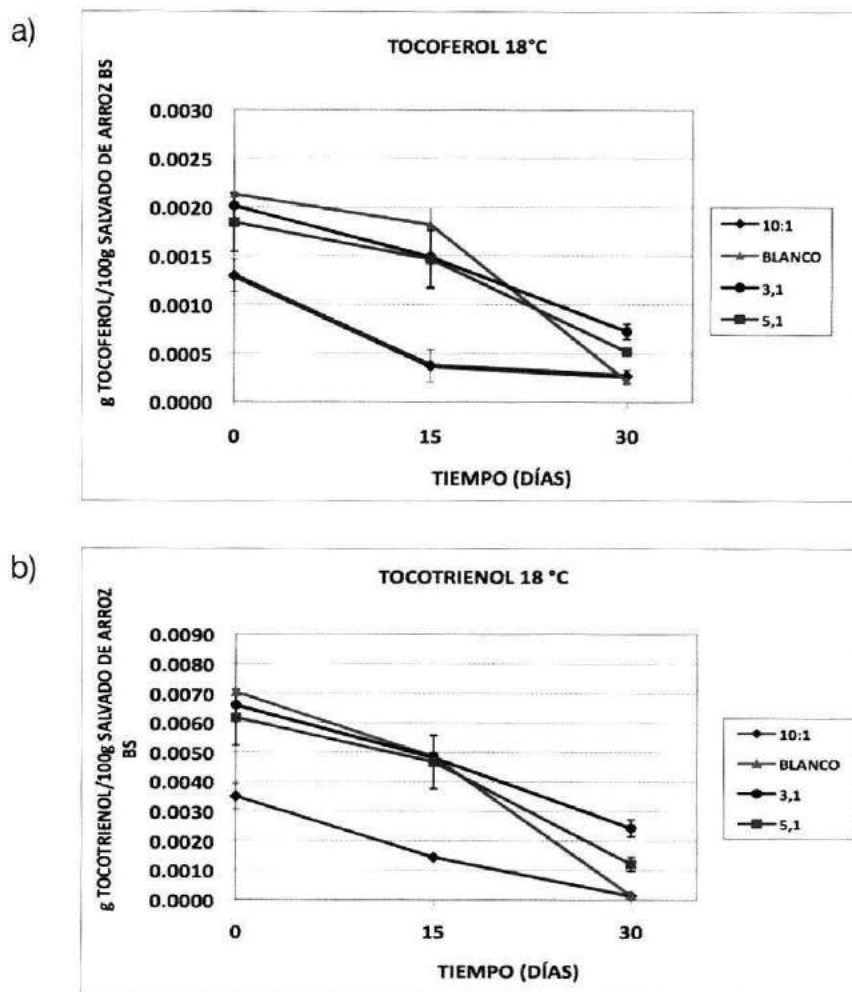
Tabla 54. Test de Duncan para tocotrienoles a 0 y a 30 días.

Variable	Niveles	Diferencias entre niveles
Temperatura (°C)	18 – 40	
Proporción agua -salvado	3:1 – 5:1	-
	3:1 – 10:1	-
	5:1 – 10:1	-
Tiempo (días)	0 – 15	-
	0 – 30	-
	15 - 30	-

*Los niveles de cada tratamiento que presentan diferencias son representados por un guión (-).

Se puede observar que los tratamientos 3:1, 5:1 y 10:1 tuvieron diferencias entre sí, dejando claro que cada uno tuvo un efecto diferente sobre la concentración de tocotrienoles a través del tiempo. En el caso de la temperatura se observa que las dos condiciones manejadas durante la estabilización presentaron el mismo efecto sobre la variable de respuesta. Respecto al tiempo se puede concluir que no hubo una estabilidad de los componentes funcionales del salvado de los cero (0) a los 30 días.

En la gráfica 42 se muestran los datos obtenidos para la concentración de antioxidantes (tocotrienoles y tocoferoles). Las gráficas se realizaron bajo esta condición de temperatura debido a que el análisis estadístico no mostró diferencias con los tratamientos a 40 °C por lo cual se asume que se comportaron de la misma forma.



Grafica 42. Cuantificación de antioxidantes presentes en el blanco y los tratamientos sometidos a 18 °C en el tiempo de cero (0) a 30 días. a) Tocoferoles b) Tocotrienoles.

Al analizar las tendencias de los tratamientos mostrados en la gráfica 42 a, se observa que la proporción agua-salvado 10:1 es la relación másica que muestra mayor degradación de los tocoferoles con respecto al blanco de los cero a los 15 días. Para los 30 días se observa que no hubo diferencias presentando ambos una concentración cercana, es decir, que a pesar de tener comportamientos diferentes llegaron al mismo grado de degradación de tocoferoles. En los tratamientos 3:1 y 5:1 se observa que no hubo diferencias significativas con respecto al blanco, por lo que se puede asumir que tuvieron el mismo comportamiento hasta los 15 días, sin embargo, a los 30 días estos muestran concentraciones superiores de tocoferoles indicando que al final hubo una conservación de estos componentes.

En la gráfica 42 b, se muestran los datos obtenidos en la concentración de tocotrienoles, en donde se observan tendencias similares a las analizadas para tocoferoles. En general, se ve que a mayores proporciones de agua existe una mayor degradación

de los compuestos antioxidantes, caso contrario ocurrido con los AGLIT. En los tratamientos 3:1 y 5:1 no se mostraron diferencias en la concentración de tocoferoles y tocotrienoles con respecto al blanco en el tiempo de cero (0) a 15 días lo que indica que estos presentaron el mismo comportamiento.

Los tocoferoles y tocotrienoles, al presentar tendencias similares y por ser parte de los antioxidantes constituyentes de la vitamina E, pueden ser analizados en conjunto. En general, se evidenció que la relación agua-salvado presentó un efecto negativo sobre la conservación de estos compuestos por lo cual se presume que el agua generó un efecto facilitador en la degradación de los antioxidantes. En un estudio consultado se comprobó que la pérdida de los tocoferoles y tocotrienoles depende de la actividad de agua, en donde a una mayor actividad acuosa ocurre una mayor velocidad de degradación (Eitenmiller, 2004). Esto se evidencia en la muestra 10:1 con la mayor rapidez de pérdida de los antioxidantes del SA.

Para realizar un análisis comparativo de la acción proteolítica que presentan las proteasas naturales sobre el SA, es necesario remitirnos a Álvarez (2010), quien realizó un proceso de estabilización con una enzima extraída de la papaya (papaína), en donde obtuvo una liberación de AGLIT de los cero (0) a los 30 días para todos los tratamientos superando la concentración del blanco, lo que indica que la acción de la papaína tampoco tuvo efecto sobre la estabilidad del salvado. Sin embargo, al comparar los resultados obtenidos con la bromelina para el tratamiento 10:1, este tuvo un comportamiento constante con concentración final de 0,19 g AGLIT/100 g salvado, lo que no se evidenció con la papaína en el mismo tratamiento presentando una tendencia constante hasta los 15 días y con una cantidad final de AGLIT de 0.2974 g/100 g salvado a los 30 días; indicando así que la efectividad de la bromelina fue mayor en la conservación de los AGLIT para la relación másica 10:1.

En la tabla 54, se observan los valores para la concentración de AGLIT en los procesos de estabilización enzimática del SA mediante el uso de papaína y bromelina.

Tabla 54. Valores experimentales de AGLIT para el proceso de estabilización de salvado con papaína y bromelina de cero (0) a 30 días.

Relación másica entre agua y salvado	Tiempo	Bromelina	Papaína
		AGLIT	AGLIT
3:1	0	0.1742	0.0451
3:1	15	0.2045	0.2641
3:1	30	0.3645	0.2997
5:1	0	0.0432	0.0667
5:1	15	0.2414	0.2092
5:1	30	0.2945	0.3120
10:1	0	0.1563	0.1178
10:1	15	0.1543	0.1256
10:1	30	0.1945	0.2974

Álvarez (2010) encontró un comportamiento constante en la concentración de los antioxidantes para todos los tratamientos hasta los 15 días; este comportamiento no se evidenció en el estudio realizado con bromelina, ya que hubo una degradación mayor y continua de los antioxidantes a través del tiempo.

CONCLUSIONES

La temperatura manejada en cada uno de los tratamientos de estabilización no presentó ningún efecto sobre la concentración de los ácidos grasos libres insaturados totales y antioxidantes (tocoferoles y tocotrienoles) presentes en el SA.

Se evidenció que a mayor concentración de agua presente en la mezcla se genera una menor liberación de AGLIT. A pesar de esto, se provoca un aumento en la degradación de los tocoferoles y tocotrienoles presentes en el salvado.

El tratamiento 10:1 mostró el mejor comportamiento del estudio sobre la liberación de AGLIT con tan solo un incremento de su concentración inicial con respecto a la final del 24%.

La bromelina bajo las condiciones de proceso temperatura y relaciones másicas de agua y salvado no presentó un efecto estabilizador sobre los antioxidantes y AGLIT presentes en el SA.

Referencias bibliográficas

- Álvarez, D. 2010. Estabilización del SA mediante el uso de una enzima proteolítica (papaína). Universidad Jorge Tadeo Lozano. Facultad de Ingeniería de Alimentos. Bogotá.
- Da Silva M, Sánchez C, Amante E. 2006. Prevention of hydrolytic rancidity in rice bran. *Journal of Food Engineering* 75:487-491.
- Eitenmiller, R., Lee, J. 2004. Vitamin E: Food Chemistry, Composition and Analysis. Marcel Dekker, Inc. United States.
- Frankel, E. 1984. Lipid oxidation: Mechanisms, Products and Biological Significance. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 61:1908-1917.
- Funatsu, M., Aizono, Y., Hayashi, K., Watanabe, M., Eto, M. 1971. Biochemical studies on rice bran lipase. Part I: Purification and Physical Properties. *Agricultural and Biological Chemistry*. 35:734-742.
- Gallardo, L., Sánchez, A., Montalvo, C., Alonso, A. 2008. Extracción de bromelina a partir de residuos de piña. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*. 18:1- 4.

- Gil, H; Mata Segreda, J; Schowen, R. 1991. Efecto de la glucación no enzimática en la reactividad en proteolisis. Acta Cient. Venez; 42:16-23.
- Guzmán, J. 2010. Estabilización del SA colombiano para evaluar la conservación de ácidos grasos insaturados y antioxidantes (tocoferoles y tocotrienoles) Universidad Jorge Tadeo Lozano. Facultad de Ingeniería de Alimentos. Bogotá.
- Hammond, N.A. 1994. Method for stabilizing rice bran and rice bran products. US Patent number: 5,753.283.
- Headon D, Walsh G. 1994. The industrial production of enzymes. Biotechnology Advance. 12 (4):635-46.
- Hernández M, Chávez M, Báez R, Carvajal C, Márquez M, Morris H, Santos R, González J, Quesada V, Rodríguez C. 2003. Nueva tecnología para la obtención de un preparado de bromelina de tallo de piña (*Ananas comosus* (L.) Merr) Biotecnología Aplicada. 20: 180-183.
- Hove, E.L.; Hove, Z. 1944. The effect of temperature on the relative antioxidant activity of α -, β -, and γ -tocopherols and of gossypol. J. Biol. Chem., 156:623-632.
- Hu, W., Wells, J., Shin, T., Godber, J. 1996. Comparison of isopropanol and hexane for extraction of Vitamin E and Oryzanols from stabilized rice bran. Journal of the American Oil Chemists Society. 73:1653-1656.
- Hurtado, B.R. 1989. Efecto de la hidrólisis con Bromelina y la proteasa del *Aspergillus oryzae* sobre las propiedades funcionales de la harina desacascarada de ajonjolí. Venezuela.109 p.
- Juliano, O. B. 1994. Rice: Chemistry and Technology. 2nd ed. St. Paul, EUA: The American association of Cereal Chemist's inc.774 p.
- Kennedy, G., Burlingame, B. 2003. Analysis of food composition data on rice a plant genetic resources perspective. Food Chemistry. 80:589-596.
- López L, Díaz J, Merino de Cáceres F. 1996. La bromelina una proteasa de interés comercial. Ciencia y tecnología alimentaria. México .1:17-22
- Martínez H, Acevedo X. 2002. Características y estructura de la cadena de arroz en Colombia, documento de trabajo n° 11. Observatorio Agrocadenas.
- Moore, T., Sharman, J.M., Ward, R.J. 1957. Destruction of vitamin E in flour by chlorine dioxide. Journal of Science and Food Agriculture. 8:97
- Morris H, Almarales A, Abdala R. 1998. Influencia del tratamiento de la biomasa y la naturaleza de las enzimas proteolíticas en la hidrólisis de las proteínas de *Chlorella vulgaris*. División de Biotecnología Solar, Santiago de Cuba. 10:59-67.
- Observatorio Agrocadenas, 2005. Agroindustria y competitividad. Estructura y dinámica en Colombia 1992- 2005. Ministerio Agricultura y Desarrollo Rural. 369 p.

- Observatorio Agrocadenas. 2004. La competitividad de las cadenas agroproductivas en Colombia, Análisis de su estructura (1991-2004). Ministerio de Agricultura y Desarrollo rural.
- Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial. 1987. El SA, una materia prima subutilizada. Viena. 262 p.
- Parra, D. 2009. Estabilización ácida del SA inhibiendo la acción de lipasas y peroxidasas para conservar su calidad funcional. Universidad Jorge Tadeo Lozano. Facultad de Ingeniería de Alimentos. Bogotá
- Parrado J, Miramontes E, Jover M, Gutiérrez J, Collantes de Terán L, Bautista J. 2006. Preparation of a rice bran enzymatic extract with potential use as functional food, Food Chemistry 98 742-748.
- Prakash, J., & Ramanatham, G. Physico-chemical and nutritional traits of rice bran protein concentrate-based weaning foods. 1999. Journal of Food Science and Technology, 32(5):395-399.
- Prakash, J. 1996. Rice bran proteins: properties and food uses. Critical Review of Food Science Nutrition, 36 (6):537-552.,
- Rogers, E., Rice, S., Nicolosi, R., Carpenter, E., McClelland, C., Romanczyk, L. 1993. Identification and quantitation of γ -oryzanol components and simultaneous assessment of tocopherols in rice bran oil. Journal of the American Oil Chemists Society. 70:301-307.
- Vercet, A., Oria, R., Crelier, S., López, P. 2002. Selective inactivation of phospholipase A2 in complex protein mixtures. Innovative Food Science and Emerging Technologies. 3:271-277.

ESTABILIZACIÓN DEL SALVADO DE ARROZ COLOMBIANO MEDIANTE TRATAMIENTO CON ÁCIDOS PARA EVALUAR LA CONSERVACIÓN DE ÁCIDOS GRASOS INSATURADOS Y ANTIOXIDANTES (TOCOFEROLES Y TOCOTRIENOLES)

Se trabajó la acidificación de SA con ácido ascórbico como forma de estabilización mediante inhibición enzimática. Se evaluaron dos niveles de pH (3,6 y 4,2) y una muestra control (blanco), contando con un pH de 6,2 el cual corresponde al valor normal a condiciones ambientales. La medición de la estabilidad del SA se llevó a cabo mediante la determinación de la conservación a través del tiempo (0, 25 y 50 días) de los ácidos grasos insaturados libres, tocoferoles y tocotrienoles, su cuantificación se obtuvo mediante cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC).

MATERIALES Y MÉTODOS

Características del salvado de arroz

Arroz paddy seco procedente de los molinos industriales de Arroz Diana del Tolima (Espinal, Colombia) fue descascarillado y pulido (molino de arroz GranEl®) simulando estrictamente las condiciones industriales para obtener salvado. El material fue conservado a temperaturas inferiores a -20 °C durante una semana.

Para el trabajo de la muestra se homogenizó el material mediante mezclado manual aproximadamente durante 15 minutos y después fue tamizado.

El estudio se llevó a cabo sobre un tratamiento con ácido ascórbico para la estabilización de SA y un blanco (patrón). Se trabajaron dos variables: tiempo y pH, a tres niveles de pH 3,6, 4,2 y 6,2. Siendo el pH de 3,6 y 4,2 obtenidos con aspersión del ácido y el pH 6,2 el del SA sin tratar (blanco de muestra).

Estabilización del salvado

Selección del ácido ascórbico y concentración empleada

Ácido ascórbico ($C_6H_8O_6$): Debido a su poder antioxidante (Akoh *et al.*, 2002) se tomó como una buena opción para la conservación de este tipo de componentes, además ya ha sido empleado como ácido estabilizador en el SA (Tao, 2001).

A continuación en la tabla 55 se muestran las concentraciones empleadas en las aspersiones realizadas en el SA.

Tabla 55. Concentración de los ácidos empleados en el tratamiento de estabilización de SA.

Solución	Ácido	Concentración	pH alcanzado
1	Ácido ascórbico	0,35 M	0,85
2	Ácido ascórbico	0,61 M	1,42

Acidificación del salvado de arroz

La metodología general consistió en la adición de una solución de ácido a aproximadamente 80 g de muestra de SA. La cantidad de solución agregada en ml a cada muestra se fijó según el pH requerido. La mezcla se realizó manualmente, para asegurar la homogeneidad de la muestra, efectuando una mezcla progresiva del ácido con el SA ya que Prabhakar y colaboradores (1986) concluyeron en su estudio de estabilización que la mezcla manual logra una menor homogeneidad que la mezcla mecánica.

Los pH alcanzados para cada muestra fueron de 3,6 y 4,2. El blanco contó con un pH de 6,2 aproximadamente. La medición del pH para el blanco se llevó a cabo mezclando 10 g de SA y 10 ml de agua destilada y el de las otras muestras se llevó a cabo mediante la suspensión de 8 g de SA tratado con ácido en 10 ml de agua destilada, los resultados obtenidos en ésta medición se muestran a continuación en la tabla 56.

Tabla 56. pH alcanzados por las muestras después de los tratamientos ácidos realizados.

Ácido	Muestra	pH alcanzado	pH óptimo
Ácido ascórbico	1	3,60	pH 3
	2	4,17	pH 4

La diferencia en la medición de acidez en estas muestras respecto al blanco radicó en que era necesario para el procedimiento humedecer a este último ya que se encontraba seco.

El pH óptimo de la muestra 1 era 3, sin embargo, debido a las propiedades buffer del SA no fue posible disminuir de 3,6 ya que el equilibrio del sistema llegaba hasta este valor.

Después de haber sido estabilizado, el SA se secó a 40 °C hasta obtener a una humedad de entre 8,7% y 11%.

Medición del grado de estabilidad

El grado de estabilidad del SA se midió como la variación de las concentraciones de los ácidos grasos insaturados libres, tocoferoles y tocotrienoles a través del tiempo (0, 25 y 50 días).

Para dicha cuantificación se hizo necesaria la extracción de aceite. A este aceite se le aplicaron las metodologías que se presentan más adelante para la cuantificación por HPLC.

Análisis de muestras

Extracción de aceite del salvado de arroz estabilizado

La extracción de aceite crudo de SA se llevó a cabo como se describe en el capítulo 1, gráfica 2.

Separación y cuantificación de ácidos grasos insaturados libres del aceite extraído del salvado de arroz estabilizado

La metodología para la separación de ácidos grasos insaturados libres se explica en la metodología expuesta en el capítulo 1, gráfica 5.

La cuantificación de los ácidos grasos insaturados libres (oléico, linoléico y linolénico) por HPLC se realizó bajo las condiciones descritas en el capítulo 1 expuestas en “Condiciones cromatográficas II para cuantificación de ácidos grasos insaturados (oléico, linoléico y linolénico) libres y totales”.

Separación y cuantificación de tocoferoles y tocotrienoles del aceite extraído del salvado de arroz estabilizado

La metodología para la separación de tocoferoles y tocotrienoles se explica en la metodología expuesta en el capítulo 1, gráfica 3.

La cuantificación de los de tocoferoles y tocotrienoles por HPLC se realizó bajo las condiciones descritas en el capítulo 1 expuestas en “Condiciones cromatográficas II para cuantificación de tocoferoles, tocotrienoles y γ -orizanol”.

Cálculo de las concentraciones de los componentes funcionales

Para la cuantificación de cada uno de los componentes funcionales se utilizó una curva de calibración especificada por área (mV min) vs Concentración ($\mu\text{g/ml}$), ésta arrojó una ecuación de la curva permitiendo el cálculo de la concentración del compuesto de interés por interpolación de ésta área.

Posteriormente se empleó la Ecuación (5) para la obtención de la concentración del componente de interés en 100 gramos de SA (bs).

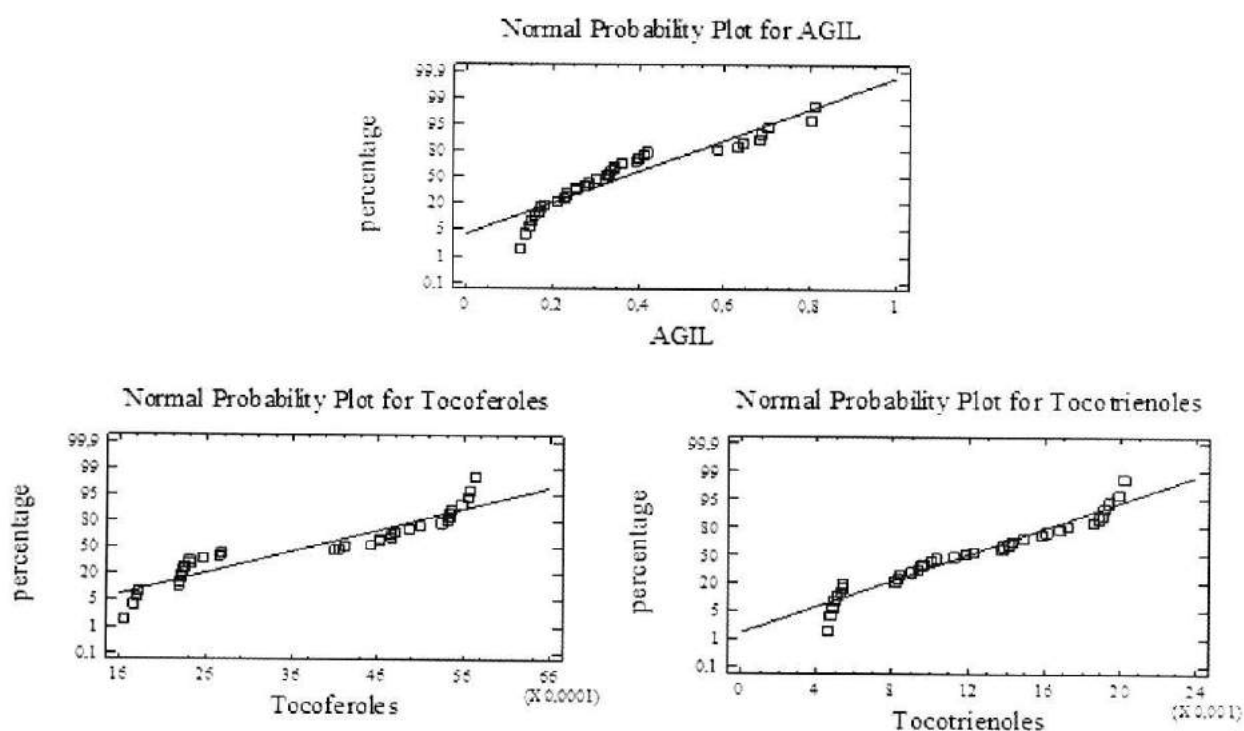
Nota. Los resultados para el gamma-orizanol no se tuvieron en cuenta, puesto que las cantidades obtenidas a través del tiempo para todas las muestras no mostraron una tendencia lógica con la cual se pudiera dar un análisis acertado.

Análisis estadístico

Se realizó de tipo comparativo para pH y tiempo, mediante ANOVAS; con una significancia del 95%. Este análisis fue apoyado con el paquete estadístico STATGRAPHICS® PLUS versión 5.1.

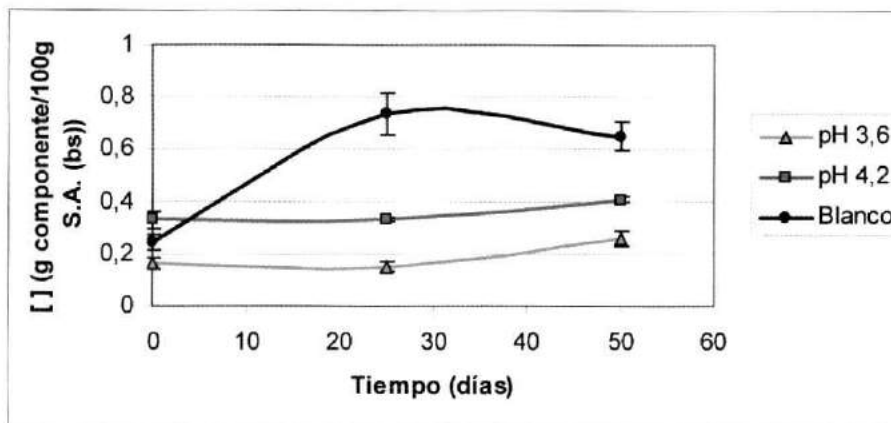
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la gráfica 43 se presentan los resultados para la normalidad de las transformaciones en el análisis del sistema enzimático para cada uno de los diferentes ácidos de tratamiento.



Gráfica 43. Probabilidad normal para las muestras tratadas con el ácido ascórbico y el blanco para AGIL (a), Tocoferoles (b) y Tocotrienoles (c).

A continuación en la gráfica 44 se presentan los resultados obtenidos para la concentración de ácidos grasos insaturados libres (AGIL).



Gráfica 44. Concentración de AGIL a través del tiempo.

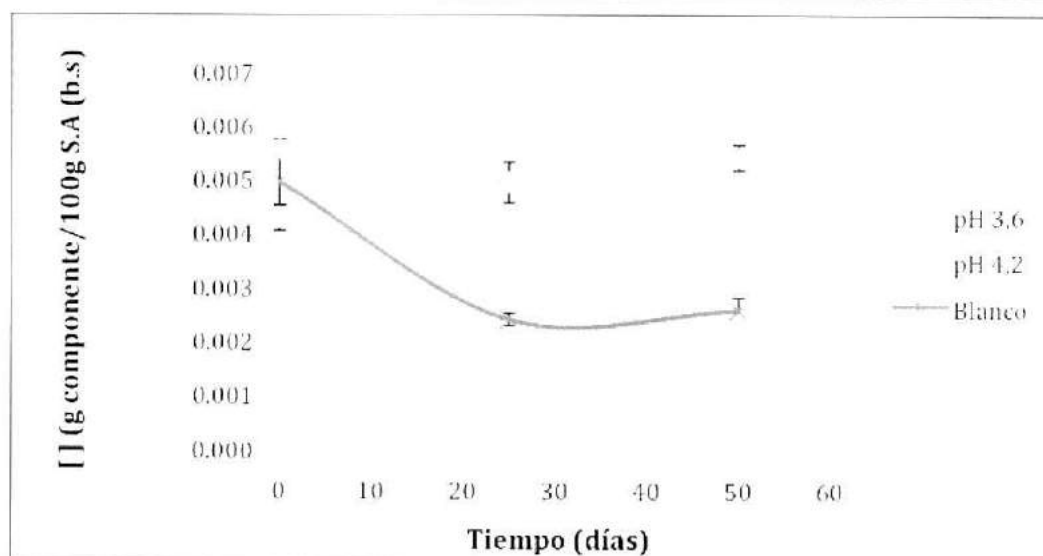
Se puede notar que los tratamientos tuvieron un efecto estabilizante sobre la matriz de SA ya que las concentraciones de AGIL se encuentran por debajo del blanco. Además, como era de esperarse, el tratamiento realizado a un nivel de pH 3,6 presenta el mejor comportamiento.

Esto sugiere una mayor afectación de la enzima lipasa a un nivel de pH más bajo, pues al haber mayor cantidad de iones disponibles la ionización residual enzimática genera un cambio en la conformación del sitio activo de la enzima y su estructura (desnaturalización enzimática parcial) (Conn *et al.*, 2001). Dicha diferencia entre AGIL y pH es notoria en la prueba ANOVA y en la prueba de múltiples rangos de Duncan como se aprecia en la tabla 57.

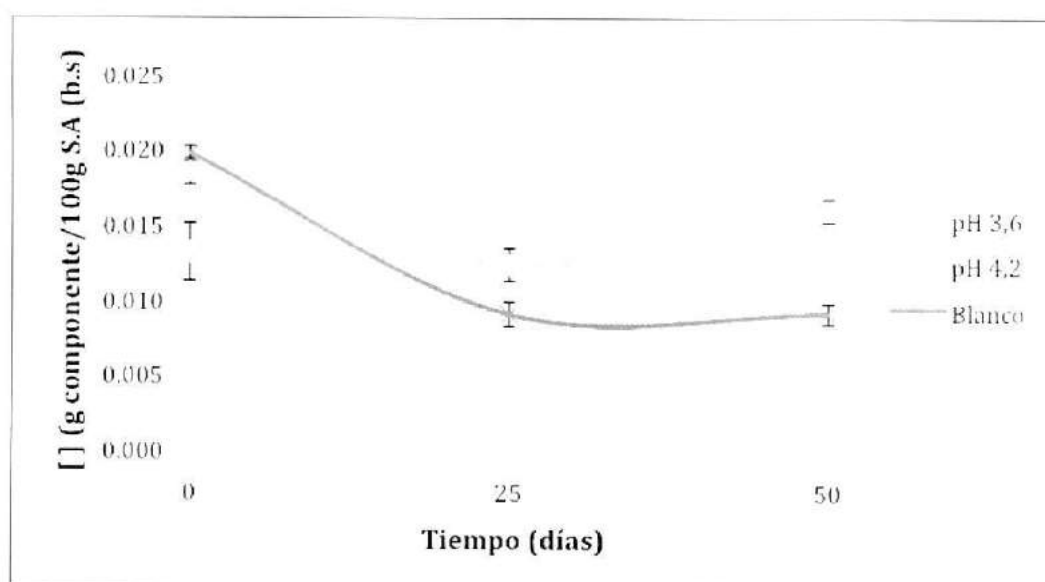
Tabla 57. Resultados para la aplicación de la prueba ANOVA.

Ácido	Respuesta	ANOVA		
		Variable	Valor P	Significativo
Ascórbico	AGIL	Tiempo	0	X
		pH	0,0004	X
		Duncan		
		pH		Diferentes
		3,6	4,2	X
		3,6	6,2	X
		4,2	6,2	X

En las gráficas 45 y 46 se observan los comportamientos de las muestras a través del tiempo con respecto a la concentración de tocoferoles y tocotrienoles respectivamente.



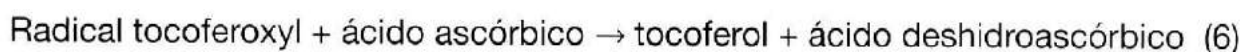
Gráfica 45. Concentración de tocoferoles a través del tiempo.



Gráfica 46. Concentración de tocotrienoles a través del tiempo.

Se puede notar que el nivel de pH que conservó los antioxidantes fue el de 4,2, siendo el nivel de pH un factor importante dentro de esta conservación.

De igual manera, observando ambas gráficas se puede evidenciar la disminución en la concentración de los compuestos en el transcurso del primer al segundo período de tiempo y su posterior aumento (de segundo al tercer período de tiempo). Esto puede tener una explicación basada en el hecho de que el ácido ascórbico funciona como un antioxidante primario o secundario (Akoh *et al.*, 2002). Este es empleado como un donador de hidrógeno a los antioxidantes primarios como lo son los tocoferoles de la siguiente manera (ecuación 6).



Es decir, el ácido ascórbico provee protección a los componentes antioxidantes, permitiendo que estos regeneren dentro de la muestra.

En la siguiente tabla se presentan los resultados para la aplicación de la prueba ANOVA.

Tabla 58. Resultados para la aplicación de la prueba ANOVA.

Ácido	Respuesta	Variable	Valor P	Significativo
Ascórbico	Tocoferoles	Tiempo	0	X
		pH	0	X
	Tocotrienoles	Tiempo	0	X
		pH	0	X

CONCLUSIONES

El efecto inhibitorio enzimático en el rango de pH evaluado fue efectivo, generando una diferencia significativa en la concentración de AGIL.

El pH de 3,6 fue efectivo para inhibir la liberación de ácidos grasos libres, estando la muestra siempre por debajo de la concentración reportada por el blanco.

El pH de 4,2 conservó mejor los tocoferoles y los tocotrienoles que el de 3,6.

Referencias bibliográficas

- Akoh, C., C.; Min, B., D. 2002. Food Lipids. New York, United States: Casimir C. Akoh y David B. Min editores, 1005p.
- Amarasinghe B., Gangodavilag N.C, 2004. Rice Bran Oil Extraction in Sri Lanka. Data for Process Equipmnet Desing. Institution of Chemical Engineers. 82 (C1): 54-59.
- Castro J. A.; Baquero L. E.; Narváez C. E. 2006. Catalasa, peroxidasa y polifenoloxidasas de pitahaya amarilla (*Acanthocereus pitajaya*). Revista Colombiana de Química vol. 35 n. 1
- Conn, E.; Stunpf, P.; Bruening, G.; Doi, R. 2001. Bioquímica fundamental. México: Guadalajara: Editorial Limusa. 350p.
- Copeland, R., 2005. Evaluation of enzyme inhibitors in drug discovery: A guide for medicinal chemists and pharmacologists. Disponible en: <http://site.ebrary.com/>

lib/utadeo/Doc?id=10114176&ppg=236. 216p.

- Cubero N.; Monerrer A.; Villalta J. 2002. Aditivos Alimentarios. España: Ediciones Mundi-AMV. 240p.
- Foundation N, 1984. Ciencia de la alimentación Química avanzada Nuffield Publicaciones del programa Nuffield de Química avanzada. Reverte. 190 p.
- Hu, W., Wells, J. H., Shin, T.S., Godber, J.S., 1996. Comparison of isopropanol and hexane for extraction of extraction of vitamin E and orizanols form stabilized rice bran. J. Am. Oil Chem. Soc. 73 (12). 1653 – 1656.
- Tao, J. Jun. 12, 2001. Method of stabilization of rice bran by acid treatment and composition of de same. Patent No: US 6,245,377 B1
- Ovalle, H. 2009. Evaluación del comportamiento funcional del SA (*Oryza sativa* L.) de acuerdo a diferentes etapas de pulido industrial y origen de este. Tesis de grado de Ingeniería de Alimentos. Universidad Jorge Tadeo Lozano. Facultad de Ingeniería de Alimentos. Bogota.
- Prabhakar, J. V.; Venkatesh, K. V. L.; May, A. 1986. Simple chemical method for estabilization of rice bran. Fuente: JAOCS. Vol. 63 no.5.
- Fundación Universidad Jorge Tadeo Lozano. 2008. Sistema integral de presentación de proyectos: Desarrollo de procesos para la valorización de subproductos de la industria arrocera: Estabilización y usos potenciales del SA colombiano para su aprovechamiento industrial sin afectar su calidad nutricional y funcional, 57p.
- Sastry, B. S., 1973. Enzymes in rice bran, Ph.D. Thesis, University of Mysore.
- Villamiel M, 2006, Instituto de Fermentaciones Industriales Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), Tratamiento de alimentos con microondas.

62498

CAPÍTULO 4

USOS POTENCIALES DEL SALVADO DE ARROZ ESTABILIZADO EN LAS INDUSTRIAS DE ALIMENTOS, COSMETOLÓGICA Y FARMACÉUTICA, Y USOS ALTERNOS A DICHAS INDUSTRIAS

Industrias potenciales:
de alimentos,
cosmetológica,
farmacéutica y
usos alternos a dichas industrias

Autor
Marisol Aguirre



INTRODUCCIÓN

Se investigaron los usos y mercados potenciales del salvado de arroz (SA) basados en el contenido de proteína, antioxidantes y fibra dietaria entre otras. La investigación se centró en las industrias de alimentos funcionales, enriquecidos y fortificados; además se exploraron las industrias cosmética y farmacéutica. Adicionalmente se elaboró una investigación sobre usos alternos a estas industrias.

EL SALVADO DE ARROZ EN LA INDUSTRIA DE LOS ALIMENTOS

Los alimentos a base de soya son bien conocidos por sus beneficios sobre la salud. Este tipo de alimentos generalmente contienen buena cantidad de grasas mono y poliinsaturadas, proteínas y otros beneficios tales como cantidades moderadas de fitoquímicos. No existe duda de que la industria de la soya ha hecho bien en la concientización sobre los beneficios de este producto en la salud, aunque el mercado alimenticio de la soya continua creciendo, ha sido incapaz de capturar el interés en todos los grupos de edades. De igual manera, existen cuestionamientos respecto a los problemas relacionados a su fabricación ya que se hace uso de procesamientos abrasivos contra el medio ambiente donde se gastan grandes cantidades de agua fresca y se realizan extracciones con hexano con el fin de aislar fracciones de proteínas. Desafortunadamente también se ha encontrado que el consumo de alimentos de soya puede causar inflamación intestinal y molestias debido a la difícil digestión de la estaquiosa y la rafinosa. Estos últimos dos carbohidratos restringen la aplicación universal de los ingredientes basados en esta materia prima en alimentos y carnes procesadas (Hoogenkamp H., 2009).

Conociendo que las industrias de alimentos fortificados, enriquecidos y funcionales están en aumento, debido a las nuevas tendencias alimentarias del mundo (alimentos saludables); es necesario encontrar una materia prima alterna que pueda cumplir con todos los requerimientos anhelados. Es entonces como el SA estabilizado se convertiría en una materia prima potencial para esta industria tan creciente. El SA es en promedio cerca del 40 % más barato que la soya. El precio del SA es del orden de los 400 pesos el Kg mientras que el de la soya es de 1070 pesos el Kg (Agrocadenas, 2004). De manera importante, es necesario resaltar que el SA estabilizado es considerado como un alimento seguro (GRAS) por la FDA (Qureshi *et al.*, 2002).

Al ver este gran potencial, muchos investigadores han querido conocer las propiedades y el comportamiento del SA en productos alimenticios, por lo tanto han surgido diversos estudios alrededor del mundo donde se comprueba el gran beneficio, no solamente nutricional sino también textural, y su aporte en la conservación de productos cuando es utilizado como aditivo alimentario.

Antioxidantes

Compuestos sintéticos tales como butilhidroxitolueno (BHT), butilhidroquinona terciaria (TBHQ), butilhidroxianisol (BHA) y butilgalato (PG) han sido ampliamente usados como antioxidantes en la industria de alimentos. Sin embargo, muchos investigadores han reportado efectos adversos de estos antioxidantes sintéticos entre los cuales resaltan su toxicidad y su carcinogenicidad (Ito *et al.*, 1986; Whysner *et al.*, 1994; Williams *et al.*, 1999). Debido a las tendencias en mantener una seguridad alimentaria y por tanto a la limitación del uso de antioxidantes sintéticos y aspectos tales como la preferencia del consumidor por adquirir productos naturales, se ha popularizado el uso de antioxidantes de origen natural (Brannen, 1975). Los antioxidantes naturales obtenidos de materiales comestibles, subproductos comestibles y recursos residuales se han convertido entonces en una alternativa interesante (Moure *et al.*, 2001). Por consiguiente, un gran número de investigadores se encuentra estudiando materiales provenientes de plantas como posibles fuentes de compuestos de alta eficiencia y antioxidantes seguros con una multitud de efectos biológicos.

El SA es una fuente potencial de esteroides, alcoholes superiores, gamma-orizanol, tocoferoles, tocotrienoles y compuestos fenólicos (Nicolosi *et al.*, 1994). Estos recursos han mostrado gran potencial para su biodisponibilidad (Liu, 2003). De acuerdo con reportes de literatura, los efectos antioxidantes de los extractos de SA se han destacado en sistemas *in vitro* como captadores de radicales libres, poseedores de habilidad quelante y poder reductor (Iqbal *et al.*, 2005; Nam *et al.*, 2006).

López & Rodríguez (2009) encontraron que la variedad de arroz colombiano con mayor capacidad antioxidante es Cimarrón Barinas con 7,68 mmol/kg de muestra para la primera etapa de pulido, seguida por las variedades Fedearroz 50 y Fedearroz 60 con 7,46 mmol/kg de muestra y 6,81 mmol/kg de muestra, respectivamente. Al mismo tiempo observaron una disminución de la capacidad antioxidante para las distintas variedades en la segunda etapa de pulido, probablemente debido a efectos del proceso o efectos enzimáticos que degradan los compuestos antioxidantes.

La actividad antioxidante del aceite del SA en este estudio presentó un valor mayor (7,68 mmol Trolox/kg de muestra) al de otros aceites como el de soya (2,20 mmol Trolox/kg de muestra) y el aceite extravirgen de oliva (1,79 mmol Trolox/kg de muestra), esto probablemente se debe a su alto contenido de tocotrienoles (Rovellini *et al.*, 1997) y a la presencia del gama orizanol, el cual no se encuentra presente en los otros aceites (Chen & Bergman, 2005).

Aceites

Aceite de pescado

El aceite de pescado tiene un gran contenido de ácidos grasos poliinsaturados (PUFA) especialmente los grupos omega-3 tales como eicosapentaenoico (EPA) y ácido

docohexaenoico (DHA). Este aceite al tener un alto nivel de ácidos poliinsaturados puede ser susceptible a la autooxidación y producir sabores indeseables conduciendo a la pérdida de su valor nutricional así como también a la formación de compuestos tóxicos durante su almacenamiento (Frankel, 1998). En la rancidez que a veces se produce en el aceite de pescado se originan descomposiciones proteicas de la cistina y cisteína que contienen enlaces disulfuro. Esto trae como consecuencia la formación del venenoso ácido sulfhídrico (H_2S). Muchos son los casos de muertes acaecidas en barcos pesqueros y silos contenedores de aceite de pescado crudo mantenidos mucho tiempo sin ventilación adecuada. Basta que una persona asome su cabeza en estos lugares recién destapados, para que colapse rápidamente. Sin embargo, la estabilidad oxidativa de este producto puede mejorarse mediante la adición de antioxidantes (Chotimarkorn *et al.*, 2008).

Los principales antioxidantes mayormente usados en los aceites incluyen los tocoferoles, el butilhidroxianisol (BHA) y el butilhidroxitolueno (BHT) (Chu & Hus, 1999), recordemos que como anteriormente se señaló el BHA y el BHT tienen efectos adversos sobre el organismo y su consumo resulta riesgoso para la salud de las personas. Sin embargo, varios estudios encontraron que el gamma-orizanol obtenido de extractos del SA tiene un marcado efecto estabilizante durante almacenamiento y freído (Chotimarkorn & Silalai, 2008; Kochhar, 2000). Además, se ha comprobado que los extractos de SA añadidos al aceite de atún pueden reducir los cambios en la composición de ácidos grasos, tocoferoles totales y contenido de fenólicos que ocurren durante la peroxidación de lípidos en el almacenamiento de aceites, sorprendentemente se observó que su estabilidad oxidativa se incrementó con el aumento en la concentración de los extractos añadidos (Chotimarkorn *et al.*, 2008).

Aceite de soya

Normalmente los aceites líquidos con menor posibilidad para alcanzar su estabilidad oxidativa durante freído profundo son los hidrogenados. Estos aceites sufren de rancidez hidrolítica y rancidez oxidativa lo cual conduce a su rápido deterioro. Sin embargo, durante su hidrogenación se forman cantidades nutricionales de isómeros de ácidos grasos trans. Una alternativa para tratar la hidrogenación es mezclar estos aceites líquidos con aceites poliinsaturados que contengan antioxidantes naturales tales como el aceite de oliva, de semillas de ajonjolí y de SA (Kochhar, 2000).

Erickson & Frey (1994) afirman que ciertas mezclas de aceite de SA con aceite de soya decrecen la velocidad de deterioro del aceite debido a la notable capacidad antioxidante del aceite del SA. Esta mezcla de aceite para freír mejora la estabilidad y revela una menor cantidad de ácidos grasos poliinsaturados, particularmente ácido linoléico y linolénico.

Según la literatura, la composición de los ácidos grasos del aceite para freír es un factor importante que afecta el sabor del alimento freído y su estabilidad; por lo tan-

to, se recomienda que contenga un bajo nivel de ácidos grasos poliinsaturados tales como linoléico y linolénico y altos niveles de ácido oléico con cantidades moderadas de ácidos grasos saturados (Kiatsrichart *et al.*, 2003; Mehta & Swinburn, 2001).

En este estudio, los ensayos demostraron que la mezcla de aceite de soya con aceite de SA provee protección al producto freído contra la peroxidación de los lípidos durante su almacenamiento mediante la baja combinación inicial de los niveles de ácidos grasos insaturados y la disminuida velocidad en el decrecimiento de ácidos grasos poliinsaturados. De manera interesante, Kochhar (2000) demostró que mediante esta técnica la estabilidad de *snacks* freídos en estos aceites se incrementa sustancialmente. Varios estudios previos han demostrado que el contenido de ácidos grasos poliinsaturados disminuye rápidamente con el incremento del contenido de ácidos grasos saturados, fenómeno resultante de la peroxidación de lípidos en productos freídos durante el almacenamiento (Chung *et al.*, 2006; Lee *et al.*, 2004).

Chotimarkon & Silalai (2008) comprobaron que las mezclas de aceite de soya con 50 y 75 % de aceite de SA mejoran la estabilidad oxidativa y previenen la rancidez hidrolítica en productos freídos (a 60 °C) durante su almacenamiento ya que el aceite de SA tiene menos concentración de ácidos grasos poliinsaturados y mayor contenido de gamma-orizanol que el aceite de soya. En estos ensayos el contenido de gamma-orizanol no pudo ser detectado en la masa en cuyo freído se usó 100% de aceite de soya, sin embargo se observó que este compuesto se incrementó con el aumento en las proporciones de aceite de SA en la mezcla. El contenido de gamma-orizanol de la masa freída permaneció estable durante 10 días de almacenamiento. Estos resultados fueron consistentes con estudios previos mostrando que el gamma-orizanol tiene efectos notables en la estabilización durante el freído (Kochhar, 2000) y que el ferulato sitostanil fue más estable al calor que el α -tocoferol a alta temperatura (Nystrom *et al.*, 2007). El gamma-orizanol es reconocido en el aceite de SA por su efecto antioxidante (Juliano *et al.*, 2005) y en su papel en la disminución de la peroxidación lipídica en masa freídas durante su almacenamiento. La gran cantidad de gamma-orizanol en las masas freídas mostró que este antioxidante puede retardar la degradación de tocoferol. Además, la combinación de factores tales como los altos niveles de gamma-orizanol, su estabilidad y la menor velocidad de degradación del tocoferol en la masa freída en la mezcla de aceite de soya y aceite de SA conducen a considerar un posible efecto antioxidante sinérgico entre diferentes agentes.

Freído

El contenido de γ -orizanol del aceite de SA ha demostrado no cambiar después de someterlo a freído por encima de una temperatura de 180 °C y un tiempo estimado de 1 h (Krishna *et al.*, 2005).

Empanadas de carne

Kim y colaboradores (2003) encontraron en un estudio sobre la estabilidad oxidativa de empanadas de carne, que aquellas que contenían γ -orizanol presentaron una estabilidad oxidativa mucho más alta durante su almacenamiento en comparación con otras empanadas que contenían otros antioxidantes. La carne cocida que contenía γ -orizanol presentó los valores más bajos en sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico (TBARS –un medidor de peroxidación lipídica y por tanto de estabilidad oxidativa–), de igual manera obtuvieron bajos resultados al ser evaluadas sobre calificaciones de sabor, colesterol C₇-oxidado, hidroperóxido y niveles de hexano.

Carne de vacuno

Se ha comprobado que la carne de vacuno usada para asar que contiene fibra de arroz y/o aceite de arroz tiene una estabilidad oxidativa más alta durante el almacenamiento que aquella sin aditivos (Kim *et al.*, 2000).

Emulsiones de carne tipo *premium*

Para este tipo de emulsiones una adición del 1-2 % de SA puede ser suficiente. El ingrediente funcional se desempeña mejor cuando se adiciona en seco y en forma directa dentro del mezclador. Del tamaño granular del SA depende el rápido incremento de la absorción de agua. Diferente de la proteína de soya la cual, al incrementar su contenido, tiene la tendencia a incrementar el pH y debilitar el color de la carne, el SA aislado no tiene efecto sobre estas variables. Por el contrario, debido a sus fuertes propiedades antioxidantes, el SA mejora el tiempo de almacenamiento y color de las carnes curadas (NutraCea, 2008).

Generalmente, a mayor adición de proteína de soya se reduce el color típico de los productos curados. Aunque, el SA en alguna manera debilita el color después de 45 días de almacenamiento, este fenómeno es menos intenso que las carnes en las cuales se formula proteína de soya (NutraCea, 2008).

Leche entera en polvo

En un estudio realizado por Nanua y colaboradores (2000) se redujo la oxidación de la leche entera en polvo durante su almacenamiento añadiendo 0,1% de aceite de SA. Cuando se comparó sensorialmente con el control, los consumidores no pudieron detectar ningún efecto en el sabor de la leche reconstituida con un contenido del 0,1% de este aceite.

Pardeamiento en dulces, caramelos y tortas

Un subproducto importante de la refinación del aceite de SA es el ácido ferúlico, un compuesto polifenólico con propiedades antioxidantes y antibacteriales. El ácido ferúlico tiene gran potencial antioxidante, preservando alimentos del daño que ocasiona la peroxidación de los lípidos. Su efectividad antioxidante es atribuida a la presencia de bases hidroxilo-fenólicas. En la actualidad es usado para prevenir el pardeamiento en dulces, caramelos y tortas (Jariwalla, 2001).

Fibra dietaria y propiedades sensoriales

El SA puede ser considerado como una fuente potencial de fibra dietaria principalmente de fibra dietaria insoluble (Choi *et al.*, 2008b; Kim *et al.*, 2000; Saunders, 1990; Pacheco de Delahaye *et al.*, 2005). Las fuentes de fibra dietaria no solamente son deseables por sus propiedades nutricionales sino también por sus propiedades funcionales (Thebaudin *et al.*, 1997). El alto contenido de fibra dietaria en las mezclas de harinas produce un efecto positivo sobre la salud, es útil para incrementar el volumen fecal con el fin de contribuir a la formación de heces voluminosas, decreciendo el tránsito intestinal y la presión en el colon (Penna *et al.*, 2002). La disminución en el consumo de fibra dietaria rápidamente incrementa la aparición de enfermedades degenerativas (NutraCea, 2008).

En adición a los beneficios psicológicos proporcionados por los alimentos con gran contenido en fibra, algunos estudios han demostrado que tal contenido puede proporcionar para ciertos alimentos textura, propiedades gelificantes, espesantes, emulsificantes y estabilizantes (Dreher, 1987; Sharma, 1981). Un número de investigaciones en los laboratorios cárnicos de la Universidad del Estado de Iowa, las Filipinas y evaluaciones a nivel piloto e industrial, confirmaron la habilidad del SA para inmovilizar y unir agua en grandes cantidades en un período de tiempo largo con respecto a los aislados de proteína de soya. De igual manera, Choi *et al.* (2007a) y Choi *et al.* (2008b) reportaron que la fibra de SA provee alta capacidad de retención de agua y mejora la estabilidad de la emulsión (Choi *et al.*, 2008b).

Al realizar un estudio sobre el efecto de la variedad de arroz y la etapa de pulido en la calidad nutricional del salvado, López & Rodríguez (2009) encontraron que el SA colombiano tiene un contenido de fibra dietaria que comprende entre el 17,5 y el 30,8%. Otras investigaciones presentan intervalos entre 30% y 40% de fibra dietaria muy próximos a los resultados del trabajo (Carroll, 1990).

En los productos donde ha sido adicionado SA, las evaluaciones sensoriales, en general, resultan en un cambio mínimo, agradable para el consumidor; aunque es de aclarar que es importante el tamaño de partícula en este caso. Esto indica que utilizar este material como aditivo alimentario resulta viable ya que no afecta de forma negativa las características organolépticas de los alimentos donde se es incluido. Además,

el SA es un producto no alergénico ideal para el uso en alimentos que contengan carne procesada. Su capacidad texturizadora es considerable y los procesadores de carne, los cuales han ido reemplazando la proteína de soya en sus fórmulas por razones tales como eliminar las etiquetas de advertencia de alergicidad, han descubierto las alternativas del derivado de arroz para hacer un reemplazo favorable (NutraCea, 2008).

Emulsiones

Pastas cárnicas

Yapar *et al.* (2006) afirman que es deseable un incremento en la viscosidad para emulsiones de alto contenido de grasa debido a que una alta viscosidad incrementa la elasticidad del producto. Investigaciones adicionales han mostrado grandes correlaciones entre la viscosidad de la emulsión y la estabilidad de esta en sistemas de emulsión (Turgut *et al.*, 1981; Zorba *et al.*, 1993). Además, es de resaltar que este tipo de emulsiones no se fracturan fácilmente (Aktas & Genccelep, 2006).

Los resultados de dicho estudio indicaron que el reemplazamiento de por encima del 50 % de grasa de cerdo por aceite vegetal pre-emulsificado en las formulaciones de pastas cárnicas afecta significativamente las propiedades reológicas y la composición de pastas cárnicas, crudas. Se comprobó además, que la incorporación de aceite vegetal y fibra de SA en la formulación reduce exitosamente la grasa animal en el producto final.

Salchichas tipo *hot dog*

En términos de vida de anaquel también se puede notar que el SA contiene cantidades considerables de antioxidantes tales como flavonas, por no mencionar los beneficios inherentes en propiedades de congelación para salchichas *hot dogs* al evitar su molesto humedecimiento (NutraCea, 2008).

En evaluaciones sensoriales practicadas a estas salchichas, los panelistas entrenados fueron incapaces de detectar diferencias entre el control (productos sin la adición de ingredientes funcionales) y los alimentos que contenían desde 0,5 hasta 3,5% de SA (adicionado para mejorar la firmeza interior, cohesividad interior y rancidez durante un período de almacenamiento completo de hasta 90 días). Sin embargo, se debe notar que los niveles de SA por encima del 3,5% hacen que la salchicha se perciba como menos jugosa comparada con la del control (NutraCea, 2008).

Albóndigas de cerdo

Huang y colaboradores (2005) demostraron que las albóndigas *Kung-wan* al ser enriquecidas con partículas pequeñas de SA presentaron un alto perfil textural en los índices de análisis y sus puntuaciones sensoriales fueron mucho más altas que aque-

llas donde fueron añadidas partículas más grandes, indicando así, que el tamaño de partícula del salvado afecta profundamente las propiedades sensoriales y fisicoquímicas en los productos cárnicos. Propiedades tales como dureza y masticabilidad se incrementaron a medida que la cantidad de salvado también se incrementó, pero la adhesividad, elasticidad y cohesión no mostraron un incremento significativo. En cuanto a la evaluación sensorial, las albóndigas enriquecidas con el 10% de salvado no mostraron una diferencia significativa en comparación con el producto sin salvado en evaluaciones que consideraban factores como sabor, textura y aceptabilidad en general. Los resultados además revelaron que la adición de SA en estas albóndigas de cerdo con alto contenido graso puede incrementar el contenido de fibra y puede sustituir parcialmente la grasa animal de estos productos.

Hamburguesas de pollo

Para productos tales como hamburguesas de pollo, un nivel de inclusión del 1 al 3% de arroz estabilizado resulta en el decrecimiento de pérdidas de peso durante la cocción, mientras que incrementa su jugosidad y su textura. No presenta efectos adversos en los atributos sensoriales tales como color, sabor y mordida. Sin embargo, es importante reportar que en el incremento en los niveles de arroz estabilizado hay una tendencia de desarrollar un ligero color blanco en todas las formulaciones en las pechugas (NutraCea, 2008).

Masa para pizza

Burton (2000) reportó que debido a la buena calidad de las proteínas presentes en el SA ya que son ricas en aminoácidos esenciales, especialmente lisina, este producto puede ser usado como ingrediente en recetas de cocina (Wang *et al.*, 1999). En el caso específico de la masa para pizza, su producción se ha incrementado en los últimos años debido al aumento en su preferencia y aceptabilidad por parte de los consumidores. Por tanto, la producción de masa para pizza congelada es importante en el mercado (Pacheco de Delahaye *et al.*, 2005).

Estudios han demostrado que la adición de harina estabilizada de SA en harina de trigo para pizza disminuye propiedades tales como la viscosidad durante la cocción y en el momento de la mezcla. Al incrementarse el contenido de SA estabilizado, se incrementa igualmente la grasa cruda, cenizas y contenido de fibra dietaria en la masa para pizza. Esto significa que a medida que el SA estabilizado se incrementa, la calidad nutricional de la masa de la pizza mejora (Pacheco de Delahaye *et al.*, 2005).

Adicionalmente, se observa que el contenido de humedad aumenta también de acuerdo al enriquecimiento con harina con SA, de igual manera, a medida que se enriquece el salvado en la formulación, se incrementa también el contenido de fibra dietaria. Carroll (1990) reportó que la fibra dietaria tiene una alta capacidad de retención de agua.

Finalmente se encontró una relación positiva entre el porcentaje de adición de harina de SA estabilizada y el contenido de grasa cruda.

Pan

Los resultados de los estudios realizados por Hu y colaboradores (2009) mostraron que la hemicelulosa B y la fibra dietaria insoluble provenientes de SA presentan actividad vinculante de agua y capacidad de hinchazón. Adicionalmente, se encontró que la fibra dietaria reduce el volumen del pan e incrementa su firmeza. La evaluación sensorial demostró que los panes incorporados con hemicelulosa B (1-3%) y fibra dietaria insoluble (1-4%) fueron aceptables para los panelistas. En dicha evaluación sensorial, el pan con 10% de fibra de SA añadida se destacó por tener un sabor parecido a la nuez, lo cual es típico de los salvados. Los panelistas también comentaron que los panes se podían comparar con aquellos con alto contenido en fibra actualmente disponibles en los supermercados.

Por otro lado, Skurray *et al.* (1986) encontraron que el SA era la mejor opción para la incorporación de fibra en el pan en comparación con la fibra de trigo. Sin embargo, declararon que el cambio en el color del pan debido a la presencia del salvado es más intenso en la miga que en la corteza. A pesar del ligero oscurecimiento, la adición de salvado resultó en el incremento del amarillamiento y rojicidad en el pan. Es importante mencionar que el color del pan elaborado con salvado no se encontró indeseable y fue similar a los comúnmente elaborados con trigo entero. Se determinó entonces que este salvado es un material natural y poco costoso, rico en fibra y que puede ser exitosamente usado en la producción de un pan nutricionalmente mejorado y aceptable para el consumidor (Skurray *et al.*, 1986).

En el caso de los *muffins* preparados con este salvado, todos fueron aceptados por el panel sensorial cuando los niveles de inclusión fueron hasta del 20% (Sloan & James, 1988).

Cobos *et al.* (2009) en su estudio sobre la utilización de SA para panificación realizado dentro del proyecto "Estabilización y usos potenciales del SA colombiano para su aprovechamiento industrial sin afectar su calidad nutricional y funcional" afirman que para la industria panadera, el SA se convierte en una variable importante para mejorar el producto en sus características nutricionales y organolépticas puesto que esta materia prima contiene ácidos grasos como los omega 9, omega 6 y omega 3 que le confiere excelente sabor y propiedades nutraceuticas al producto terminado (Kennedy & Burlingame, 2003). Expresan también que el consumo aparente de trigo en Colombia durante la última década ha presentado un crecimiento del 2,6% pasando de 958.859 toneladas en 1994 a 1'319.383 toneladas en 2005. Este crecimiento se debe principalmente al aumento en el volumen de las importaciones de trigo subsidiado del 3,2%, pasando de 851.206 toneladas en 1994 a 1'261.872 toneladas en 2005, ahora bien, a este comportamiento antes mencionado se le suma la sustituibilidad que ha venido

presentándose del maíz, sorgo y harinas de arroz por los subproductos del trigo (salvados y mogollas) para la elaboración de productos balanceados.

En cuanto a este tema a nivel nacional, es importante reconocer que actualmente el llamado pan de arroz en Colombia es elaborado a partir de harina de arroz partido y no de SA. Según cifras reportadas por la DIAN, en el lapso de 1993-2005, Colombia presentó un consumo per. cápita de 24 kilos de pan al año (Observatorio Agrocadenas, 2006).

Cobos *et al.* (2009) encontraron que el contenido de proteína de las harinas elaboradas con mezcla de trigo y SA muestra una diferencia estadísticamente significativa. Teniendo en cuenta que el SA es una materia prima rica en albúminas y globulinas (Pacheco-Delahaye, 2007) y la harina de trigo está compuesta de proteínas como la gliadina y glutenina (Calaveras, 2004), se evidencia claramente un aumento de esta propiedad nutricional en la medida que aumenta el nivel de mezcla dándole el SA un aporte importante de proteína y un valor nutricional de gran importancia a los panes elaborados con niveles de 5, 10 y 15% de SA.

La diferencia para el contenido de fibra dietaria entre los diferentes niveles de mezclas presentó también una diferencia estadísticamente significativa teniendo en cuenta que el SA utilizado como materia prima contenía un 22% de fibra dietaria, lo que hizo que en la medida que se aumentara la cantidad de SA en cada una de las mezclas, el contenido de fibra aumentara puesto que esta se conserva a pesar del proceso térmico que tuvo el SA para su estabilización. Este es un factor importante ya que como anteriormente fue señalado, la fibra dietaria mejora el valor nutricional de las harinas y directamente del producto terminado, además de esto, se logra la obtención de un producto funcional, teniendo en cuenta que la fibra dietaria tiene como característica mejorar la ingesta intestinal, dándole una gran importancia nutricional a cada harina en la medida que aumenta el nivel de SA.

Teniendo en cuenta los resultados en este estudio, los niveles de mezcla de hasta el 10% de contenido de SA con harina de trigo resultarían en una harina que por el tiempo de amasado reportado puede alcanzar a desarrollar el gluten y ser una harina panificable. Además, se encontró que el SA utilizado tenía un contenido de grasa aproximado del 25% en comparación con la harina de trigo que es de 6,35%, variable que indica una mejora en las características organolépticas del pan ya que dicho contenido hace que el producto terminado sea más suave, mejore el sabor y el aroma (Calaveras, 2004).

Pasta

En estudios realizados por Avendaño *et al.* (2009) se demostró que es posible elaborar pastas con un nivel de sustitución de la sémola de trigo del 10%, sin embargo, aún con este nivel de mezcla se afectan de manera significativa todos los parámetros evaluados en este estudio. Se observó que el valor nutricional de las pastas alimenticias elaboradas con mezclas de sémola y SA aumenta, ya que a partir de las mezclas elaboradas

se obtuvo un producto con mayor contenido de proteínas, cenizas y fibra dietaria, que se incrementa de manera proporcional con el nivel de sustitución. Observaron también que las pastas obtenidas a partir de las diferentes proporciones de sustitución tienen una fuerza de fractura menor, disminuyendo al aumentar los niveles de mezcla. Bajo las condiciones del ensayo una muestra comercial resultó ser un 40% más dura.

Sinergia con aislado de soya

El aislado de soya y el SA pueden ser considerados sinérgicamente cuando son aplicados apropiadamente. La proteína de soya puede proveer un mecanismo para reducir la tensión superficial en la grasa mientras que el SA absorbe e inmoviliza agua libre y extra celular junto con el agua añadida en la fórmula (NutraCea, 2008).

Fuente de fibra alterna a la comercial

El SA contiene más del 20% de fibra dietaria que otros alimentos comerciales. En un estudio realizado se comprobó que la fibra dietaria extraída del SA es comparable con FIBREX (fuente de fibra comercial) en capacidad vinculante de agua la cual corresponde a un 4,89 ml/g. La fibra del SA exhibió mayor capacidad para vincular grasa (4,54 ml/g) y mayor capacidad emulsificante (14,4%) pero proporciona menor viscosidad (Abdul-Hamid & Luan, 1999).

Fuente de proteína

Las proteínas extraídas de la estabilización térmica del SA podrían ser usadas como ingredientes nutracéuticos para alimentos (Tang *et al.*, 2003). Tienen mejor capacidad ligante de agua y aceite en comparación con la caseína.

Por otra parte, Higashi-Okai *et al.* (2004) encontraron que la actividad antioxidante y antigenotóxica del SA se encuentra asociada con sus respectivos componentes proteicos obtenidos a partir de extractos solubles en agua.

En ensayos realizados dentro del proyecto de investigación “Desarrollo de procesos para la valorización de subproductos de la industria arrocera” se encontró que el porcentaje de proteína cuantificado para Cimarrón Barinas, Fedearroz 50 y Fedearroz 60, tres variedades de arroz obtenidas en el departamento del Tolima en Colombia comprendían un rango desde el 13,1% al 18,4%. Estos resultados son comparables con los reportados en estudios realizados en Venezuela de otras variedades cultivadas en dicho país, que arrojan un promedio de contenido de proteína de entre el 11,3% y el 13% en base seca (Pacheco *et al.*, 2001). Por otra parte, en Malasia el contenido de proteína oscila entre 8,5% y 12,6%, expresado en peso húmedo (Abdul-Hamid *et al.*, 2007), lo que muestra que las variedades evaluadas son superiores en el contenido de proteína (López & Rodríguez, 2009).

Alimentos infantiles

La proteína de SA es hipoalergénica y contiene una buena cantidad de lisina, esto podría representar una muy buena oportunidad para ser utilizada como un ingrediente apto para las formulaciones de alimentos infantiles en lugar de añadir una variedad de ingredientes a la restringida dieta de esta población (Burks & Helm, 1994). El perfil de aminoácidos de la proteína de arroz es mejor que la caseína y la proteína de soya aislada en cuanto al cumplimiento de los requerimientos de aminoácidos para niños de edades entre los 2 y 5 años (Wang *et al.*, 1999).

Emulsiones estables bajo altas concentraciones de azúcares

Aunque el concentrado de proteínas del SA impiden la obtención de un pan con mayor volumen, tiene un muy buen potencial para la producción de emulsiones estables bajo altas concentraciones de azúcares y sales. Por lo tanto, este salvado puede ser usado efectivamente para elaborar concentraciones de proteína y aplicarlo en formulaciones alimenticias que incluyan mezclas secas, horneados, aderezos para ensaladas, etc., debido a su alta capacidad para ligar agua y aceite así como también aire (Chandi & Sogi, 2007).

Productos cárnicos

Muchos procesadores de carne están buscando formas para reemplazar las fuentes costosas de proteínas vegetales y sustituirlas con soluciones de menor costo pero con igual desempeño (NutraCea, 2008).

Existe evidencia médica muy fuerte que prueba que las alergias producidas por los alimentos, incluyendo las provocadas por la soya, se están incrementado en las poblaciones occidentales.

Preocupaciones acerca de estas alergias hacen difícil para considerar a la soya como la proteína líder en aplicaciones de alimentos. De modo que no es secreto que los procesadores de carne se enfrenten con una difícil decisión donde tienen que escoger ingredientes que ofrezcan un buen desempeño y no representen un riesgo para la salud de los consumidores (NutraCea, 2008).

Para el desarrollo de un nuevo producto es necesario que los ingredientes funcionales no provoquen alergias y se pueden reemplazar todos o algunos de los tradicionales manteniendo el contenido de proteínas en sistemas de emulsiones bastantes complejas. Un nuevo aspirante en las aplicaciones en carnes procesadas es el SA el cual aparte de ser funcional es también nutritivo. Este ingrediente está mostrando gran potencial en alimentos y productos cárnicos procesados. De hecho, es muy probable que el SA aislado empiece prontamente a aspirar al liderazgo que tiene la proteína de soya en emulsiones de carne así como también en carne molida (NutraCea, 2008).

Mejorador de productos

El SA ha sido usado para estabilizar una variedad de productos alimenticios, y también es un candidato atractivo para desarrollar alimentos funcionales (Bergman & Xu, 2003).

Se ha reportado un número de usos potenciales del SA con y sin grasa en alimentos para la preparación de panes, *muffins*, *pancakes* y tortas (Barber & Barber, 1980; James & Stoen 1984; Bera & Mukherjee, 1989; Carroll, 1990; Chavan & Kadam, 1993).

Además de utilizar el SA como tal, también se puede usar para obtener fracciones útiles tales como concentrados fitoquímicos (Devi & Arumughan, 2007), fracción de polisacáridos (Yamagishi *et al.*, 2003), concentrado de proteína (Prakash 1996; Wang *et al.*, 1999), fracciones de fibra enriquecidas (Babcock, 1986) y orizanol (Ambale *et al.*, 2007). De tal manera, la incorporación de concentrados de proteína de SA con y sin grasa en panes, galletas y alimentos para recién nacidos (Saunders, 1990; Prakash & Ramanathan 1995) ha sido objeto de investigación.

Margarinas y aceites

Por contener aceites fácilmente extraíbles y con gran contenido de antioxidantes, este producto se puede utilizar para elaborar margarinas y aceites con bajo contenido de ácidos grasos trans, excelente sabor y propiedades nutraceuticas (Jariwalla, 2001).

Arepas

Los usos potenciales del SA los podemos visualizar inicialmente como aditivo o sustituto de otros productos alimenticios que mejoren las propiedades nutricionales y funcionales y la vida útil del mismo; en estudios realizados en la adición de SA como sustituto del maíz durante la elaboración de arepas, se evaluó el efecto del salvado estabilizado sobre algunos parámetros físicos, químicos y atributos sensoriales al sustituir 5, 10 y 15% la harina de maíz. Los resultados mostraron que mejoraron tanto el sabor, la calidad nutricional y el tiempo de vida útil a treinta días (Pacheco-Delahaye, 2006).

Obtención de productos

Producción de vainillina

La vainillina (4-hidroxi-3-metoxibenzaldehído) es uno de los sabores más usados a nivel universal en los alimentos, fragancias, bebidas y farmacéuticos (Priefert *et al.*, 2001). Actualmente el consumo mundial de vainillina está estimado en 12.000 t por año (Zheng *et al.*, 2006).

Sin embargo, bajo la legislación corriente tanto de Estados Unidos como de la Unión Europea, los químicos sintetizadores de sabor no pueden ser usados para sabores

naturales (Muheim & Lerh, 1999). Por lo tanto, la creciente demanda por parte de los consumidores dirigida hacia productos naturales ha creado interés en la búsqueda de procesos biotecnológicos para producir "vainillina natural" (Lesage-Meessen *et al.*, 1999).

El ácido ferúlico es un ácido comúnmente obtenido a partir de gran variedad de residuos de la agricultura tales como salvados de cereales, pulpas de remolacha y por tanto estos materiales son adecuados para la transformación de vainillina llevada a cabo por hongos. Los procesos biotecnológicos para producir vainillina a partir de subproductos del agro han sido investigados. 105 mg l⁻¹ y 767 mg l⁻¹ de vainillina fueron obtenidos en una bioconversión de dos pasos combinando *A. niger* I-1472 y *P. cinnabarinus* MUCL39533 usando pulpa de remolacha y salvado de maíz como materias primas respectivamente (Lesage-Meeseesen *et al.*, 1999; 2002).

Zheng y colaboradores (2006) llevaron a cabo una investigación donde se puso a prueba otro subproducto de la agricultura, el considerado residuo: aceite de SA. Cerca de 1/3 de ácido ferúlico y 2/3 de sitoesteroles fueron obtenidos a partir de este residuo después de hidrólisis. La ventajas de esta fuente radica en el alto contenido de ácido ferúlico en el aceite de SA y que se puede extraer fácilmente. Esto es útil para obtener alto rendimiento de vainillina y acortar todo el tiempo de la bioconversión.

El aceite de SA tiene mayor estabilidad oxidativa porque no solamente contiene ácidos grasos y tocoferoles sino también gamma-orizanol. Por lo tanto, la presencia de gamma-orizanol inhibe posiblemente la peroxidación de lípidos en varios tipos de aceites (Nystrom *et al.*, 2005; Xu *et al.*, 2001).

Los resultados demuestran que el γ -orizanol es recolector de radicales orgánicos capaces de prevenir la lipoperoxidación. Más aún, el γ -orizanol muestra un incremento en su actividad dependiendo del tiempo; en particular, mejora la estabilidad oxidativa de aceites con altos contenidos en ácidos grasos poli insaturados (PUFA) los cuales son propensos a la peroxidación (Lerma-Garcia *et al.*, 2009).

Otras propiedades funcionales fueron reportadas por Hamid-Abdul & Luan (2000) sugiriendo que la fibra dietaria del SA desgrasado contenía mayor capacidad vinculante de agua, mayor capacidad para vincular grasa y mejores propiedades emulsificantes comparadas con la fibra comercial de la remolacha.

El contenido relativamente alto de glutamina y asparragina en la proteína de SA puede actuar como una fuente importante de sabor mejorando ingredientes después de posteriores desamidaciones (Hamada, 1997).

Otro potencial es extraer por diferentes métodos los compuestos de alto valor agregado como son sus componentes nutricionales y funcionales, para ser vendidos como productos funciones de muy alto valor (Parrado, 2006).

EL SALVADO DE ARROZ EN LA INDUSTRIA COSMETOLÓGICA

Los antioxidantes son bien conocidos como ingredientes primarios en cosméticos por capturar radicales libres producidos por la luz ultravioleta y compuestos propios de la polución que se relacionan directamente con el proceso de envejecimiento de la piel (Lupo, 2001).

Tratamiento de desórdenes en la piel, reducción de arrugas y absorción a la radiación UV

El aceite de SA, naturalmente rico en gamma-orizanol y en tocoferoles, puede ser sugerido como un novedoso y efectivo compuesto para aplicación tópica. Los extractos de este aceite son usados en cosméticos, en el tratamiento de desórdenes en la piel (es decir, relacionados con la melanina) y para minimizar arrugas (Indira *et al.*, 2004). Principalmente debido a su actividad antioxidante, pero también por su absorción a la radiación UV, el γ -orizanol es usado como protector solar en formulaciones cosméticas (Juliano *et al.*, 2005; Coppini *et al.*, 2001).

Otra sustancia abundante en el aceite del SA es el tocotrienol, una forma natural de la vitamina E. Los tocotrienoles son antioxidantes lipofílicos los cuales protegen la membrana celular de una degradación agresiva y la peroxidación de lípidos. Ellos también protegen la piel del daño inducido por la UV y mantienen el nivel del tocoferol (Weber *et al.*, 1997). Por otro lado, el ácido ferúlico, un compuesto que se encuentra también en este aceite, previene también la hiperpigmentación facial suprimiendo la melanogénesis inducida por la luz ultravioleta (Ichihashi *et al.*, 1999).

EL SALVADO DE ARROZ EN LA INDUSTRIA FARMACÉUTICA

El SA ha mostrado beneficios prometedores en la prevención de diferentes enfermedades de la salud, incluyendo cáncer, hiperlipidemia, hipercalciuria, cálculos renales y complicaciones del corazón (Jariwalla, 2001). Según la American Heart Association (1988) y la National Research Council Committee on Diet and Health (1989) una dieta rica en alimentos de origen vegetal puede implicar el retardo del desarrollo de enfermedades coronarias. En el caso específico del SA, cuyo contenido de β -glucano es extremadamente bajo, este alimento se destaca por ser igual de efectivo que la avena rica en β -glucano y cebada en bajar el colesterol sérico (Kahlon *et al.*, 1992; Kahlon *et al.*, 1990; Seetharamaiah & Chandrasekhara, 1989).

Por otro lado, también se ha encontrado que el SA es una fuente rica de proteínas (16-20 %) (Landers & Hamaker, 1994) y fitoquímicos tales como ácido fítico (5-6 %) (Garçon a-Esteva *et al.*, 1999) y mio-inositol. En los años pasados, numerosos estudios *in vitro* e *in vivo* han demostrado que el ácido fítico y sus isómeros exhiben efectos anticancerígenos, anti inflamatorios y también han mostrado efectos benéficos tales como la protección de la diabetes y los cálculos renales (Chen & Li, 2003)".

Cabe igualmente destacar que los tocoferoles y orizanoles son los principales antioxidantes presentes en el SA. La actividad antioxidante del orizanol es casi 10 veces más alta que la de los tocoferoles, mientras que los tocotrienoles tienen de 40 a 60 veces mayor poder antioxidante que la de los tocoferoles en diferentes sistemas biológicos (Abdel-Aal E. S. M., y *cl P*, 1999.).

Son entonces muchos los beneficios que trae el consumo de SA sobre la salud en humanos. En la industria farmacéutica es factible encontrar la gran diversidad y extensión de los efectos de sus componentes tal como se ha descubierto en un gran número de estudios realizados a nivel mundial y que se presentan a continuación.

Enfermedades crónicas

Estudios previos han demostrado que compuestos del SA tales como estigmasterol, campesterol y β -sitosterol tienen beneficios sustanciales sobre la salud ya que poseen propiedades hipocolesterolémicas e hipolipidémicas (orizanol, esteroides, tocoles), anticancerígenas (tocotrienoles y carotenos), antiinflamatorias (tocotrienoles) y antioxidantes (tocotrienoles y carotenos) (Arumughan *et al.*, 2004; Mayamol *et al.*, 2004).

El SA es un complejo único de orizanoles y tocoles, el cual puede ser una buena fuente de compuestos para la inhibición de la peroxidación de los lípidos. Recordemos que los productos resultantes de la peroxidación lipídica causada por los radicales libres pueden reaccionar más adelante con biomoléculas dañando la estructura de la membrana celular, decreciendo la actividad enzimática, causando toxicidad en células de mamíferos así como también la modificación del ADN lo cual acelera el riesgo de padecer cáncer (Hernández-Ledesma *et al.*, 2005). Se cree que los tocotrienoles en el SA contrarrestan los estragos de enfermedades crónicas tales como enfermedades del corazón, cáncer y efectos degenerativos de la vejez. Los tocotrienoles al incorporarse en los lípidos de las membranas inhiben efectivamente la cadena de peroxidación de lípidos (Burton & Ingold, 1981).

Cáncer

La quimioterapia es considerada como la piedra angular para el tratamiento para muchos tipos de cáncer. Sin embargo, muchos agentes quimiopreventivos exhiben una gran dosis de toxicidad causando deficiencia cardíaca (Singal & Iliskovic, 1999), mielosupresión (Lorigan *et al.*, 1995), neutropenia, alopecia, mucositis, diarrea, mialgias (Francis *et al.*, 1995; Fossella *et al.*, 1995), trombocitopenia (Strauss *et al.*, 1995), neurotoxicidad, supresión inmunológica, así como también efectos mutagénicos y carcinogénicos (Marty *et al.*, 1985; Mills *et al.*, 1980; Sanderson *et al.*, 1996; Santin *et al.*, 2000). Adicionalmente, la mayoría de pacientes con cáncer tratados con quimioterapia recaen y mueren debido a la enfermedad. Es por tanto de particular interés explorar acercamientos terapéuticos que reduzcan la toxicidad mediada por la qui-

mioterapia. El uso de agentes quimioterapéuticos en conjunto con agentes seguros y naturales que actúen para incorporarlos en menos tóxicos, pero igual de efectivos, pueden entonces proporcionar la respuesta a esta necesidad tan urgente.

Debido a que las especies reactivas al oxígeno (ROS) son generadas por algunos promotores de tumores durante el desarrollo del cáncer (Frenkel, 1992; Jakobisiak *et al.*, 2003) y los compuestos fenólicos pueden reducir los niveles de ROS capturando y disipando los electrones libres (Friedman, 1997), es importante encontrar si los componentes de una dieta pueden inhibir la promoción de estos tumores (Afaq *et al.*, 2004; Hou *et al.*, 2004). La carcinogénesis es un proceso secuencial celular multiestado que consiste en la iniciación del tumor, su promoción y progreso. Debido a que el único proceso que puede tener reversa es la promoción del tumor (Jakobisiak *et al.*, 2003), su supresión se considera un medio efectivo para bloquear la carcinogénesis (Afaq *et al.*, 2004).

De modo que la prometedor actividad anticancerígena del arroz y sus derivados ha sido centro de muchas investigaciones.

Antocianina, antocianidina y compuestos fenólicos

Las actividades antitumorales de los extractos de pigmentos del SA se debe a sus potentes propiedades antioxidantes (Seeram *et al.*, 2003). Se ha reportado que diferentes tipos de salvados de arroz contienen diferentes cantidades y tipos de antocianina, antocianidina y otros compuestos fenólicos que tienen la habilidad de inhibir el daño celular causado por radicales libres (Nam *et al.*, 2005).

Varios compuestos fenólicos incluyendo ácido cafeico, cicloartenil ferulato, ácido ferúlico, ácido metoxicinámico, ácido *p*-cumárico, ácido protocatético, ácido sinápico, tricina y ácido vainillínico han sido identificados en el extracto etil acetato del SA. Algunos de ellos han demostrado inhibir el crecimiento de células en el cáncer de mama y colon (Hudson *et al.*, 2000). El aceite de SA es entonces una fuente rica de polifenoles con propiedades antioxidantes y quimiopreventivas del cáncer.

Cicloartenil ferulato

El cicloartenil ferulato (CF) es uno de los alcoholes triterpenos típicos y únicos presentes en el aceite de SA. Entre los compuestos fenólicos, el CF forma parte de uno de los mecanismos responsables en la inhibición del crecimiento de células SW480. Este compuesto no solo induce a la inhibición del crecimiento de dichas células, las cuales se encuentran en los estados tempranos de la carcinogénesis colorectal, sino que también las sensibiliza a la metástasis y su resistencia al tratamiento TRAIL (Carrie *et al.*, 2009).

En un estudio, el CF inhibió la promoción del tumor en los dos estados del modelo de carcinogénesis en la piel de ratón indicando un rol anticancerígeno en la quimio-

prevención del cáncer (Yasukawa *et al.*, 1998). Recientemente ha demostrado poseer potencial antiinflamatorio y actividad antioxidante (Carrie *et al.*, 2009).

Mio-inositol

Diversos estudios demuestran que el mio-inositol es un agente quimiopreventivo con baja toxicidad y con habilidad para inhibir el desarrollo de cáncer en varios sistemas de órganos incluyendo glándulas mamarias, colon y pulmón. La combinación de este compuesto con la glucocorticoide dexametasona, produce un efecto inhibitorio adicional (Wattenberg & Estensen, 1996). La glucocorticoide dexametasona ejerce una acción contra el cáncer de colon atribuida al IP6 (Shamsuddin & Ullah, 1989) indicando otro aspecto respecto a los efectos anticancerígenos ya estudiados.

IP6

En la mitad de los años ochenta se descubrió que el consumo de cereales y granos, los cuales son ricos en fitatos (IP6) pero pobres en fibra, presentaron un mejor desempeño en la disminución del cáncer de colon comparado con las frutas y vegetales, los cuales son alimentos pobres en fitatos (Graf & Eaton, 1985). Se observaron también efectos protectores en contra de cáncer de seno, colon, páncreas, hígado, piel y tejido conectivo. El IP6 no solamente previene la formación de tumores sino que también interfiere con su crecimiento o preformación sugiriendo una actividad importante en la prevención de cáncer y tratamiento.

Tocotrienoles

La acción más notable antitumoral de los tocotrienoles es en contra del cáncer de mama, donde se inhibe la proliferación de las células y su acción resulta más efectiva que el α -tocoferol y coopera con el tamoxifen en la producción de un efecto sinérgico (Guthrie *et al.*, 1997). También se reportó que el tocotrienol suprime el crecimiento de líneas de células derivadas de tumores sólidos. Este compuesto también tiene un efecto en la modificación de los efectos de la arterioesclerosis, reduciendo el riesgo de promover los factores que conducen al endurecimiento de las arterias (Jariwalla, 2001).

Fibra dietaria

La fibra dietaria está principalmente compuesta por células de pared celular que contienen varios carbohidratos. Recientemente, la fibra dietaria ha mostrado jugar un papel importante en la fermentación gastrointestinal y como agente desmutagénico y antimutagénico (Tanaka *et al.*, 1998) tiene una variedad de funciones como inactivador químico, inductor enzimático y antioxidante. En estudios previos la fibra dietaria fue considerada como un inhibidor de cáncer colorectal (Harris & Ferguson, 1993; Reddy

et al., 1983; Wilpart & Roberfroid, 1987) y de mama (La Vecchia *et al.*, 1997) de hormonas ligadas a esteroides (Sltz & Howie, 1986) ácido biliar (Story & Kritchevsky, 1976; Vahouny *et al.*, 1980), hierro (Reinhold *et al.*, 1981) y pesticidas (Ta *et al.*, 1999), así como también se presume que tiene un efecto quimiopreventivo en la formación de aminas heterocíclicas (Dingley *et al.*, 2003; Vikse *et al.*, 1992). Por tales razones se ha considerado a la fibra dietaria como un protector en contra del cáncer, especialmente cáncer colorectal (Harris & Ferguson, 1993; Reddy *et al.*, 1983; La Vecchia *et al.*, 1997).

La fibra de SA está compuesta en gran parte de polisacáridos no celulósicos (24%), celulosa (10,3%) y lignina (10,7%). Los contenidos de lignina encontrados en la fibra de SA son mucho más altos que aquellos que conforman otras fibras dietarias (Morita *et al.*, 1995). En varias fibras dietarias, la lignina ha sido reconocida por ejercer un efecto significativo en la excreción de pesticidas tales como la *chlorpropham* y en cáncer uterino y de mama inducido por el N-metil-N-nitrosourea (Birt *et al.*, 1998). Se predice que estos compuestos pueden formar enlaces covalentes con la fibra de SA o modifican el potencial de unión de hidrógeno con la lignina.

Gran evidencia científica favorece la idea de que el incremento en el consumo de fibra dietaria puede tener efectos benéficos contra enfermedades crónicas, tales como enfermedades cardiovasculares, diverticulosis, diabetes y cáncer de colon (Cara *et al.*, 1992; Chen & Anderson, 1986; Cummings, 1985; Dukehart *et al.*, 1989; Spiller *et al.*, 1980; Wrick *et al.*, 1983). El ácido fítico, el cual se encuentra entre los componentes de la fibra dietaria, ha sido reconocido por jugar un papel importante y contribuir en la inhibición del cáncer de colon (Shamsuddin & Yang, 1995). Este ácido, el cual está presente en un 9,5 al 14,5% en peso en el SA, ha sido también considerado de gran importancia por poseer beneficios significativos sobre la salud incluyendo su potencial como antioxidante (Jariwalla, 2001).

Ácido fítico

El SA el cual es normalmente descartado como un subproducto de la producción de arroz puede incrementar su valor debido al potencial del ácido fítico como producto nutracéutico en la prevención del cáncer de colon. La acción anticancerígena del ácido fítico ha sido demostrada *in vivo* e *in vitro*, la cual se basa en la hipótesis de que su administración exógena puede ser internalizada, desfosforilado a IP₍₁₋₅₎ y por lo tanto puede inhibir el crecimiento celular (Verghese *et al.*, 2006).

El ácido fítico es un carbohidrato simple anillado con seis grupos fosfatos adheridos a cada carbón (una molécula de azúcar bioactiva). Es la mayor forma de inositol fosforilado presente en alimentos, constituyendo del 1 al 5% de peso de la mayoría de los cereales, nueces, leguminosas, legumbres y granos (Jariwalla, 2001).

Experimentos *in vivo* e *in vitro* proveen evidencia convincente que certifica los efectos anticancerígenos del ácido fítico (Shamsuddin, 2002). Shamsuddin & Vucenik (1999)

catalogaron a este ácido como el mayor componente de la dieta alta en fibra responsable de la prevención del cáncer. De acuerdo a Graf & Eaton (1990), el ácido fítico puede disminuir las especies activas del oxígeno que contribuyen al cáncer y al daño celular debido a su función antioxidante. Estudios por Shamsuddin & Yang (1995) reportaron que el ácido fítico puede reducir las especies activas del oxígeno que median la carcinogénesis y el daño de las células a través de esta función antioxidante ya que este compuesto se encuentra reportado por tener la singular habilidad para remover O_2 sin generar radicales oxi.

El ácido fítico es un agente quimiopreventivo que suprime los cambios preneoplásticos en el cáncer de colon y reduce la formación de tumores en este. Ferguson & Harris (1996) sugirieron que el ácido fítico ejerce efectos protectores al estar involucrado en varios mecanismos en los que se incluye la dilución física de contenido del intestino, acortar tiempos en el tránsito intestinal, alteración en la mutagenicidad de los contenidos intestinales, alteraciones en la citocinética de la mucosa, incremento en la fermentación produciendo butirato y efectos en la producción, absorción y excreciones de presuntos carcinógenos.

Como fue reportado por Challa *et al.* (1997), el efecto anticancerígeno del ácido fítico es maximizado cuando este es administrado a los animales en bebidas, en comparación como cuando se proporciona en alimentos. Este ácido puede formar compuestos insolubles con proteínas y otras macromoléculas en la dieta y por tanto esto lo hace menos disponible (Thompson, 1993; Harland & Oberleas, 1987). Roedores alimentados con 1-2% de fitato de sodio en agua para beber mostraron un decrecimiento significativo en la velocidad de formación de colonocitos y en el tamaño de los tumores después de la inyección con azoximetano carcinógeno (AOM) (Shamsuddin & Ullah, 1989; Shamsuddin *et al.*, 1989). Shamsuddin & Ullah (1989) observaron los mismos efectos con fitato de sodio dado a ratas F344 por 5 meses después de la inyección con AOM, lo cual indica que el ácido fítico puede influenciar la carcinogénesis en el colon en estados pre y post-iniciados.

MGN-3

El MGN-3 es un producto natural el cual es obtenido mediante la reacción de la hemicelulosa del SA con enzimas hidrolizadoras de múltiples carbohidratos obtenidas del hongo Shiitake. La principal estructura química del MGN-3 es el arabinoxilano, con una xilosa en su cadena principal y un polímero arabinoso al lado de su cadena (Ghoneum, 1998).

Existe evidencia sobre el papel del MGN-3 como un potente activador de células NK en sujetos saludables (Ghoneum, 1998; Ghoneum & Jewett, 2000) y en pacientes con cáncer (Ghoneum & Brown, 1999). Recientemente, se ha demostrado que la MGN-3 sensibiliza las células leucémicas T 78 ante la presencia de anticuerpos CD95 induciendo apoptosis de estas (Ghoneum & Gollapudi, 2003). El MGN-3 ha probado ser

un modificador biológico potente (BRM) que tiene la habilidad de estimular la función de diferentes armas del sistema inmune tales como las células NK (Ghoneum, 1998).

Diabetes

Las dos formas de diabetes más predominantes son la Tipo I (diabetes mellitus [IDDM] dependiente de la insulina) y la Tipo II (diabetes mellitus [NIDDM] no dependiente de la insulina). El Tipo I es también referida como diabetes juvenil (edades entre 10 y 20 años) y requiere siempre insulina para su control (Krall *et al.*, 1994). La Tipo II es la más frecuente y ocurre principalmente en personas mayores de 40 años (Krall *et al.*, 1994). Entre las características propias de las diabetes Tipos I y II se encuentran los efectos de la hiperglicemia, hiperglucosuria, hiperlipidemia y glicación/glicoxidación así como también las placas producidas por la arterioesclerosis entre otras (Kahn *et al.*, 2001; Monner-Weir & Smith, 1994; Berdanier, 2001; Saudek & Eder, 1979; Kilo, 1987; Bette-ridge, 1989). La inyección de insulina y el control en la dieta con el fin de disminuir la ingesta de carbohidratos refinados y el incremento en la ingesta de ciertas fibras dietarias contribuyen en la disminución de los niveles de glucosa al mejorar la sensibilidad del tejido a la insulina y al bajar su velocidad de absorción (Goldstein, 1994; Childs, 1997; Goldberg, 1994; Peterson, 1985; Reiser, 1979; Kritchevsky & Bonafield, 1995). Sin embargo, estas medidas no pueden controlar las fluctuaciones de glucosa en la sangre. El arroz estabilizado o sus subfracciones pueden satisfacer estas necesidades.

Los resultados de varios estudios han demostrado claramente que los compuestos solubles en agua del SA y sus concentrados de fibra son efectivos en la reducción de los niveles de glucosa sérica en ambos tipos de diabetes (I y II) en humanos. Un gran número de investigadores ha reportado que estos efectos biológicos pueden ser debido a los efectos sinérgicos de múltiples microcomponentes bioactivos presentes en estas subfracciones de SA (Rukmini, 2000; Sharma & Rukmini, 1987; Sugano & Tsuji, 1997; Lichtenstein *et al.*, 1994; Nicolosi *et al.*, 1991; Gerhardt & Gallo, 1998; Rindi, 1996). Todos estos microcomponentes, incluyendo antioxidantes tales como tocoferoles (vitamina E), tocotrienoles, γ -orizanol, polifenoles (ácido ferúlico, ácido α -lipoico, ácido *p*-sinápico) se presentan en diferentes concentraciones en todas las fracciones de SA y pueden mantener los niveles de glucosa al tener efecto en su absorción, utilización y excreción (Rukmini, 2000; Sharma & Rukmini, 1987; Sugano & Tsuji, 1997; Lichtenstein *et al.*, 1994; Nicolosi *et al.*, 1991; Gerhardt & Gallo, 1998; Rindi, 1996). Estos compuestos son recolectores de radicales libres y pueden mejorar las malas condiciones de salud que resultan de la glicación, glicoxidación, arterioesclerosis e hiperlipidemia (Rukmini, 2000). Además, se han reportado los efectos benéficos de la vitamina E para corregir las complicaciones de la diabetes debido a sus propiedades antioxidantes (Mock *et al.*, 1996; Ozer *et al.*, 1993; Karpen *et al.*, 1982; Karpen *et al.*, 1985).

Los compuestos del SA solubles en agua son más efectivos en la disminución de los niveles de glucosa sérica en ambos tipos de diabetes (I y II) en humanos. Los efectos

se pueden apreciar en la reducción de los niveles de hemoglobina glicosilada, glucosa en la sangre y un ligero incremento de los niveles de insulina. Otro hallazgo importante realizado por Qureshi *et al.* (2002) fue que estudiando un grupo de pacientes diabéticos que consumieron los productos solubles en agua del SA y contenido de fibra durante 60 días, aproximadamente el 25% decrecieron su dosis en la inyección de insulina y en la ingesta de drogas hipoglicémicas (30% - 60%). Por lo tanto, estos productos naturales pueden ser usados como suplementos nutricionales para el control de la diabetes mellitus tipo I y II en humanos.

Colesterol

La regulación en la dieta es insuficiente en el manejo de hipercolesterol moderado o severo y es necesario el uso de drogas antilipidémicas (Illingworth, 1988; Illingworth, 1987; Grundy & Vega, 1985; Illingworth, 1984). Las drogas antilipidémicas comúnmente usadas incluyen secuestrantes de ácidos biliares, derivados de ácido fíbrico, niacina, D-tiroxina y estatinas. Las estatinas, particularmente la lovastatina, son las más efectivas en el control de la hipercolesterolemia ya que inhiben en forma competitiva la síntesis de ácido mevalónico, una sustancia que limita la velocidad de la síntesis del colesterol en el hígado por la enzima HMG-CoA reductasa (Mevacor, 1990). La lovastatina es un potente inhibidor competitivo de la HMG-CoA reductasa, suprime la síntesis de colesterol hepático y desinhibe el número de receptores hepáticos del LDL (Mevacor, 1990).

Numerosos estudios han mostrado que incluir el aceite de SA (Lichtenstein *et al.*, 1994; Ragram *et al.*, 1989; Wilson *et al.*, 2000) y SA entero (Gerhardt & Gallo, 1998) en la alimentación son efectivos para reducir los niveles de colesterol en la sangre (Kahlon *et al.*, 1992; Kahlon *et al.*, 1990; Seetharamaiah & Chandrasekhara, 1989; Sharma & Rukmini, 1987; Nicolosi *et al.*, 1991; Qureshi *et al.*, 2001). Ensayos en humanos y animales han demostrado, de igual manera, que el aceite de SA es tan efectivo como otros aceites vegetales en la disminución de los niveles de colesterol (Lichtenstein *et al.*, 1994; Rukmini & Ragram, 1991). Por ejemplo, Suzuki & Oshima (1970a y b) observaron que después de que el aceite de SA es consumido durante 7 días, su efecto hipocolesterolémico es igual al ofrecido por otros aceites vegetales comunes tales como maíz, cártamo y girasol. Por otra parte, Hegsted & Kousik (1994) confirmaron que el SA y el aceite de SA asimilan el efecto del colesterol dietario al decrecer la actividad de la enzima clave regulatoria de la síntesis del colesterol. La disminución en la actividad de la HMG-CoA reductasa duró por cerca de 4 horas, sugiriendo la necesidad de la presencia del SA o su aceite en cada comida no como una dosis única. En otro estudio previo en humanos, donde el SA se incorporó en el desayuno, almuerzo y cena, se encontró que el colesterol decreció en un total del 7%.

La actividad hipocolesterolémica del SA ha sido atribuida a la presencia de γ -orizanoles (ésteres de ferulato de alcoholes triperpenos) y esteroides de plantas (Sheetharamaiah

& Chandrasekhara, 1988; Yoshino *et al.*, 1989; Nicolosi *et al.*, 1991; Rogers *et al.*, 1993).

Gamma-orizanol

El SA y sus principales componentes lipídicos (ácidos grasos insaturados, alcoholes triperpernos, fitoesteroles, tocotrienoles, tocoferoles, etc) han demostrado tener cierta habilidad para mejorar el patrón lipídico en el plasma de roedores, conejos, primates y humanos reduciendo el colesterol total y la concentración de triglicéridos e incrementando los niveles de lipoproteína de alta densidad (Cicero & Gaddi, 2001). Los estudios químicos indican que el SA es particularmente rico en γ -orizanol, una mezcla de ácido ferúlico con ésteres de alcohol triperpeno y esteroleos. El γ -orizanol y la vitamina E en el SA han reportado actividad antioxidante significativa la cual protege células del daño oxidativo de la lipoproteína plasmática de baja densidad, proteínas celulares y ADN (Xu *et al.*, 2001).

Un estudio concluyó que el orizanol en el SA, es capaz de reducir la absorción de colesterol y/o áreas de grasa en la aorta en hamsters (Rong *et al.*, 1997) y en ratones (Qureshi, 2001). Wilson *et al.* (2002) observaron en su estudio que el SA inhibió significativamente esta área de grasa comparado con el salvado de trigo y la fibra de arroz. Concluyeron entonces que el SA al mismo nivel dietario que el salvado de avena es igual, sino mejor, para la prevención de hipercolesterolemia inducida por la dieta y el desarrollo de arterioesclerosis aortica en hamsters.

Se ha demostrado además, que el γ -orizanol presente en el SA en cantidades mayores a 10 veces que la vitamina E, tiene efectos mucho más poderosos en la reducción de la oxidación del colesterol que esta vitamina (Xu *et al.*, 2001). Por lo tanto, la presencia de antioxidantes permite al aceite de SA proteger el tejido del hígado del daño de la peroxidación.

Tocoferoles y tocotrienoles

Se ha sugerido que las fracciones de tocoferoles son un agente efectivo para la disminución del colesterol ya que inhiben la HMG-CoA reductasa (Therriault *et al.*, 1999; Parker *et al.*, 1993).

A partir de una mezcla de tocoferoles y tocotrienoles provenientes del SA fue creado el TRF₂₅ la cual es una sustancia reconocida como GRAS en Estados Unidos y no tiene efectos secundarios en la reducción de los niveles de colesterol en la sangre (FDA, 1978), mientras que el lovastatín tiene efectos tales como dolor de cabeza, náusea, fatiga, insomnio, erupciones en la piel, calambres estomacales y dolor en el estómago (Mevacor, 1990). El TRF₂₅ no solo contiene tocotrienoles conocidos (α -, β -, γ -, y δ -) también contiene otros dos tocotrienoles más potentes, el desmetil (*d*-P₂₁-T3) y el didesmetil (*d*-P₂₅-T3) (Qureshi *et al.*, 1999; Qureshi *et al.*, 1993; Qureshi *et al.*, 2000).

Qureshi *et al.* (2001) realizaron un estudio que demuestra que el TRF₂₅ aún en dosis bajas (50 mg/día) no es solo un producto natural que ayuda a disminuir los niveles de colesterol sino que también es un agente útil para terapias combinadas con otras drogas que reducen el colesterol (lovastatin o lipotor) debido a su capacidad de eliminar los efectos secundarios de estas drogas en humanos.

En otros ensayos, ratas alimentadas con una suplementación de aceite de SA (RBO) en su dieta, presentaron una tendencia al decrecimiento del peso de los órganos especialmente en la grasa de la epidermis, comparándose con el grupo de control con una dieta alta en colesterol. También se observó que el aceite tendió a disminuir el peso del hígado, el cual se incrementó con una dieta alta en colesterol. La disminución del peso del tejido, especialmente la disminución de grasa de la epidermis del grupo de RBO los condujo a concluir que el RBO puede reducir la acumulación de lípidos en los tejidos (Tae-Youl *et al.*, 2005).

Fibra dietaria

Las fuentes de fibra dietaria han sido clasificadas en 3 tipos basándose en sus efectos en los niveles del colesterol humano. En el tipo 1 se encuentran las fibras dietarias que han mostrado previamente efecto en la disminución de colesterol, en estas se incluyen la pectina, goma guar, psyllium y salvado de avena. El tipo 2 comprende las fibras dietarias que tienen un posible efecto en la reducción del colesterol, en este grupo se incluyen las leguminosas, SA y varios tipos de gomas. El tipo 3 lo constituyen las fibras dietarias que no han demostrado ningún efecto en la reducción del colesterol en las cuales se encuentran la fibra de trigo, celulosa y lignina (Truswell, 1995).

Estudios realizados por Wilson *et al.* (2002) demostraron que la fibra de arroz y el SA reducen significativamente la formación de colesterol hepático comparado con el salvado de trigo. Por otro lado, la hemicelulosa B (RBHB) del SA ha sido reconocida por poseer una notable actividad biológica incluyendo el decrecimiento del colesterol en la sangre y la prevención del cáncer del colon (Hu *et al.*, 2009).

Proteína de arroz

Las proteínas del SA son de alto valor nutricional (Kennedy & Burlingame, 2003), hipoadérgico (Tsuji *et al.*, 2001) y son igual de efectivas a la proteína de soya en bajar los niveles de colesterol en el plasma (Morita *et al.*, 1997). Estas proteínas son conocidas por su potencial hipocolesterolemico y efecto anti-aterogénico (Ni *et al.*, 2003), debido principalmente a su alto contenido de L-arginina (1,27%) (Parrado *et al.*, 2006). La suplementación dietaria de la L-arginina previene el desarrollo de la arterioesclerosis, probablemente a través de la conversión a óxido nítrico el cual tiene una variedad de efectos benéficos en el sistema cardiovascular (Tousoulis *et al.*, 2007).

Recientemente se ha demostrado que la proteína del arroz es igualmente efectiva a la proteína de soya aislada en reducir los niveles de colesterol en el plasma sanguíneo y reducir el desarrollo temprano de arterioesclerosis aórtica comparado con la caseína en hamsters hipercolesterolémicos (Tran & Nicolosi, 1997).

Es de resaltar que la proteína de SA es superior a otras proteínas de otros cereales ya que tiene una alta eficiencia, contenido de lisina y, como ya se comentó anteriormente, propiedades hipoalergénicas (Saunders 1986; Wang *et al.*, 1999).

Fitoesteroles

Los fitoesteroles llevan a cabo funciones en plantas equivalentes a las desempeñadas por el colesterol en los animales, siendo estos compuestos requeridos como componentes necesarios de membranas celulares y como precursores de biomoléculas importantes, incluyendo hormonas sexuales y vitaminas. Entre las fuentes de alimentos con alto contenido de fitoesteroles totales (mg/100 g) están los aceites del SA (1055), maíz (952), germen de trigo (553), semillas de lino (338), semillas de algodón (327), soya (221), maní (206) y oliva (176) (Kritchevsky, 1997).

El efecto hipocolesterolémico del extracto enzimático del SA (EEBR) puede deberse principalmente a su contenido en fitoesteroles. El mayor esteroide del EEBR es el 4-desmetilesterol, β -sitosterol, el cual es muy efectivo cuando se trata de competir con el colesterol para ser incorporado en micelas mixtas. La diferencia estructural entre las cadenas laterales del fitoesteroide y el colesterol es el factor responsable para su particular efecto. La eficacia de los esteroides vegetales en reducir los niveles de colesterol ha motivado a la introducción de estos compuestos como aditivos alimenticios con el objetivo de ayudar para reducir los niveles de LDL en la sangre. Un incremento en la excreción fecal de esteroides neutrales en animales alimentados con SA fue observado por Wilson y colaboradores (2002).

Suzuki & Oshima (1970a y b) sugirieron que el alto contenido de ácido linoléico del aceite de cártamo, en combinación con los micronutrientes de la fracción insaponificable del aceite de SA, actúan sinérgicamente para disminuir los niveles de colesterol sérico.

Enfermedades cardiovasculares

Se encuentran bien documentados los efectos en la disminución de colesterol y los efectos cardioprotectores debido al orizanol (Seetharamaiah & Chandrasekhara, 1988; Ragram *et al.*, 1989), fitoesteroles (Vanstone *et al.*, 2001), tocotrienoles (Parker *et al.*, 1993; Qureshi *et al.*, 1997) y fibra dietaria (Ayano *et al.*, 1980; Aoe *et al.*, 1989) al igual que la propiedad antioxidante debido a los componentes de los extractos acuosos del salvado (Nam *et al.*, 2006), fenoles (Iqbal *et al.*, 2005), pigmentos así como también orizanol (Xu *et al.*, 2001), tocoles (Packer, 1995) y el efecto anticancerígeno debido al tocotrienol (Wada *et al.*, 2005) y la hemicelulosa (Aoe *et al.*, 1993).

Reducción en el riesgo de padecer enfermedades coronarias y arterioesclerosis

La relación entre los ácidos grasos *Trans* y el incremento en el riesgo de padecer enfermedades coronarias del corazón es bien conocida (Tarrago-Trani *et al.*, 2006). Las proteínas de arroz son igualmente conocidas por su potencial hipocolesterolémico y su efecto anti aterogénico (Ni *et al.*, 2003), principalmente debido a su alto contenido de L-arginina (12,7%) (Parrado *et al.*, 2006). La suplementación dietaria de la L-arginina previene el desarrollo de la arterioesclerosis, probablemente a través de la conversión de óxido nítrico, el cual tiene una variedad de efectos benéficos en el sistema cardiovascular (Tousoulis *et al.*, 2007).

Inflamaciones

Inhibición en la agregación de plaquetas

Se ha comprobado que tanto el γ -orizanol como el cicloartenil trans-ferulato inhiben marcadamente las reacciones inflamatorias. Por lo tanto, los ferulatos del fitoesterol pueden ser efectivos como agentes terapéuticos y/o preventivos para enfermedades inflamatorias gastrointestinales (Islam *et al.*, 2008).

La función antioxidativa del ácido ferúlico puede también tener un futuro uso en la protección contra los radicales libres que resultan del daño celular y se asocian con enfermedades inflamatorias (Jariwalla, 2001).

Por otro lado, se descubrió que los tocotrienoles comprenden el 70% de los tocoles en el aceite de SA crudo y estos han demostrado ser poderosos antioxidantes y agentes antitrombóticos (Arumughan *et al.*, 2004; Mayamol *et al.*, 2004). El aceite de SA por lo tanto puede ser usado como ingrediente para elaborar manteca vegetal nutricional. Existe una fuerte tendencia referente a la utilización de aceite vegetal en manteca vegetal sin hidrogenación para evitar la presencia de ácidos grasos *trans* (TFA) (Reshma *et al.*, 2008).

Los fitoesteroles también son abundantes en el extracto enzimático de SA (4084 ± 98 mg/kg). Varias propiedades les han sido atribuidas tales como efecto antiinflamatorio, antitumoral, bactericida y fungicida. Sin embargo, su efecto científico característico es el hipocolesterolémico (de Jong *et al.*, 2003).

Uno de los mayores descubrimientos de la última década fue la demostración de que el IP6 puede disminuir el colesterol y los triglicéridos en la sangre indicando un papel de protección contra enfermedades cardiovasculares (Jariwalla, 1999). En adición, este compuesto ha demostrado inhibición en la agregación de plaquetas (Vucenik *et al.*, 1999) y por lo tanto mejora la evolución de problemas inflamatorios al estimular la respuesta de los neutrófilos ante un estímulo microbiano (Eggleton, 1999).

Efecto antistress, antiulcerogénico, antifatiga, efecto laxante y secreción pituitaria

Diferentes productos derivados del SA se han destacado por poseer actividad antioxidante (Hiramitsu & Armstrong, 1991; Yasukawa *et al.*, 1998). Se han hallado propiedades funcionales de carácter antihiperlipidémico, antiulcerogénico (Cicero & Gaddi, 2001) y antitumoral (Hayashi *et al.*, 1998) propias del SA. Su actividad antioxidante está directamente relacionada con el contenido de γ -orizanol. La capacidad antioxidante del γ -orizanol ha sido atribuida a su estructura, lo cual incluye ácido ferulico. Este constituyente es responsable de la actividad antioxidante significativa (Qureshi *et al.*, 2001). En adición, el consumo de SA se reconoce por tener un número de beneficios sobre la salud, tales como efectos laxantes y su influencia en el tamaño de las deposiciones (Tomlin & Read, 1988).

De manera importante, se encontró que el SA fermentado tiene efectos anti-stress y antifatiga desde que inhibe un cambio mayor en el peso de suprarrenales, timo, bazo y la tiroides (Kim *et al.*, 2002); sugiriendo que el efecto del SA fermentado en la recuperación del agotamiento puede estar relacionado al efecto de resistencia y al efecto mejorador de la inmunidad en el organismo humano.

Otras propiedades potenciales del aceite de SA y el γ -orizanol, estudiadas ambas *in vitro* y en modelos animales, incluyen la influencia en la secreción pituitaria e inhibición de la secreción del ácido gástrico (Lerma-García *et al.*, 2009).

Enfermedades emergentes

Pérdida de cabello y desarrollo anormal

El mayor componente del SA es el inositol cuya deficiencia se encuentra asociada con la pérdida de cabello (alopecia) y desarrollo anormal. Adicionalmente, el inositol trifosfato cumple una función muy importante en la membrana celular como mensajero intracelular (Jariwalla, 2001).

Acción gonadotrópica, estimulación del hipotálamo y promoción del crecimiento

Diversos efectos del γ -orizanol han sido reportados, incluyendo el efecto hipolipidémico, la promoción de crecimiento, la acción gonadotrópica y la estimulación del hipotálamo (Kanbara *et al.*, 1992; Nakamura, 1967; Rukmini & Ragram, 1991).

Acción protectora en las heridas inducidas por la ingestión de etanol

Chotirmarkorn & Ushio (2008) han investigado los efectos de la administración oral del ácido trans-ferúlico y el γ -orizanol, en ratones con heridas inducidas en el hígado por etanol. Los ratones tratados con el ácido trans-ferúlico y el γ -orizanol se reco-

braron también de los niveles de glutatión hepático y presentaron la mayor actividad del superóxido dismutasa. Por lo tanto, ambos, el ácido trans-ferúlico y el γ -orizanol tuvieron una acción protectora en las heridas en el hígado inducidas por la ingestión de etanol.

Acción farmacológica en el sistema nervioso

El alcohol triperpeno tiene acción farmacológica en el sistema nervioso, donde este acelera la formación y la fijación de la memoria y la activación de la actividad mental. Estas acciones fisiológicas y farmacológicas sugirieron que los componentes insaponificables del aceite del SA son candidatos potenciales para su utilización en alimentos funcionales (Jariwalla, 2001).

Otra sustancia abundante en el aceite de SA es el tocotrienol, una forma natural de la vitamina E. Los tocotrienoles son antioxidantes lipofílicos, protegiendo la membrana celular de degradación agresiva y la peroxidación de lípidos. Ellos protegen la piel del daño inducido por la UV y con la ayuda de los tocotrienoles mantienen el nivel del tocoferol (Weber *et al.*, 1997). La deficiencia de vitamina E está ligada a esterilidad, varias enfermedades hepáticas y de la sangre y la degradación del tejido nervioso (Jariwalla, 2001).

Igualmente se ha reportado el uso del orizanol en la cura de desequilibrio nervioso y desórdenes postmenopáusicos (Cicero & Gaddi, 2001).

Tratamiento en la formación de cálculos

La disminución de los niveles de colesterol sérico en la sangre, específicamente de las fracciones lipoprotéicas de baja densidad (LDL) ayudan en la salud cardiovascular y tienden a disminuir la formación de cálculos biliares (Babcock, 1987). En base a los múltiples estudios que comprueban la eficacia del SA en el tratamiento de enfermedades crónicas se ha sugerido que este alimento se incluya en la dieta humana.

En un estudio en pacientes con hipercalcemia idiopática, Ohkawa *et al.*, (1984) se observó un decrecimiento significativo de calcio en la orina y en el número de cálculos después de la ingestión de 10 g de SA, dos veces al día, por períodos de 1 a 3 meses. Los estudios bioquímicos han demostrado que los fitatos del SA pueden interferir con la formación de cálculos (cristales) de oxalato de calcio y fosfato. Esto ha sido demostrado *in vitro* en un sistema que se asemeja a la formación de cálculos en el riñón así como también en modelos animales de nefrolitiasis donde la formación de los cristales y la calcificación en el tejido renal son inducidas por etilén glicol (Grases & Costa-Bauza, 1999).

En estudios previos en animales, los fosfatos de inositoles demostraron inhibir la calcificación en la aorta y la peroxidación de lípidos en riñones isquémicos (Jariwalla *et al.*, 1990).

Fuente de nutrientes de bajo costo

Varias investigaciones han reportado que los tocotrienoles presentan actividad antioxidante mucho mayor que los tocoferoles y proporcionan protección más eficiente contra algunas enfermedades relacionada con los radicales libres (Qureshi *et al.*, 2002). Sin embargo, desde que la cantidad de γ -orizanol en el extracto enzimático del SA está por encima de 13 veces que la cantidad correspondiente a los tocoles, el γ -orizanol puede ser el antioxidante más importante en este producto. La actividad antioxidante del extracto enzimático del SA puede estar también relacionada con su relativo alto contenido de aminoácidos azufrados (Parrado *et al.*, 2006). Estos aminoácidos son precursores de dos antioxidantes naturales importantes: taurina y glutatión.

La taurina está presente en los tejidos animales, particularmente aquellos ricos en membranas. Hay evidencia que el mayor papel nutricional de este aminoácido es proteger dichas membranas. El glutatión es el tiol más encontrado a nivel celular y el péptido de menor peso molecular más abundante presente en las células. El glutatión protege las células de los efectos tóxicos provocados por compuestos reactivos al oxígeno al igual que interviene en la desintoxicación de radicales libres y peróxidos (Horton, 2003).

EL SALVADO DE ARROZ CON NUEVAS APLICACIONES

El SA ha sido utilizado principalmente como ingrediente para la alimentación de animales, fertilizante y combustible (Juliano, 1985; Bera, 1992; Shi *et al.*, 1999), sin embargo puede ser utilizado en una gran variedad de campos como lo han demostrado diversas investigaciones.

Por un lado, el SA puede ser desarrollado como un adhesivo con aplicaciones industriales las cuales pueden incrementar su valor económico. Debido a las modificaciones químicas y térmicas las cuales se han utilizado para obtener adhesivos de almidón y proteína, el SA puede ser modificado similarmente en su capacidad de unión. El producto podría ser usado potencialmente como una biobase adhesiva en compuestos tales como de partículas y fibra (Pan *et al.*, 2005).

Fuera de las amplias aplicaciones del ácido láctico en alimentos, farmacia, cuero, industrias textiles, su uso potencial como material para la producción de plásticos biodegradables le ha dado un valor agregado. El SA, un desecho en la agricultura, puede ser reciclado para el desarrollo de procesos biotecnológicos (Gao *et al.*, 2008).

En el caso de los vegetales, la cobertura orgánica, con residuos de plantas como paja y hierbas, mejora los rendimientos en tomates y además incorpora materia orgánica al suelo, lo que mejora la calidad del mismo (Wilson, 1979). Los altos rendimientos bajo cobertura se deben al incremento en el número de racimos, flores, frutos por planta y rendimientos precoces (Gómez *et al.*, 1997). Al evaluar el efecto de diferentes tipos de

cobertura del suelo sobre el rendimiento y calidad del tomate de ramillete, el material destacado fue el SA (Rodríguez, 2007).

Por otro lado, es necesario destacar la función ambiental que se ha encontrado en el SA. Recordemos que existe un delicado balance entre el hombre y el ambiente. Últimamente, este balance se ha visto seriamente perturbado por las actividades directas e indirectas del hombre. Miles de contaminantes han sido vertidos en el ambiente. La presencia de iones metálicos en aguas residuales naturales o industriales y su potencial impacto ha sido objeto de estudio en la ciencia del ambiente por largo tiempo. Iones metálicos tales como cadmio, cromo, cobre, plomo, zinc y hierro son comúnmente detectados en efluentes naturales e industriales. Para solucionar este problema, la biosorción puede ser parte de la solución y la utilización de SA es una herramienta en potencia (Singh *et al.*, 2005).

Y también es importante resaltar la acción del SA en la remoción de cloroformo el cual se encuentra en todas las aguas cloradas provenientes del grifo. Este compuesto se forma como resultado de la reacción entre cloro y precursores orgánicos, generalmente en sustancias tales como ácidos húmicos. Un reporte del Instituto Nacional de Cáncer (NCI) mostró que el cloroformo causaba cáncer en ratas y ratones bajo condiciones de prueba en el laboratorio (National Cancer Institute, 1976).

Alimento para animales

Los efectos del ácido trans-ferúlico y del γ -orizanol al ser utilizados como suplementos en la dieta en el besugo cultivado fueron examinados (Takashi *et al.*, 2008). El suplemento alimenticio comercializado para peces suplementado con ácido trans-ferúlico (0,01-0,5%) o γ -orizanol (0,05-0,5%) se dieron al año cero a los besugos por 98 días. La luminosidad del color del revestimiento de los peces alimentados fue mayor que el de los controles. Además, las especies reactivas al ácido tiobarbitúrico en el hígado de los peces administrados fue menor que en el de los peces de control. Estos resultados indicaron que el ácido trans-ferúlico y el γ -orizanol suprimieron no solamente la pigmentación de color oscuro sino también el stress oxidativo en el besugo.

Los resultados del estudio realizado por Garg *et al.* (2004) indican que el grano de maíz puede ser económicamente reemplazado con SA desgrasado por encima de un nivel del 50% en la mezcla del concentrado para oveja adulta sin ningún efecto adverso en su desarrollo.

Acción antibacterial

El ácido ferúlico es un agente efectivo antibacterial (Maruta *et al.*, 1999) y por consiguiente es útil en la preparación de derivados antibacteriales del ácido succínico con potencial biodegradable. Recordemos que es una preocupación de salud pública encontrar nuevos agentes antibacteriales con características biodegradables con el fin

de reducir problemas ambientales en nuestro ecosistema y es el ácido ferúlico quien sostiene un futuro potencial para su aplicación con estos fines.

Adhesivo

Las propiedades adhesivas de la proteína y el almidón han sido reconocidas ya por mucho tiempo. El SA puede ser desarrollado como adhesivo con aplicaciones industriales que pueden incrementar su valor económico. Modificaciones térmicas y químicas han sido utilizadas para obtener adhesivos a partir de almidón y proteína de manera que el SA puede ser modificado de manera similar para mejorar su capacidad adhesiva. Tratamientos a altas temperaturas y pH han probado ser efectivos en el desarrollo de las propiedades adhesivas en el SA para obtener adhesivo a partir de este producto con fuerza adhesiva mejorada comparado con el control no tratado (Pan *et al.*, 2005).

Producción de ácido láctico

Muchos investigadores han trabajado en la viabilidad del SA como material para la producción de ácido láctico (Oda *et al.*, 1997; Tanaka *et al.*, 2006; Taniguchi *et al.*, 2005; Yun *et al.*, 2004). En aquellas investigaciones, el SA fue hidrolizado por la α -amilasa y la amiloglucosidasa para la producción de ácido láctico como fuente de carbono. Por tratamiento enzimático, acerca de 28 g/L de ácido láctico fue producido a partir de 100 g/L de SA (Taniguchi *et al.*, 2005; Yun *et al.*, 2004).

El ácido láctico es comúnmente producido por bacterias ácido lácticas fermentativas. El uso de materiales de bajo costo puede conducir a la reducción de costos de fermentación. La aplicación de SA hidrolizado no reduce solamente el costo del medio sino también incrementa la productividad marcadamente y por tanto es una solución efectiva para bajar el costo total para la producción de ácido láctico (Gao *et al.*, 2008).

Cultivo de vegetales

El tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) es uno de los vegetales más importantes y populares del mundo (Peralta & Spooner, 2007). En Cuba, ocupa aproximadamente 60.000 ha anualmente. También se considera la especie hortícola más importante en Asia, con alrededor de 25 millones de toneladas métricas producidas anualmente en cerca de un millón de hectáreas (Hanson & Chen, 1996). China es el líder mundial en producción de tomate con alrededor del 25 % de la producción mundial (FAO, 2005).

Los factores más importantes que reducen la productividad del tomate son las altas temperaturas, alta humedad, exceso de temperaturas, alta humedad, exceso de precipitaciones, plagas y enfermedades (Opeña, 1985). La cobertura del suelo (*mulch*) es un factor importante en el control de malezas y conservación de la humedad, lo que

permite mantener un ambiente favorable para el desarrollo de raíces, manteniendo la temperatura uniforme. Se comprobó que cubrir el suelo con SA en cultivos de tomate cubanos acelera la maduración de los frutos (Rodríguez, 2007). Por otro lado, la distribución de la humedad en la capa arable de un suelo cubierto es más uniforme, comparada con un suelo descubierto. En un suelo cubierto se promueve el desarrollo de raíces en la capa arable, estrato rico en nutrientes y donde abundan microorganismos beneficiosos (Lippert & Takatori, 1964).

Remoción de cloroformo en agua de grifo

El agua es posiblemente el mayor recurso en el ambiente expuesto al cloroformo. Con el fin de remover este compuesto en la industria química de aguas residuales, la adsorción de carbón activado o descomposición fitoquímica por radiación ultravioleta ha sido principalmente estudiada (Hoffmann *et al.*, 1995; Ollis, 1985). Uno de los problemas de estos métodos es el costo.

La eficiencia de la bentonita, carbón, caolín, diatomeas de tierra y SA en la remoción de compuestos organoclorados fue examinada. El SA fue el más efectivo de los adsorbentes (Adachi *et al.*, 1999). La velocidad de adsorción del SA fue similar a la del carbón activado (granular o en polvo). El cloroformo, en este estudio, fue exitosamente removido del agua de grifo con una eficiencia de remoción promedio del 70 % después de 60 minutos cuando el SA se aplicó al grifo del agua el cual contenía 0.0064 mg/l de cloroformo. Se encontró también que el SA no es efectivo en la remoción de fenoles o iones tales como CN^- y PO_4^{3-} pero sí es muy efectivo en la remoción de sustancias solubles de grasa (Adachi, 2001).

Remoción de cromo

La biosorción de metales pesados por biomasa bacteriana fúngica o algas (vivas o muertas) y la biomasa de la agricultura (Melo & D'Souza, 2004; Singh *et al.*, 2003; Singh *et al.*, 2004; Singh *et al.*, 2003; Ahuja *et al.*, 2001; Bhainsa *et al.*, 2001; Filipovic-Kovacevic *et al.*, 2000; Ariff *et al.*, 1999; Marin & Ayele, 2003; Reddad *et al.*, 2003; Azamal *et al.*, 2003) han sido reconocidos como potencial alternativa a las tecnologías existentes tales como precipitación, intercambio iónico, extracción solvente y membranas líquidas para la remoción de metales pesados en aguas residuales debido a que estos procesos tienen limitaciones técnicas y/o económicas.

La literatura revela dos distintos acercamientos al uso de microorganismos y el uso de biomasa no viable (Darnall *et al.*, 1986; Teszos & Volesky, 1981; Khummongkol *et al.*, 1982). Existen limitaciones prácticas significativas con respecto al método que emplea sistemas de microorganismos vivos. Quizá la limitación más importante es que el crecimiento microbiano se inhibe cuando las concentraciones de iones metálicos son muy altas o cuando una cantidad significativa de iones metálicos es

absorbida por los microorganismos (Darnall *et al.*, 1986). Las células muertas o los desechos de la agricultura acumulan iones de metales pesados al mismo o a mayor nivel que las células vivas (Darnall *et al.*, 1986; Teszos & Volesky, 1981; Khummonkol *et al.*, 1982). La razón de esto es que los cambios que ocurren en la estructura de las células después de que las células se secan, afecta la adsorción en una manera positiva (Nourbakhsh *et al.*, 1994). Para las aplicaciones en la remoción de metal, el uso de biomasa muerta o desechos de la agricultura puede ser preferida ya que grandes cantidades están disponibles y a menor costo al ser un subproducto de varias industrias (Tobin *et al.*, 1993). Por lo tanto se ha escogido el SA para la remoción de Cr (VI) en aguas residuales, porque el SA es barato, de fácil disposición y en su mayoría biodegradable.

Se ha descubierto que el SA es un biosorbente muy efectivo para la remoción eficiente del Cr (VI) de aguas residuales. En un estudio realizado se encontró que la máxima remoción del Cr (VI) fue de 99,4% a un pH de 2, con concentración inicial de 200 mgL⁻¹ y a una temperatura de 20 °C. Los estudios de transferencia de masa confirmaron la velocidad de transferencia de masa desde el adsorbato al adsorbente fue lo suficientemente rápida. Los estudios termodinámicos confirmaron que el proceso fue espontáneo y endotérmico. Los datos obtenidos pueden ser útiles en el diseño y la fabricación de una planta de tratamiento eficiente para los efluentes ricos en Cr (VI) (Singh *et al.*, 2005).

CONCLUSIONES

En las tablas 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65 y 66, se pueden resumir los principales usos del salvado de arroz, en las diferentes industrias evaluadas.

A continuación se presenta el resumen de los usos potenciales como antioxidantes (tabla 59).

Tabla 59. Resumen de usos potenciales como antioxidantes.

PRESENTACIÓN DEL SALVADO DE ARROZ	USOS COMO ANTIOXIDANTE
Extractos	Aceite de pescado
Aceite	Aceite de soya
Extractos. Gamma-orizanol	Empanadas de carne
Aceite. Fibra de arroz	Carne de vacuno
Salvado	Emulsiones de carne tipo <i>premium</i>
Aceite	Leche entera en polvo
Extractos	Pardeamiento de dulces, caramelos y tortas.

En la tabla 60 se presentan los usos en cuanto a la fibra dietaria y como mejorador de propiedades sensoriales.

Tabla 60. Usos de la fibra dietaria y mejorador de propiedades sensoriales.

PRESENTACIÓN DEL SALVADO DE ARROZ	USOS EN FIBRA DIETARIA Y PROPIEDADES SENSORIALES
Aceite y salvado	Pastas cárnicas
Salvado	Salchichas tipo <i>hot dog</i>
Salvado	Albóndigas de cerdo
Salvado	Hamburguesas de pollo
Salvado	Masa para pizza
Salvado	Pan
Salvado	Pasta
Extractos	Sinergia con aislado de soya

En la tabla 61 se presenta el uso proteico potencial.

Tabla 61. Usos de la proteína del salvado de arroz.

PRESENTACIÓN DEL SALVADO DE ARROZ	USOS COMO FUENTE DE PROTEÍNA
Extractos	Alimentos infantiles
Salvado y extractos	Emulsiones estables bajo concentraciones elevadas de azúcares
Salvado	Productos cárnicos

En la tabla 62 se presenta el uso potenciales como mejorador de producto.

Tabla 62. Usos potenciales como mejorador de producto.

PRESENTACIÓN DEL SALVADO DE ARROZ	USOS COMO MEJORADOR DE PRODUCTO
Concentrados de proteínas	Panes, galletas y alimentos para recién nacidos
Aceite	Margarinas y aceites
Salvado	Arepas

La tabla 63 presenta el uso cosmetológico del salvado de arroz.

Tabla 63. Usos cosmetológicos del SA.

PRESENTACIÓN DEL SALVADO DE ARROZ	USO COSMETOLÓGICO
Aceite. Extractos de gamma-orizanol, tocoferoles, tocotrienoles y ácido ferúlico.	Tratamiento de desórdenes en la piel, reducción de arrugas y absorción a la radiación UV.

En la tabla 64 se presenta el uso de SA como tratamiento de enfermedades crónicas.

Tabla 64. Uso del SA para tratamiento de enfermedades crónicas.

PRESENTACIÓN DEL SA	USOS EN ENFERMEDADES CRÓNICAS
Salvado y aceite. Extractos de antocianina, antocianidina, compuestos fenólicos, cicloartenil ferulato, mio-inositol, IP6, tocotrienoles, MGN-3 y ácido fítico. Concentrados de fibra dietaria.	Cáncer
Extractos de salvado y concentrados de fibra.	Diabetes
Salvado y aceite. Extractos de gamma-orizanol, tocoferoles, tocotrienoles y fitoesteroles. Concentrados de fibra dietaria y proteína.	Colesterol
Salvado. Concentrado de proteínas.	Enfermedades coronarias y arterioesclerosis.
Aceite. Extractos de gamma-orizanol, cicloartenil trans-ferulato, tocotrienoles, fitoesteroles e IP6.	Inflamaciones.
Aceite. Extractos de gamma-orizanol.	Efecto antistress, antiulcerogénico, antifatiga, laxante y secreción pituitaria.

En cuanto a las enfermedades emergentes, en la tabla 65 se presenta el uso del salvado de arroz.

Tabla 65. Uso del salvado de arroz sobre las enfermedades emergentes.

PRESENTACIÓN DEL SA	USOS EN ENFERMEDADES EMERGENTES
Aceite. Extractos de inositol.	Pérdida de cabello y desarrollo anormal.
Aceite. Extractos de gamma-orizanol.	Acción gonadotrópica, estimulación del hipotálamo y promoción del crecimiento.
Aceite. Extractos de ácido trans-ferúlico y gamma-orizanol.	Acción protectora en las heridas inducidas por la ingestión de etanol.
Aceite. Extractos de tocotrienol.	Acción farmacológica en el sistema nervioso.
Salvado.	Tratamiento en la formación de cálculos.

En la tabla 66 se presenta el uso del salvado de arroz como fuente de nutrientes de bajo costo.

Tabla 66. Uso del salvado de arroz como fuente de nutrientes de bajo costo.

PRESENTACIÓN DEL SA	USOS COMO FUENTE DE NUTRIENTES DE BAJO COSTO
Aceite. Extractos de gamma-orizanol y aminoácidos azufrados. Salvado.	Taurina y glutatión.

Referencias bibliográficas

- Abdel-Aal E. S. M., et P. 1999. A rapid method for quantifying total anthocyanins in blue aleurone and purple pericarp wheats. *Cereal Chemistry*. 76: 350-354.
- Abdul-Hamid A., Luan Y. S. 1999. Functional properties of dietary fibre prepared from defatted rice bran. *Food Chemistry*. 68: 15-19.
- Abdul-Hamid, R. R. Raja Suliman, A. Osman, N. Saari., 2007. Preliminary study of the chemical composition of rice milling fractions satabilized by microwave heating. *Journal of food composition and analysis*. 20: 627-637.
- Afaq F., Saleem M., Aziz M. H., Mukhtar H. 2004. Inhibition of 12-O-tetradecanoylphorbol-13-acetate-induced tumor promotion markers in CD-1 mouse skin by oleandrin. *Toxicology and Applied Pharmacology*. 195: 361-369.
- Aktas N., Genccelep H. 2006. Effect of starch type and its modifications on physicochemical properties of bologna-type sausage produced with sheep tail fat. *Meat Science*. 74: 404-408.
- Ambale G. G., Khatoon S., Tyakal N. T. 2007. Improved process for preparation of oryzanol. Patent No. IN 200300398-1.
- American Heart Association, Nutrition Committee. 1988. Dietary guidelines for healthy American adults. *Circulation*. 77: 721-4.
- Aoe S., Oda T., Tojima T., Tanaka M., Tatsumi K., Mizutani T. 1993. Effect of rice bran hemicellulose on 1,2-dimethylhydrazine induced intestinal carcinogenesis in Fischer 344 rat. *Nutrition and Cancer*. 20: 41-49.
- Aoe S., Ohta F., Ayano Y. 1989. Effect of rice bran hemicelluloses on cholesterol metabolism in rats. *Journal of Japanese Society of Nutrition and Food Science*. 42: 55-61.
- Arumughan, C., Skhariya, R., Arora, R., 2004. Rice bran oil: an untapped health food. *Inform*. 15, 706-707.

- Avendaño V., Rodríguez L., Vargas E. 2009. Evaluación de una harina de semola de trigo y SA para la elaboración de una pasta alimenticia. UJTL.
- Ayano Y., Ohta F., Watuabe Y., Mita K. 1980. Dietary fiber fractions in defatted rice bran and their hypocholesterolemic effect in cholesterol fed rats. *Journal of Japanese Society of Nutrition and Food Science*. 33: 283-291.
- Babcock D. 1986. Rice bran as a source of dietary fibre. *Cereal Food World*. 32: 538.
- Badcock D. 1987. Rice bran as a source of dietary fiber. *Cereal Foods World*. 32: 538-540.
- Barber S., Barber C. B. 1980. Rice bran: Chemistry and technology. En: Luh B. S. Ed. *Rice. Production and utilization* (pp. 790-862). Westport. CT. USA: AVI Publishing.
- Bera M. B., Mukherjee R. K. 1989. Preparation of rice bran protein concentrate and its use in bread. *Indian Journal of Nutrition and Dietetics*. 26: 48-35.
- Berdanier C. D. 2001. Diabetes and nutrition: The mitochondrial part. *J. Nutr.* 131: 344S-353S.
- Bergman C. J., Xu Z. 2003. Genotype and environment effects on tocopherol, tocotrienol and γ -oryzanol contents of Southern US rice. *Cereal Chemistry*. 80: 446-449.
- Betteridge D. J. 1989. Diabetes, lipoproteins metabolism and atherosclerosis. *Br. Med. Bull.* 45: 285-311.
- Birt D. F., Markin R. S., Blackwood D., Harvell D. M., Sll J. D. 1998. Dietary lignin and insoluble fiber, enhance uterine cancer but did not influence mammary cancer induced by N-methyl-N-nitrosourea in rats. *Nutr Cancer*. 1: 24-30.
- Branen A.C. 1975. Toxicology and biochemistry of butylated hydroxyanisole and butylated hydroxyl toluene. *Journal of the American Oil Chemists Society*. 52: 59-63.
- Burks, A. W., Helm, R. M. 1994. Hypoallergenicity of rice protein. In: Presented at the annual meeting of the American Association of Cereal Chemists, Nashville, TN.
- Burton B. 2000. Symposium: dietary composition and obesity: do we need to look beyond dietary fat?. *The Journal of Nutrition*. 130 (25): 272-274.
- Burton G.W., Ingold K. U. 1981. The antioxidant activity of vitamin E and related chain-breaking phenolic antioxidants in vitro. *Journal of the American Chemical Society*. 103: 6472-6477
- Calaveras J. 2004. Nuevo tratado de panificación y bollería. Segunda Edición. AMD ediciones. Madrid, España. 99, 100-102, 146, 212, 207, 347.
- Cara, L., Borel, P., Armand, M., Lafont, H., Lesgards, G., Lairon, D. 1992. Milling and processing of wheat and other cereals affect their capacity to inhibit pancreatic lipase in vitro. *J. Food Sci.* 57: 466-469.

- Carrie K.L. Kong, W.S. Lam, Lawrence C.M. Chiu, Vincent E.C. Ooi, Samuel S.M. Sun, Yum-Shing Wong. 2009. A rice bran polyphenol, cycloartenyl ferulate, elicits apoptosis in man colorectal adenocarcinoma SW480 and sensitizes metastatic SW620 cells to TRAIL-induced apoptosis. *Biochemical Pharmacology*. 77: 1487–1496.
- Carroll L. 1990. Functional properties and applications of stabilized rice bran in bakery product. *Food Technology*. 44 (4): 74-76.
- Challa A., Rao D. R., Reddy B. S. 1997. Interactive suppression of aberrant crypt foci induced by azoxymethane in rat colon by phytic acid and green tea. *Carcinogenesis*. 18: 2023–6.
- Chandi K. G., Sogi D. S. 2007. Functional properties of rice bran protein concentrates. *Journal of Food Engineering*. 79: 592-597.
- Chavan J. K., Kadam S. S. 1993. Nutritional enrichment of bakery products by supplementation with non wheat flours. *CRC- Critical –Reviews in Food Science and Nutrition*. 33: 189-226.
- Chen M. H., Bergman C. J. 2005. A rapid procedure for analyzing rice bran tocopherol, tocotrienol and oryzanol contents. *Journal of food composition and analysis*. 18: 319-331.
- Chen Q. C., Li B. W. 2003. Separation of phytic acid and other related inositol phosphates by high-performance ion chromatography and its applications. *J. Chromatogr. A*. 1018: 41-52.
- Chen, W. J. L., & Anderson, J. W. 1986. Hypocholesterol effects of soluble fibre. In G. V. Vahouny, D. Kritchevsky, *Dietary fibre basic and clinical aspect*. 275-286. New York: Plenum Press.
- Childs N. M. 1997. Nutraceuticals and functional foods –an introduction to the present status and key issues. *J. Nutraceuticals, Functional and Medical Foods*. 1: 7-9.
- Choi Y. S., Jeong J. Y., Choi J. H., Han D. J., Kim H. Y., Lee M. A., *et al.* 2007. Quality characteristics of meat batters containing dietary fiber extracted from rice bran. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*. 27(3): 228-234.
- Choi Y. S., Jeong J. Y., Choi J. H., Han D. J., Kim H. Y., Lee M. A., *et al.* 2008. Effects of dietary fiber from rice bran on the quality characteristics of emulsion type sausages. *Korean Journal of Food Science of Animal Resources*. 28(1): 14-20.
- Chotimarkon C., Benjakul S., Salalai N. 2008. Antioxidative effects of rice bran extracts on refined tuna oil during storage. *Food Research International*. 41: 616-622.
- Chotimarkorn C., Silalai N. 2008. Oxidative stability of fried dough from rice flour containing rice bran powder during storage. *LWT*. 41: 561-568.
- Chotimarkorn C., Ushio H. 2008. The effect of trans-ferulic acid and gammaoryzanol

- on ethanol-induced liver injury in C57BL mouse. *Phytomedicine*. 15: 951-958.
- Chu Y., Hus H. 1999. Effects of antioxidants on peanut oil stability. *Food Chemistry*. 66: 29-34.
- Chung J., Lee Y., Choe E. 2006. Effects of sesame oil addition to soybean oil during frying on the lipid oxidative stability and antioxidants contents of the fried products during storage in the dark. *Journal of Food Science*. 71: C222-C226.
- Cicero A. F. G., Gaddi A. 2001. RBO and γ oryzanol in the treatment of hyperlipoproteinaemias and other conditions. *Phytotherapy Research*. 15: 277-289.
- Cobos L., Rodríguez L., Vargas M. 2009. Evaluación de una harina de trigo y SA para panificación. UJTL.
- Coppini D., Paganizzi P., Santi P., Ghirardini A. 2001. Capacita protettiva nei confronti delle radiazioni solari di derivati di origine vegetale. *Cosmetic News*. 136: 15-20.
- Cummings, J. 1985. Cancer of the large bowel. In H. Trowell, D. Burkitt, K. Heaton, *Dietary Fibre, Fibre depleted foods and diseases*. 161-184. London: Academic Press.
- De Jong A., Plat J., Mensink R. P. 2003. Metabolic effects of plant sterols and stanols (review). *The Journal of Nutritional Biochemistry*. 14: 362-369.
- Devi, R. R., & Arumughan, C. 2007. Phytochemical characterization of defatted rice bran and optimization of a process for their extraction and enrichment. *Bioresource Technology*, 98, 3037-3043.
- Dingley K. H., Ubick E. A., Chiarappa-Zucca M. L., Nowell S., Abel S., Ebeler S. E., *et al.* 2003. Effect of dietary constituents with chemopreventive potential on adduct formation of a low dose of the heterocyclic amines PhIP and IQ and phase II hepatic enzymes. *Nutr. Cancer*. 46:212-21.
- Dreher, M. L. 1987. *Handbook of dietary Fibre: an applied approach*. New York: Marcel Dekker.
- Dukehart, M. R., Dutta, S. K., Vaeth, J. 1989. Dietary Fibre supplementation: effect on exocrine pancreatic secretion in man. *American Journal of Clinical Nutrition*. 50:1023-1028.
- Eggleton P. 1999. Effect of IP6 on man neutrophil cytokine production and cell morphology. *Anticancer Res*. 19:3711.
- Erickson M. D., Frey N. 1994. Property-enhanced oils in food applications. *Food Technology*. 48: 63-66.
- FDA: United States of America, Food and Drug Administration, Tocopherols and derivatives, Proposed affirmation of GRAS status for certain tocopherols and removal of certain others from GRAS status as direct man food ingredients,

- Federal-Register; 43 (209, October 27) (1978) 50193–50198.
- Ferguson L. R., Harris P. J. 1996. Studies on the role of specific dietary fibers in protection against colorectal cancer. *Mutation Research*. 350:173–84.
- físicos y sensoriales de arepas precocidas y congeladas. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*. 23: 232-242.
- Fossella F. V., Lee J. S., Berille J., Hong W. K. 1995. Summary of phase II data of docetaxel (Taxotere), an active agent in the first- and second-line treatment of advanced non-small cell lung cancer. *Semin Oncol*. 22(2 Suppl 4):22–9.
- Francis P. A., Kris M. G., Rigas J. R., Grant S. C., Miller V. A. 1995. Paclitaxel (Taxol) and docetaxel (Taxotere): active chemotherapeutic agents in lung cancer. *Lung Cancer*. 12(Suppl 1):S163–72.
- Frankel E. N. 1998. Lipid oxidation (pp. 13-22). Dundee, Scotland: Oily Press.
- Frenkel K. 1992. Carcinogen-mediated oxidant formation and oxidative DNA damage. *Pharmacology and Therapeutics*. 53: 127-166.
- Friedman M. 1997. Chemistry, biochemistry, and dietary role of potato polyphenols. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 45: 1523-1540.
- Garçon a-Estepa R. M., Hernaández E. G., Belen, Garçon a-Villanova. 1999. Phytic acid content in milled cereal products and breads. *Food Res. Int*. 32: 217-221.
- Gerhardt A. L., Gallo N. B. 1998. Full-fat rice bran and oat bran similarly reduce hypercholesterolemia in mans. *J. Nutr*. 128: 865-869.
- Ghoneum M. 1998. Anti-HIV activity in vitro of MGN-3, an activated arabinoxylan from rice bran. *Biochem Biophys Res Commun*. 243:25–9.
- Ghoneum M. 1998. Enhancement of man natural killer cell activity by modified arabinoxylan from rice bran (MGN-3). *Int J Immunother*. 14:89–99.
- Ghoneum M., Brown J. NK immunorestoration of cancer patients by MGN-3, a modified arabinoxylan rice bran (study of 32 patients followed for up to 4 years). In: Klatz R, Goldman R, eds. *Anti-aging medical therapeutics*, vol. III. Marina del Rey, CA: Health Quest Publications, 1999: 217 26.
- Ghoneum M., Gollapudi S. 2003. MGN-3 sensitizes man T cell leukemia cells to death receptor (CD95) induced apoptosis. *Cancer Lett*. 201:41–9.
- Ghoneum M., Jewett A. 2000. Production of tumor necrosis factor and interferon-g from man peripheral blood lymphocytes by MGN-3, a modified arabinoxylan from rice bran, and its synergy with interleukin-2 in vitro. *Cancer Detect Prev*. 24: 314–24.
- Goldberg I. 1994. Ed. *Functional foods, designner foods, pharma foods, nutraceuticals*. Champman and Hall. New York, NY.

- Goldstein B. J. 1994. Syndrome of extreme insulin resistance, en: Kahn C. R., Gordon C. W. Eds. Joslin's Diabetes Mellitus 13th Edition, Lea and Feboger. A Waverly Company. Philadelphia. 282-298.
- Graf E., Eaton J. W. 1985. Dietary suppression of colonic cáncer. Fiber or phytate? *Cancer*. 56: 717.
- Graf E., Eaton J. W. 1990. Antioxidant functions of phytic acid. *Free Radical Biology and Medicine*. 61-9.
- Grases F., Costa-Bauza A. 1999. Phytate (IP6) is a powerful agent on preventing calcification in biological fluids. Usefulness in renal lithiasis treatment. *Anticancer Res*. 19: 3717.
- Grundy S.M., Vega G.L., Bilheimer D.W. 1985. Influence of combined therapy with mevinolin and interruption of bile acid reabsorption on low density lipoproteins in heterozygous familial hypercholesterolemia. *Annals of Internal Medicine*. 103: 339-343.
- Guthrie N., Gapor A., Chambers A. F., Carroll K. K. 1997. Inhibition of proliferation of estrogen receptor-negative MDA-MB-435 and -positive MCF-7 man breast cancer cells by palm oil tocotrienols and tamoxifen alone and in combination. *J. Nutr*. 127: 544S.
- Hamada, J. S. 1997. Characterization of protein fractions of rice bran to devise effective methods of protein solubilization. *Cereal Chemistry*. 74(5): 662-668.
- Hamid-Abdul, A., Luan, Y. S. 2000. Functional properties of dietary fibre prepared from defatted rice bran. *Food Chemistry*. 68(1): 15-19.
- Harland B. F., Oberleas D. 1987. Phytate in foods. *World Review on Nutrition and Dietetics*. 52:235-59.
- Harris P. J., Ferguson L. R. 1993. Dietary fibre: its composition and role in protection against colorectal cancer. *Mutat Res*. 290:97-110.
- Hayashi Y., Nishikawa Y., Mori H., Tamura H., Matsushita Y. I., Matsui T. 1998. Antitumor activity of (10E, 12Z)-9-hydroxy-10,12-octadecadienoic acid from rice bran. *Journal of Fermentation and Bioengineering*. 86: 149-153.
- Hegsted M., Kousik C. S. 1994. *Rice bran and rice bran oil may lower heart disease risk by decreasing cholesterol synthesis in the body». Louisiana agriculture 37 (2): 16-17.*
- Hernandez-Ledesma B., Quiros A., Amigo L., Recio I. 2005. Identification of bioactive peptides after digestión of man milk and infant formula with pepsin and pancreatin. *International Journal of Dairy Technology*. 17: 42-49.
- Higashi-Okai, K., Kanbara, K., Amano, K., Hagiwara, A., Sugita, C., Matsumoto, N., *et al.* 2004. Potent antioxidative and antigenotoxic activity in aqueous extract of

- Japanese rice bran association with peroxidase activity. *Phytotherapy Research*. 18(8): 628–633.
- Hiramitsu T., Amstrong D. 1991. Preventive effect of antioxidants on lipid peroxidation in the retina. *Ophthalmic Research*. 23: 196-203.
- Hoogenkamp H. 2009. Rice bran reinvented. Fecha de Consulta: Noviembre de 2009. <http://www.nutracea.com/downloads/Articles/rice-bran-reinvented.pdf>.
- Horton J. W. 2003. Free radicals and lipid peroxidation mediated injury in burn trauma: the role of antioxidant therapy. *Toxicology*. 189: 75-88.
- Hou D. X., Kai K., Li J. J., Lin S., Tereharaa N., Wakamatsu M., Fujii M., Young M. R., Colburn N. 2004. Anthocyanidins inhibit activator protein 1 activity and cell transformation: structure-activity relationship and molecular mechanisms. *Carcinogenesis*. 25: 29-36.
- Hu G., Huang S., Cao S., Ma Z. 2009. Effect of enrichment with hemicelluloses from rice bran on chemical and functional properties of bread. 115: 839-842.
- Hu, C., Zawistowski, J., & Kits, D. D. 2003. Black rice (*Oryza sativa* L. indica) pigmented fraction suppresses both reactive oxygen species and nitric oxide in chemical and biological model systems.
- Huang S. C., Shiao C. Y., Liu T. E., Chu C. L., Hwang D. F. 2005. Effects of rice bran on sensory and physico-chemical properties of emulsified pork meatballs. *Meat Science*. 70: 613-619.
- Hudson E.A., Dinh P.A., Kokubun T., Simmonds M. S., Gescher A. 2000. Characterization of potentially chemopreventive phenols in extracts of brown rice that inhibit the growth of man breast and colon cancer cells. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev*. 9:1163–70.
- Ichihashi M., Funasaka Y., Ohashi A., *et al.* 1999. The inhibitory effect of DL-alpha-tocopheryl ferulate in lecithin on melanogenesis. *Anticancer Res*. 19: 3769.
- Illingworth D.R. 1984. Mevinolin plus colestipol in therapy for severe heterozygous familial hypercholesterolemia. *Annals of Internal Medicine*. 101: 598–604.
- Illingworth D.R. 1988. Drug therapy of hypercholesterolemia. *Clin. Chem*. 34: B123–B132.
- Illingworth D.R. 1987. Lipid-lowering drugs: an overview of indications and optimum therapeutic use. *Drugs*. 33: 259–279.
- Indira T. N., Narayan A. V., Barhate R. S., Raghavarao k. S., Khatoon S., Channaiah G., *et al.*; Council Sci. Indian Res., assignee (September 30, 2004; May 24, 2005; October 28, 2004). Production of oryzanol-enriched fraction useful in the treatment of melanin related disorders and for minimizing wrinkles involves saponification; dehydration and leaching of RBO soapstock. Patents Nos. US2004192948-A1,

US6896911-B2 & JP2004300034-A.

- Iqbal S., Bhangar M. I., Anwar F. 2005. Antioxidant properties and components of some commercially available varieties of rice bran in Pakistán. *Food Chemistry*. 93: 265-272.
- Islam M. S., Murata T., Fujisawa M., Nagasaka R., Ushio H., Bari A. M., *et al.* 2008. Anti-inflammatory effects of phytosteryl ferulates in colitis induced by dextran sulphate sodium in mice. *British Journal of Pharmacology*. 154: 812-824.
- Ito N., Hirose M., Fukushima S., Tsuda H., Shirai T., Tatematsu M. 1986. Studies on antioxidants: Their carcinogenic and modifying effects on chemical carcinogenesis. *Food and Chemical Toxicology*. 24: 1071-1082.
- Jakobisiak M., Lasek W., Golab J. 2003. Natural mechanisms protecting against cancer. *Immunology Letters*. 90: 103-122.
- James, C., & Sloan, S. 1984. Functional properties of edible rice bran in model system. *Journal of Food Science*, 49, 310-311.
- Jariwalla R. J. 1999. Inositol hexaphosphate (IP6) as an anti-neo-plastic and lipid-lowering agent. *Anticancer Res*. 19: 3699.
- Jariwalla R. J. 2001. Rice bran products: phytonutrients with potential applications in preventive and clinical medicine. *Drugs Experimental Clinical Research*. 27: 17-26.
- Jariwalla R. J., Sabin R., Lawson S., *et al.* 1990. Lowering of serum cholesterol and triglycerides and modulation of divalent cations by dietary phytate. *J. Applied Nutr*. 42: 18.
- Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51, 5271-5277.
- Juliano C., Cossu M., Alamanni M. C., Piu L. 2005. Antioxidant activity for γ -oryzanol: Mechanism of action and its effect on oxidative stability of pharmaceutical oils. *International Journal of Pharmaceutics*. 299: 146-154.
- Kahlon T. S., Chow F. I., Sayer R. N., Betschart A. A. 1992. Cholesterol-lowering in hamster fed rice bran at various levels, defatted rice bran and rice bran oil. *J. Nutr*. 122: 513-9, 67: 439-41.
- Kahlon T. S., Chow F. I., Sayre R. N. 1994. Cholesterol lowering properties of rice bran. *Cereal Food World*. 39: 99-103.
- Kahn S. E., Prigeon R. L., Schwartz W. Y., Fujimoto R. H., Knopp R. H., Brunzell J. D., Porte D. 2001. Obesity, body fat distribution, insulin sensitivity and islet β -cells function as explanations for metabolic diversity. *J. Nutr*. 131: 354S-360S.
- Kanbara, R., Fukuo, Y., Hada, K., Hasegawa, T. & Terashi, A. 1992. The influence of sonic stress on lipid metabolism and the progress of atherosclerosis in rabbits with hypercholesterolemia studies on the anti-atherosclerotic effect of γ -oryzanol

- in sonic stress. *Jpn. J. Atheroscler.* 20: 159–163.
- Karpen C. W., Cataland S., Odorisio T. M., Panganamala R. V. 1985. Production of 12-hydroxyeicosatetraenoic acid and vitamin E status in platelets from Type I man diabetic subjects. *Diabetes.* 34: 526-531.
- Karpen C. W., Pritchard K. A., Arnold J. H., Cornwell D. G., Panganamala R. V. 1982. Restoration of prostacyclin/thromboxane A2 balance in the diabetic rat. Influence of dietary vitamin E. *Diabetes.* 31: 947-951.
- Kennedy G., Burlingame B. 2003. Analysis of food composition data on rice from a plant genetic resources perspective. *Food Chemistry.* 80: 589–596.
- Kiatsrichart S., Brewer M. S., Cadwallder K. R., Artz W. E. 2003. Pan-frying stability of nusun oil, a mid-oleic sunflower oil. *Journal of the American Oil Chemist's Society.* 80: 479-483.
- Kilo C. 1987. Vascular complications of diabetes. *Cardiovascular Review and Reports.* 8: 18-24.
- Kim J. S., Godber J. S., Prinaywiwatkul W. 2000. Restructured beef roasts containing rice bran oil and fiber influences cholesterol oxidation and nutritional profile. *Journal of Muscle Foods.* 11: 111-127.
- Kim J. S., Suh M. H., Yang C. B., Lee H. G. 2003. Effect of γ -oryzanol on the flavor and oxidative stability of refrigerated cooked beef. *Journal of Food Science.* 68: 2423-2429.
- Kim K. M., Yu K. W., Kang D. H., Suh H. J. 2002. Anti-stress and Anti-fatigue Effect of Fermented Rice Bran. *Phytother Res.* 16: 700-702.
- Kochhar S. P. 2000. Stable and healthful frying oil for 12th century. *Inform.* 11: 642-647.
- Krall L. P., Levine R., Barnett D. 1994. The history of diabetes, en: Kahn C. R., Gordon C.W. Eds. *Joslin's Diabetes Mellitus 13th Edition*, Lee and Feboger. A Waverly Company. Philadelphia. 1-14.
- Krishna A. G. G., Khatoon S., Babylatha R. 2005. Frying performance of processed rice bran oils. *Journal of Food Lipids.* 12: 1-11.
- Kritchevsky D. 1997. Phytosterols. In Bonfield Kristchevsky. Ed. *Dietary fiber in health and disease* (Vol. 427, pp. 235-242). New York: Plenum Press.
- Kritchevsky D., Bonafield C. 1995. *Dietary Fiber in Health and Disease*, Eagan Press, St Paul. MN.
- Kubo S. 1960. The grain internal transmigration of the chlorine which is included for the rice bran. *Biosci Biotechnol Biochem.* 34:689–94.
- La Vecchia C., Ferraroni M., Franceschi S., Mezzetti M., Decarli A., Negri E. 1997. Fibers and breast cancer risk. *Nutr Cancer.* 28:264-9.

- Landers P. S., Hamaker B. R. 1994. Antigenic properties of albumin globulin, and protein concentrate fractions from rice bran. *Cereal Chem.* 71: 409-411.
- Lee J., Kim M., Choe E. 2004. Effects of carrot powder in dough on the lipid oxidation and carotene content of fried dough during storage in the dark. *Journal of Food Science.* 69: C411-C414.
- Lerma-García M. J., Herrero-Martinez J. M., Simó-Alfonso E. F., Mendoca C. R. B., Ramis-Ramos G. 2009. Composition, industrial processing and applications of rice bran γ -oryzanol. *Food Chemistry.* 115: 389-404.
- Lesage-Meessen, L., Lomascolo, A., Bonnin, E., Thibault, J.F., Buleon, A., Roller, M., Asther, M., Record, E., Ceccaldi, B.C., Asther, M. 2002. A biotechnological process involving filamentous fungi to produce natural crystalline vanillin from maize bran. *Appl. Biochem. Biotechnol.* 102-103, 141-153.
- Lesage-Meessen, L., Stentelaire, C., Lomascolo, A., Couteau, D., Asther, M., Moukha, S., Record, E., Sigoillot, J.C., Asther, M. 1999. Fungal transformation of ferulic acid from sugar beet pulp to natural vanillin. *J. Sci. Food Agric.* 79: 487-490.
- Lichtenstein, A. H., Ausman, L. M., Carrasco, W., Gualtieri, L. J., Jenner, J. L., Ordovas, J. M., Nicolosi, R. J., Goldin, B. R. Schaefer, E. J. 1994. Rice bran oil consumption and plasma lipid levels in moderately hypercholesterolemic men. *Arterioscler. Thromb.* 14: 549-556.
- Liu R. H. 2003. Health benefits of fruit and vegetables are from additive and synergistic combinations of phytochemicals. *American Journal of Clinical Nutrition.* 78: 517S-520S.
- López L. D., Rodríguez L. 2009. Estudio del efecto de la variedad de arroz y la etapa de pulido en la calidad nutricional del SA. Investigación realizada dentro del Proyecto: Desarrollo de procesos para la valorización de subproductos de la industria arrocera.
- Lorigan P., Lee S. M., Betticher D., Woodhead M., Weir D., Hanley S., *et al.* 1995. Chemotherapy with vincristine/ifosfamide/carboplatin/etoposide in small cell lung cancer. *Semin Oncol.* 22(3 Suppl 7):32-41.
- Lupo M. P. 2001. Antioxidants and vitamins in cosmetics. *Clin. Dermatol.* 19: 467-473.
- Marty M., Mignot L., Gisselbrecht G., Morvan F., Gorins A., Boiron M. 1985. Teratogenic and mutagenic risks of radiotherapy: when and how to prescribe contraception. *Contracept Fertil Sex (Paris)* 13(Suppl 1):181-6.
- Mayamol, P.N., Samuel, T., Balachandran, C., Sundaresan, A., Arumughan, C., 2004. Zero trans shortening using palm stearin and rice bran oil. *J.A.O.C.S.* 81 (4), 407-413.
- Mehta U., Swinburn B. 2001. A review of factors affecting fat absorption in hot chips. *Critical Review Food Science Nutrition.* 41: 133-154.

- Mevacor (lovastatin, MSD), West Point, PA: Merck Sharp and Dohme; US package circular (July 1990).
- Mills K. H., Grealley J. F., Temperley I. J., Mullins G. M. 1980. Haematological and immune suppressive effects of total body irradiation in the rat. *Ir J Med Sci.* 149(5):201-8.
- Mock D. M. 1996. Biotin, en: Ziegler E. E., Filer L. J. Eds. *Present Knowledge in Nutrition, Seventh Ed.*, ILSI Press., Washington DC. 220-235.
- Monner-Weir S., Smith E. S. 1994. Islets of langerhans: Morphology and its Implications, en: Kahn C. R., Gordon C. W. Eds. *Joslin's Diabetes Mellitus 13th Edition*, Lea and Feboger. A Waverly Company. Philadelphia. 15-26.
- Morita K., Hamamura K., Iida T. 1995. Binding of PCB by several types of dietary fiber in vivo and vitro. *Fukuoka Acta Med.* 86: 212-7.
- Morita T., Oh-Hashi A., Takei K., Ikai K., Kasaoka M., Kiriyaama, S. 1997. Cholesterol lowering effects of soybean, potato and rice proteins depend on their low methionine contents in rats fed a cholesterol-free purified diet. *Journal of Nutrition.* 127: 470-477.
- Moure A., Cruz J. M., Franco D., Dominguez J. M., Sineiro J., Dominguez H., *et al.* 2001. Natural antioxidants from residual sources. *Food Chemistry.* 72: 145-171.
- Muheim, A., Lerch, K. 1999. Towards a high-yield bioconversion of ferulic acid to vanillin. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 51: 456-461.
- Nakamura, H. 1967. Effect of γ -oryzanol on hepatic cholesterol biosynthesis and fecal excretion of cholesterol metabolites. *Radioisotopes* 15: 371-374.
- Nam S. H., Choi S. P., Kang M. Y., Kho H. J., Kozukue N., Griedman M. 2006. Antioxidative activities of bran extracts from twenty one pigmented rice cultivars. *Food Chemistry.* 94: 613-620.
- Nam S. H., Choi S. P., Kang M. Y., Koh H. J., Kozukue N., Friedman M. 2005. Bran extracts from pigmented rice seeds inhibit tumor promotion in lymphoblastoid B cells by phorbol ester. *Food and Chemical Toxicology.* 43: 741-745.
- Nam, S. H., Choi, S. P., Kang, M. Y., Koh, H. J., Kozukue, N., & Friedman, M. 2006. Antioxidant activities of bran extracts from twenty one pigmented rice cultivars. *Food Chemistry*, 94, 613-620.
- Namiki, M. 1990. Antioxidants/antimutagens in food. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition.* 29: 273-300.
- Nanua J. N., McGregor J. U., Godber J. S. 2000. Influence of high-oryzanol RBO on the oxidative stability of whole milk powder. *Journal of Dairy Science.* 83: 2426-2431.

- National Research Council Committee on Diet and Health. 1989. Diet and Health: implications for reducing chronic disease risk. Washington (DC): National Academy of Science Press.
- Ni W., Tsuda Y., Takashima S., Sato H., Sato M., Imaizumi K. 2003. Antiatherogenic effect of soya and rice-protein isolate, compared with casein, in apolipoprotein E-deficient mice. *British Journal of Nutrition*. 90:13-20.
- Nicolosi R. J., Ausman L. M., Hegsted D. M. 1991. Rice bran oil lowers serum total and low density lipoprotein cholesterol and apo B levels in nonman primates. *Atherosclerosis*. 88: 133-42.
- Nicolosi R. J., Rogers E. J., Ausman L. M., Orthoefer F. T. 1994. En Marshall W., Wadsworth J. I. Eds. Rice bran oil and its health benefit-rice science and technology (pp. 350-421). New York: Marcel Dekker.
- NutraCea. 2008. Rice bran isolate: the alternative for soy protein?. Hoogenkamp. The Netherlands. En línea. (Consultado en Agosto de 2009): Disponible en http://www.agriworld.nl/public/file/pdf/20081126-20_ppm_ricebran.pdf
- Nystrom L., Achrenius T., Lampo A. M., Moreau R. A., Piiromen V. 2007. A comparison of the antioxidant properties of steryl ferulates with tocopherol at high temperature. *Food Chemistry*. 101: 947-954.
- Nystrom L., Makinen M., Lampi A. M., Piiromen V. 2005. Antioxidant activity of steryl ferulate extract from rye and wheat bran. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 53: 2503-2510.
- Observatorio Agro cadenas Colombia, Febrero, 2004 <http://www.agrocadenas.gov.co>
- Observatorio Agrocadenas, 2005. La cadena del arroz en Colombia. Documento 52.
- Ohkawa T., Ebisuno S., Kitagawa M., Morimoto S., Miyazaki Y., Yasukawa S. 1984. Rice bran treatment for patients with hypercalciuric stones: experimental and clinical studies. *J Urol*. 132: 1140-5.
- Ozer N. K., Palloza P., Boscoboinik D. 1993. d- α -Tocopherol inhibit LDL- induced proliferation and protein kinase C-activity in vascular smooth muscle cells, *Fed. Europ. Biochem. Sci. Lett*. 322: 307-310.
- Pacheco de Delahaye E., Jimenez P., Perez E. 2005. Effect of enrichment with high content dietary fiber stabilized rice bran flour on chemical and functional properties of storage frozen pizzas. *Journal of Food Engineering*. 68: 1-7.
- Pacheco E., Peña J., Ortíz A. 2001. Composición fisicoquímica del aceite del SA estabilizado por calor. *Agronomía Tropical* 52(2):173-185
- Pacheco-Delahaye J., Peña. 2006. Efecto del SA sobre parámetros químicos,
- Packer, L. 1995. Nutrition and biochemistry of the lipophilic antioxidants, vitamin E and carotenoids. In *Nutrition, lipids, health, and disease* (pp. 8-35). Champaign,

- IL (USA): AOCS Press.
- Parker R. A., Pearce B. C., Clark R. W., Gordon D. A., Wright J. J. K. 1993. Tocotrienols regulate cholesterol production in mammalian cells by post-transcriptional suppression of 3-hydroxy-3-methylglutaryl coenzyme A reductase. *J Biol Chem.* 268: 11230-8.
- Parrado J., Miramontes E., Jover M., Gutierrez J. F., Collantes de Terán L., Bautista J. 2006. Preparation of a rice bran enzymatic extract with potential use as functional food. *Food Chemistry.* 98: 742-748.
- Parrado, J., Miramontes, E., Jover, M., Gutierrez, J. F., Collantes de Terán, L., Bautista, J. 2006. Preparation of a rice bran enzymatic extract with potential use as functional food. *Food Chemistry*, 98, 742–748.
- Penna E., Serrano L., Bunger A., Soto D., Lopez L., Hernández N., Ruales J. 2002. Optimización de una formulación de espaguetis enriquecidas con fibra dietética y macronutrientes para el adulto. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición.* 52 (1): 91-99.
- Peterson D. B. 1985. New perspective, en: AR Leeds (Ed.), *Dietary fiber perspectives*, John Libbey, London. 47-60.
- Pomeranz, Y. 1985. *Functional properties of food components*. New York: Academic Press, Inc.
- Prakash, J. 1996. Rice bran proteins: Properties and food uses. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 36, 537–552.
- Prakash, J., & Ramanathan, G. 1995. Physico-chemical and nutritional traits of rice bran protein concentrate-based weaning foods. *Journal of Food Science and Technology*, 32, 395–399.
- Priefert, H., Rabenhorst, J., Steinbuchel, A. 2001. Biotechnological production of vanillin. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 56: 296–314.
- Qureshi A. A., Saad A. S., Khan F. A. 2002. Effects of stabilized rice bran, its soluble and fiber fractions on blood glucose levels and serum lipid parameters in humans with diabetes mellitus Types I and II. *The Journal of Nutritional Biochemistry.* 13: 175-187.
- Qureshi A. A., Sami S. A., Salser W. A., Khan F. A. 2002. Dose-dependent suppression of serum cholesterol by tocotrienol-rich fraction (TRF₂₅) of rice bran in hypercholesterolemic mans. *Atherosclerosis.* 161: 199–207.
- Qureshi A. A., Sami S. A., Salser W. A., Khang F. A. 2001. Synergistic effect of tocotrienols-rich fraction (TRF₂₅) of rice bran and lovastatin on lipid parameters in hypercholesterolemic mans. *Journal of Nutritional Biochemistry.* 12: 318-329.
- Qureshi A.A., Lane R.H., Salser A.W. Tocotrienols and tocotrienollike compounds and

- method for their use, US Patent 5,919,818, (July 6, 1999).
- Qureshi A.A., Mo H., Packer L., Peterson D.M. 2000. Isolation and identification of novel tocotrienols from rice bran with hypocholesterolemic, antioxidant, and antitumor properties. *J. Agr. Food Chem.* 48: 3130–3140.
- Qureshi N., Qureshi A.A. Novel hypercholesterolemic agents with antioxidant properties, In: *Vitamin E in Health and Disease* (L. Packer, J. Fuchs eds.) Marcel Dekker, Inc., New York, 1993, NY 247–267.
- Qureshi, A. A., Bradlow, B. A., Salser, W. A., & Brace, L. D. 1997. Novel tocotrienols of rice bran modulate cardiovascular disease risk parameters of hypercholesterolemic mans. *Journal of Nutritional Biochemistry*, 8, 290–298.
- Ragram T. C., Brajmaji R. U., Rukmini C. 1989. Studies on hypolipidemic effects of dietary rice bran oil in man subjects. *Nutr Rep Int.* 39: 889-95.
- Reddy B. S., Maeura Y., Wayman M. 1983. Effect of dietary corn bran and autohydrolyzed lignin on 3,2'-dimethyl-4-aminobiphenyl induced intestinal carcinogenesis in male F344 rats. *J Natl Cancer Inst.* 71:419-23.
- Reinhold J. G., García J. S., Garzon P. 1981. Binding of iron by fiber of wheat and maize. *Am J Clin Nutr.* 34:1384-91.
- Reiser S. 1979. Effects of dietary fiber on parameters of glucose tolerance in mans, en: Inglett G. E., Falkehag, (Eds.), *Dietary fibers: chemistry and nutrition*, Academic Press, New York. 173-191.
- Reshma M.V., Saritha S.S., Balachandran C., Arumughan C. 2008. Lipase catalyzed interesterification of palm stearin and rice bran oil blends for preparation of zero trans shortening with bioactive phytochemicals. *Bioresource Technology.* 99: 5011–5019.
- Rindi G. T. 1996. In *Present Knowledge in Nutrition*, en: Ziegler E. E., Filer L. J. Eds. Seventh Ed., ILSI Press, Washington, DC. 160-166.
- Rogers E. J., Rice S. M., Nicolosi R. J., Carpenter D. R., McClelland C. A., Romancyk L. J. 1993. Identification and quantitation of γ -oryzanol components and simultaneous assessment of tocols in rice bran oil. *Journal of the American Oil Chemists Society.* 70 (3): 301-307.
- Rong, N., Ausman L. M., Nicolosi R. J. 1997. Oryzanol decrease cholesterol absorption and aortic fatty streaks in hamsters. *Lipids.* 32: 303-309.
- Rovellini, P., Azollini M., Cortesi, N. 1997. Tocoferolie tocotrienoli in oli e grassi vegetali mediante HPLC. *Riv. Ital. Sostanze Grasse LXXIV*: 1-5.
- Rukmini C., Bioactive in rice bran and rice bran oil, en: Bidlack S. T., Omaye M. S., Meskin D. K. W., Topham. 2000. (Eds.). *Phytochemicals as Bioactive Agents*, Technomic Publishing Company, Inc. 851 New Hooland Avenue, Box 3535,

- Lancaster, Pennsylvania. 213-240.
- Rukmini, C.; Ragram, C. C. 1991. Nutritional and biochemical aspects of the hypolipidemic action of rice bran: a review. *J. Am. Coll. Nutr.* 10, 593-601.
- Sanderson B. J., Ferguson L. R., Denny W. A. 1996. Mutagenic and carcinogenic properties of platinum-based anticancer drugs. *Mutat Res.* 355(1/2):59-70
- Santin A. D., Hermonat P. L., Ravaggi A., Bellone S., Roman J., Pecorelli S., *et al.* 2000. Effects of concurrent cisplatin administration during radiotherapy vs. radiotherapy alone on the immune function of patients with cancer of the uterine cervix. *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 48(4):997-1006.
- Saudek C. D., Eder H. A. 1979. Lipid metabolism in diabetes mellitus. *Am J Med.* 66: 843-852.
- Saunders R. M. 1990. The properties of rice bran as a food stuff. *Cereal Food World.* 35: 632-636.
- Saunders, R. M. 1986. Rice bran: Composition and potential food uses. *Food Reviews International*, 1, 465-495.
- Seeram N. P., Zhang Y., Nair M. G. 2003. Inhibition of proliferation of man cancer cells and cyclooxygenase enzymes by anthocyanidins and catechins. *Nutrition and Cancer.* 46: 101-106.
- Seetharamaiah, G. S. Chandrasekhara, N. 1989. Studies on hypocholester olemic activity of rice bran oil. *Atherosclerosis* 78: 219-223.
- Seetharamaiah, G. S., & Chandrasekhara, N. 1988. Hypocholesterolemic activity of oryzanol in rats. *Nutrition Reports International*, 38, 927-935.
- Shamsuddin A. M. 2002. Anti-cancer function of phytic acid. *International Journal Food Science Technology.* 37: 769-82.
- Shamsuddin A. M., Ullah A. 1989. Inositol hexaphosphate inhibits large intestine cancer in F344 rats 5 months after induction by azoxymethane. *Carcinogenesis.* 10:625-6.
- Shamsuddin A. M., Ullah A., Chakravarthy A. 1989. Inositol and inositol hexaphosphate suppress cell proliferation and tumor formation in CD-1 mice. *Carcinogenesis.* 10: 1461-3.
- Shamsuddin A. M., Vucenik I. 1999. Mammary tumor inhibition by IP 6: a review. *Anticancer Research.* 19:3671-4.
- Shamsuddin A. M., Yang G. Y. 1995. Inositol hexaphosphate inhibits growth and induces differentiation of PC-3 man prostate cancer cells. *Carcinogenesis.* 16:1975-9.
- Shand P. 2000. Textural, water holding, and sensory properties of low-fat pork bologna with normal and waxy starch hull-less barley. *Journal of Food Science.* 65: 101-107.

- Sharma R. D., Rukmini C. 1987. Hypocholesteromic activity of unsaponifiable fraction of rice bran oil. *Indian J. Med. Res.* 85: 278-81.
- Sharma S. C. 1981. Gums and hydrocolloids in oil-water emulsion. *Food Tech.* 35(1): 59-67.
- Sheetharamaiah G. S., Chandrasekhara N. Hypocholesterolemic activity of oryzanol in rats. *Nutr. Rep. Int.* 38: 927-935.
- Singal P. K., Iliskovic N. 1999. Doxorubicin-induced cardiomyopathy. *N Engl J Med.* 339:900-5.
- Skurray G. R., Wooldridge D. A., Nguyen M., J. 1986. *Food Techn.* 21: 727-730.
- Sloan S., James C., *Lebensm.-Wiss.* 1988. *Technol.* 21: 245-247.
- Sltz T. D., Howie B. J. 1986. In vitro binding of steroid hormones by natural and purified fibers. *Nutr Cancer.* 8: 141-7.
- Spiller, G. A., Chernoff, M. C., Hill, R. A., Gates, J. E., Nassar, J. J., Shipley, E. A. 1980. Effect of purified cellulose, pectin and a low residue diet on fecal volatile fatty acids, transit time and fecal weight on mans. *Am J Clin Nutr.* 33: 754-759.
- Story J. A., Kritchevsky D. 1976. Comparison of the binding of various bile acids and bile salts in vitro by several types of fiber. *J. Nutr.* 106: 1292-4.
- Strauss G. M., Lynch T. J., Elias A. D., Jacobs C., Kwiatkowski D. J., Slman L. N., *et al.* 1995. A phase I study of ifosfamide/carboplatin/etoposide/paclitaxel in advanced lung cancer. *Semin Oncol* 22(4 Suppl 9):70-4.
- Sugano M., Tsuji E. 1997. Rice bran oil and cholesterol metabolism. *J. Nutr.* 127: 521S-524S.
- Suzuki, S. Oshima, S. 1970a. Influence of blending of edible fats and oils on man serum cholesterol level (Part 1). *Jpn. J. Nutr.* 28: 3-6, (Part 2). *Jpn. J. Nutr.* 28: 194-198.
- Ta C. A., Zee J. A., Destrosiers T., Marin J., Levallois P., Ayotte P., *et al.* 1999. Binding capacity of various fibre to pesticide residues under simulated gastrointestinal conditions . *Food Chem Toxicol.* 37: 1147-51.
- Tae-Youl H., Songyi H., Sung-Ran K., In-Hwan K., Hyun-Yu L., Hye-Kyeong K. 2005. Bioactive components in rice bran oil improve lipid profiles in rats fed a high-cholesterol diet. 25: 597-606.
- Tanaka K., Hayatsu T., Negishi T., Hayatsu H. 1998. Inhibition of N-nitrosation of secondary amines in Vitro by tea extracts and catechins. *Mutat Res.* 412:91-8.
- Tang S., Hettiarachchy N. S., Horax R., Eswaranandam S. 2003. Physicochemical properties and functionality of rice bran protein hydrolyzate prepared from heat-stabilized defatted rice bran with the aid of enzymes. *Journal of Food Science.*

- 68: 152-157.
- Taniguchi H. 1995. Antioxidative effect of rice bran extract Antioxidative effect of ferulic acid. *Food Chem.* 11:54–8.
- Tarrago-Trani, M.T., Phillips, K.M., Lemar, L.E., Holden, J.M., 2006. New and existing oils and fats used in products with reduced trans fatty acid content. *Review J. Am. Diet. Assoc.* 106 (6), 867– 878.
- Thebaudin J. Y., Lefebvre A. C., Harrington M., Bourgeois C. M. 1997. Dietary fibers: Nutritional and technological interest. *Trends in Food Science and Technology.* 8(2): 41-48.
- Theriault A., Chao J., Wang Q., Gapor A., Adeli K. 1999. Tocotrienol: a review of its therapeutic potential. *Clin Biochem.* 32: 309-19.
- Thompson L. U. 1993. Potential health benefits and problems associated with antinutrients in foods. *FoodResearch International.* 26:131–49.
- Tomlin, J., & Read, N. W. 1988. Comparison of the effects on colonic function caused by feeding rice bran and wheat bran. *European Journal of Clinical Nutrition,* 42, 857–861.
- Tousoulis D., Böger R. H., Antoniades C., Siasos G., Stefanadis E., Stefanadis C. 2007. Mechanisms of disease: L-arginine in coronary atherosclerosis – A clinical perspective. *Nature Clinical Practice. Cardiovascular Medicine.* 4: 274–283.
- Tran L., Nicolosi R. J. 1997. Comparative effects of soy and rice protein concentrate on plasma lipoprotein levels and early atherosclerosis in hamsters. *FASEB J.* 11: (A152):884.
- Truswell S. 1995. Dietary fiber and blood lipids. *Curr Opin Lipidol.* 6: 14-9.
- Tsuji H., Kimoto M., Natori Y. 2001. Allergens in major crops. *Nutrition Research,* 21: 925 934.
- Turgut H., Varol M., Uygun M., Er R. 1981. Studies on determining of the emulsion capacity of beef, buffalo, lamb and goat meats between different oil and fats. Gebze, Turkey: The Scientific and Technological Research Council of Turkey Marmara Scientific and Industrial Research Institute, Press.
- Vahouny G. V., Tombes R., Cassidy M. M., Kritchevsky D., Gallo L. L. 1980. Dietary fibers: binding of bile salts, phospholipids and cholesterol from mixed micelles by bile acid sequestrers and dietary fibers. *Lipids.* 15: 1012-8.
- Vanstone, C. A., Sarjaz, M. R., & Jones, P. J. H. 2001. Injected phytosterols/ stanols suppress plasma cholesterol levels in hamsters. *Journal of Nutritional Biochemistry,* 12, 565–574.
- Verghese M., Rao D.R., Chawan C.B., Walker L. T., Shackelford L. 2006. Anticarcinogenic effects of phytic acid(IP6): apoptosis as a possible mechanism

- faction. *Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie*. 39:1093–8.
- Vikse R., Mjelva B. B., Klungsoyr L. 1992. Reversible blinding of the cooked food mutagen MeIQx to lignin-enriched preparations from wheat bran. *Food Chem Toxicol*. 30: 239-46.
- Vucenik I., Podczasy J. J., Shamsuddin A. M. 1999. Antiplatelet activity of inositol hexaphosphate (IP6). *Anticancer Res*. 19: 3689.
- Wada, S., Satomi, Y., Murakoshi, M., Noguchi, N., Yoshikawa, T., & Nishino, H. 2005. Tumor suppressive effects of tocotrienol in vivo and in vitro. *Cancer Letter*, 229, 181–191.
- Wang, M., Hettiarachchy, N. S., Qi, M., Burks, W., & Siebenmorgen, T. 1999. Preparation and functional properties of rice bran protein isolates. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47, 411–416.
- Wang, M., Hettiarachchy, N. S., Qi, M., Burks, W., Siebenmorgen, T. 1999. Preparation and functional properties of rice bran protein isolate. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47, 411–416.
- Wattenberg L. W., Estensen R. D. 1996. Chemopreventive effects of myoinositol and dexamethasone on benzo(a)pyrene and 4-(methyl-nitrosoamino)-1-(3-pyridyl)-1-butanone-induced pulmonary carcinogenesis in female A/J mice. *Cancer Res*. 56: 5132.
- Weber C., Podda M., Rallis M., *et al.* 1997. Efficacy of topically applied tocopherols and tocotrienols in protection of murine skin from oxidative damage induced by UV-irradiation. *Free Rad. Biol. Med.* 22: 761.
- Weber C., Podda M., Rallis M., *et al.* 1997. Efficacy of topically applied tocopherols and tocotrienols in protection of murine skin from oxidative damage induced by UV-irradiation. *Free Rad. Biol. Med.* 22: 761.
- Whysner J., Wang C. X., Zang E., Iatropoulos M. J., Williams G. M. 1994. Dose response of promotion by butylated hydroxyanisole in chemically initiated tumors of the rat fore stomach. *Food and Chemical Toxicology*. 32: 215-222.
- Williams G. M., Iatropoulos M. J., Whysner J. 1999. Safety assessment to butylated hydroxyanisole and butylated hydroxytoluene as antioxidant food additives. *Food and Chemical Toxicology*. 37: 1027-1038.
- Wilpart M., Roberfroid M. 1987. Intestinal carcinogenesis and dietary fibers: the influence of cellulose or Fybogel chronically given after exposure to DMH. *Nutr Cancer*. 10: 39-51.
- Wilson T. A., Ausman L. M., Lawton C. W., Hegsted D. M., Nicolosi R. J. 2000. Comparative cholesterol lowering properties of vegetable oils: Beyond fatty acids. *J Am Coll Nutr*. 19: 601-7.

- Wilson, T. A., Idreis, H. M., Taylor, C. M., Nicolosi, R. J. 2002. Whole fat rice bran reduces the development of early aortic atherosclerosis in hypercholesterolemic hamsters compared with wheat bran. *Nutrition Research*, 22, 1319–1332.
- Wrick, K. L., Robertson, J. B., Van Soest, P. J., Lewis, B. A., Rivers, J. M., Roe, D. A., Hackler, L. R. 1983. The influence of dietary fibre source on man intestinal transit and stool output. *J Nutr*, 113: 1464-1479.
- Xu Z., a N., Godber J. S. 2001. Antioxidant activity of Tocopherols, tocotrienols, and coryzanol components from rice bran against cholesterol oxidation accelerated by 2,2-azobis(2 methyl propionamide)dihydrochloride. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 49: 2077–2081.
- Yamagishi, T., Tsuboi, T., & Kikuchi, K. 2003. Potent natural immunomodulator, rice water-soluble polysaccharide fractions with anticomplementary activity. *Cereal Chemistry*, 80, 5–8.
- Yapar A., Atay S., Kayacier A., Yetim H. 2006. Effects of different levels of salt and phosphate on some emulsion attributes of the common carp (*Cyprinus carpio* L., 1758). *Food Hydrocolloids*. 20: 825-830.
- Yasukawa K., Akihisa T., Kimura Y., Tamura T., Takido M. 1998. Inhibitory effect of cycloartenol ferulate, a component of rice bran, on tumor promotion in twostage carcinogenesis in mouse skin. *Biol Pharm Bull*. 21:1072–6.
- Yoshino G., Kazumi T., Amano M., Tateiwa M., Yamasaki T., Takashima S., Iwai M., Hatanaka H., Baba S. 1989. Effects of gamma-oryzanol on hyperlipidemic subjects. *Curr. Theor. Res. Clin. Exp*. 45: 543-552.
- Zheng L., Zheng P., Sun Z., Bai Y., Wang J., Guo X. 2006. Production of vanillin from waste residue of rice bran oil by *Aspergillus niger* and *Pycnoporus cinnabarinus*. *Bioresource Technology*. 98: 1115-1119.
- Zorba O., Gokalp H. Y., Yetim H., Ockerman H. W. 1993. Salt, phosphate and oil temperature effects on emulsion capacity of fresh or frozen meat and sheep tail fat. *Journal of Food Science*. 58: 492-496.

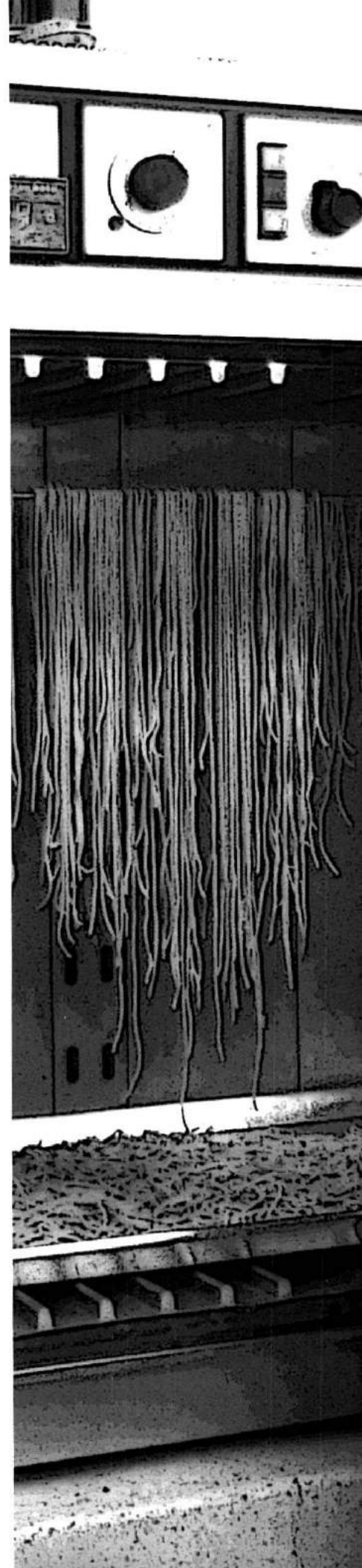
CAPÍTULO 5

ELABORACIÓN DE PRODUCTOS ALIMENTICIOS CON SALVADO DE ARROZ ESTABILIZADO

Elaboración de pastas alimenticias y pan
con salvado de arroz estabilizado.

Autores

Nancy Liliana Cobos
Victoria Eugenia Avendaño



INTRODUCCIÓN

La demanda de alimentos que aportan beneficios a la salud ha crecido en los últimos años y en esta dirección el SA, utilizado generalmente en la elaboración de comida para animales, puede convertirse en una materia prima de gran valor al poder ser utilizada como fuente de nutrientes importantes, aportando gran contenido de fibra (20%), proteína (13%) y grasas insaturadas de tipo omegas (10%) (Observatorio Agrocadenas, 2005; Induarroz, 2007; Sangronis & Rebolledo, 1997). Ya que el SA estabilizado muestra gran versatilidad como suplemento en alimentos, el pan y la pasta alimenticia por su reconocimiento entre los consumidores, permite realizar estudios sobre el tema.

En Colombia el llamado pan de arroz se elabora a partir de harina de arroz partido y no de SA (Espinal *et al.*, 2005). No obstante, la harina de arroz no tiene las mismas características de volúmen y textura que la harina de trigo (*Triticum durum*) (Clerici & El-Dash, 2006), por eso, cuando esta harina sin gluten se mezcla no forma una masa de fase continua y no produce un pan de buena calidad (Ranhotra *et al.*, 1975); además, esta harina no contiene las características nutricionales y funcionales de la harina de SA

El objetivo de este trabajo fue estudiar la influencia del SA al mezclarlo con harina de trigo y producir una nueva harina que fuera panificable para la elaboración de pan integral (factibilidad técnica), mejorar el contenido nutricional de este y buscar nuevos usos potenciales al SA estabilizado colombiano.

Por otra parte, en Colombia el consumo de pasta tan solo alcanza los 3 kg per cápita al año. La pasta en el país suele incluirse como acompañante al lado del arroz o como ingrediente en las sopas en los estratos más bajos (1 y 2), y en los estratos más altos (4 y 5) como plato fuerte (Observatorio Agrocadenas, 2005).

El mercado de las pastas representa cerca de \$10.000 millones al año; el mercado masivo es de cerca del 93% (ProChile, 2005) Las empresas, buscando impulsar la demanda, han reducido las presentaciones para acomodarse al bolsillo del consumidor y están reforzando sus canales de distribución (ProChile, 2005).

El propósito de este estudio, es entonces, aprovechar las propiedades de este subproductos de la industria arrocera (SA) para incorporarlo en niveles de mezcla del 10, 15 y 20% en la elaboración de pastas alimenticias de tipo integral, aumentando los niveles de proteína y fibra; con lo cual se obtendrá un alimento con mayor valor nutricional y beneficios económicos para el consumidor, ya que podría disminuirse su precio adquisitivo.

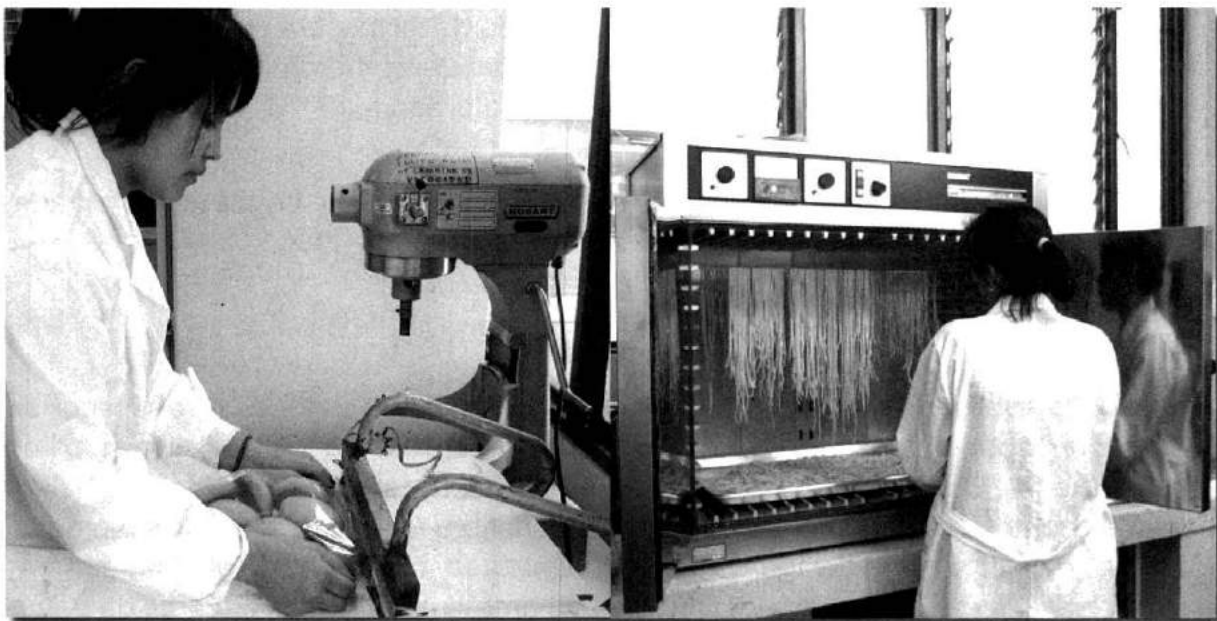
Se han realizado varios estudios alrededor del mundo sobre la inclusión de SA en la formulación de productos alimenticios. En Venezuela, al elaborar arepa o pan de maíz (*Zea mays*), con dicho ingrediente se observó un incremento en el contenido de grasa (0,69% a 1,9%); fibra dietética total (1,62% a 4,6%), cenizas y lisina disponible (1,8 a 2,2 g/ 100 g de proteína) (Pacheco & Pena, 2006).

Otros investigadores evaluaron la fritura de arepas y empanadas elaboradas con carboximetilcelulosa (CMC) y SA estabilizado a fin de reducir la absorción de aceite. En este estudio se obtuvo variación en humedad (58,5 a 45,7%), grasa cruda (1,95 a 3,27%), proteínas (8,44 a 9,45%) y fibra dietética total (2,39 a 4,57%).

El perfil de textura en las arepas fritas fue mejor para las que contenían SA que aquellas con CMC ya que estas últimas mostraron textura rígida en dureza de la concha, dureza de la miga, adhesividad, masticabilidad y elasticidad (Tovar & Lumidla, 2004).

Sangronis & Rebolledo (1997) lograron elaborar pastas alimenticias partiendo con un 10% de inclusión de SA en su formulación, estas pastas fueron calificadas por el panel sensorial como las de mejor calidad en comparación con aquellas elaboradas solamente con sémola de trigo, las cuales fueron catalogadas como las más duras. Los resultados de este estudio demostraron que es posible elaborar pastas hasta con el 20% de salvado en su formulación, dando como resultado un producto con alto contenido en proteínas, ceniza y fibra dietaria.

Para el año 2019, Induarroz (entidad que agremia al sector arrocero) tiene como meta incrementar el consumo per cápita de arroz de 38 a 80 kg, así como el 40% de los ingresos en la industria se generen por cuenta de nuevos productos distintos al arroz blanco y que el 10% tengan origen en las exportaciones (Fedearroz, 2006; Espinal *et al.*, 2005). Una alternativa para cumplir esta meta es mejorar el valor comercial del SA.



Gráfica 47. Elaboración de pan y pastas alimenticias con SA

EVALUACIÓN DE UNA HARINA DE TRIGO (*Triticum durum*) Y SALVADO DE ARROZ COLOMBIANO (*Oryza sativa*) PARA PANIFICACIÓN

La incorporación de SA en harinas destinadas a panadería ha sido exitosamente aplicada en niveles bajos de mezcla. La nueva harina para panificación presenta mejores propiedades nutricionales, si se tiene en cuenta que el SA es una buena fuente de fibra dietética, proteínas y ácidos grasos insaturados. En este estudio se evalúan mezclas harina de trigo/SA en proporciones 95/5, 90/10 y 85/15.

MATERIALES Y MÉTODOS

Características del salvado de arroz

Arroz paddy seco procedente de los molinos industriales de Arroz Supremo del Tolima (Espinal, Colombia) fue descascarillado y pulido (molino de arroz GranEl®) simulando estrictamente las condiciones industriales para obtener salvado. Inmediatamente, se utilizó la técnica de estabilización con calor húmedo (vapor saturado) para estabilizar el producto.

Estabilización del salvado

El SA fue distribuido en bandejas de 250 g cada una de tal manera que la profundidad de estas no fuera superior a 2 cm. Luego, estas bandejas fueron introducidas en un autoclave (Vertical Pselecta®) provisto de vapor saturado a 121°C por un tiempo de 30 minutos.

Posteriormente, el SA estabilizado fue secado (secador por convección forzada, MLW®) a 40 °C hasta llegar a una humedad de entre 8,7% y 11%.

Diseño experimental

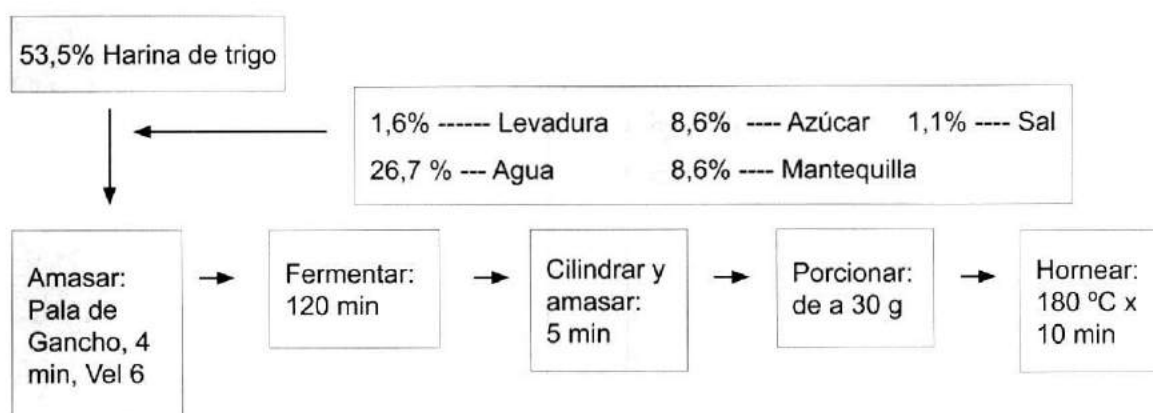
Se fijaron 3 niveles de mezcla y un blanco (100% harina de trigo). El nivel inferior de mezcla correspondió al 5% de SA, un nivel medio del 10% de SA y un nivel máximo del 15% de SA. Considerando como variables de respuesta los cambios en el análisis proximal (contenido de humedad, proteína, grasa, fibra y ceniza), el análisis reológico (porcentaje de absorción de agua, tiempo de amasado, contenido de gluten, retrogradación del almidón, fuerza para desarrollar alfa amilasas en la masa, fuerza de deformación de los panes y tiempo de fermentación para cada mezcla), en las características esenciales (volumen específico de los panes, colorimetría de las harinas, de la corteza del pan y de la miga) y en el análisis sensorial de los panes (prueba hedónica de 5 puntos).

Condiciones de proceso

Con el fin de atribuir los resultados de las variables de respuesta solamente a los niveles de mezcla trigo-salvado y no a las variables de fabricación del pan se consideraron como fijas las siguientes condiciones:

Elaboración

Se estandarizó la elaboración por un panadero experto (gráfica 48), manejando siempre las mismas condiciones de amasado (63 rpm), crecimiento (tiempo establecido experimentalmente por las curvas de fermentación) y horneado (180 °C por 10 minutos).



Gráfica 48. Diagrama de bloques de la formulación estándar para la preparación del pan.

Condiciones de amasado

Se hicieron mezclas de SA con harina de trigo obtenida del molino Capri® ubicado en Madrid, Cundinamarca. Se estableció para la preparación de las mezclas una velocidad de 63 rpm por 4 min en la mezcladora Kitchen Aid® con paleta plana; esta condición se mantuvo constante en la preparación de todas las mezclas.

Crecimiento

Se fijaron los siguientes tiempos de fermentación por mezcla (tabla 67):

Tabla 67. Tiempos fijados experimentalmente para la fermentación de las mezclas.

Tiempo (min)	Régimen de mezcla
122	100% Trigo
117	5% Salvado + 95% Trigo
109	10% Salvado + 90% Trigo
85	15% Salvado + 85% Trigo

Análisis de muestra

Análisis proximal. Se realizó la caracterización individual del SA y de las mezclas con harina de trigo determinando el porcentaje de humedad, proteína, grasas, fibra y ceniza.

Humedad. Se utilizó el equipo de referencia Metler Toledo HB43S®. Se tomó un peso entre 2,6 y 3,6 g a temperatura de aproximadamente 78°C. La humedad se reporta en g agua/100 g de muestra seca.

Proteína. Se empleó el método Kjeldahl, el cual permite la estimación del contenido de nitrógeno total, y se utilizó como referencia la AOAC (Association of Official Analytical Chemist), método 945.18-B modificado. Los resultados se expresaron en g proteína/100 g de muestra seca.

Grasa. Se utilizó el método Soxhlet establecido por la AOAC método 981.12. Los resultados se expresaron en g de grasa/100 g de muestra seca.

Fibra. Se usó como referencia el método 985.29 de la AOAC, aplicado sobre muestras secas desengrasadas. Los resultados se expresaron en g de fibra dietética/100 g de muestra seca desengrasada.

Cenizas. Se utilizó el método establecido por la norma técnica colombiana (NTC) 282. Los datos se expresaron en g/100 g de muestra seca.

Análisis reológico

Se realizó la caracterización individual de la harina de trigo y de las mezclas con SA mediante la prueba Mixolab determinando:

- ✓ *Porcentaje de absorción de agua* que influye en el rendimiento de la formación de la masa.
- ✓ *Tiempo de amasado* que representa la resistencia que presenta la harina al amasado.
- ✓ *Contenido de gluten* que ofrece una idea sobre la fuerza de la proteína.
- ✓ *Retrogradación del almidón y Fuerza para desarrollar alfa-amilasas en la masa* que proporcionan información importante sobre la vida útil del producto.

Las anteriores pruebas fueron realizadas por Enzipan Laboratorios Ltda, en Bogotá, Cundinamarca.

Para la determinación de la *fuerza de deformación* de los panes elaborados a partir de las mezclas se utilizó el penetrómetro digital Chatillon modelo MTL50L®.

Finalmente, para establecer el *tiempo de fermentación* de las mezclas se tomaron 50 g de masa, se depositaron en una probeta plástica de 500 ml y se ajustó el

volumen inicial con un émbolo. Bajo condiciones de crecimiento se tomó cada 30 minutos el volumen desplazado hasta observar un volumen constante y a partir de la diferencia de volumen (ΔV) se determinó el tiempo de fermentación. Según Vargas & Haros (2009), en este tiempo la masa llega al 75% de su volumen máximo, nivel óptimo para que la levadura termine de desarrollar el volumen del pan en el proceso de horneado.

Características esenciales

Volumen específico de los panes. El parámetro fue medido por el método 10.05 de la AOAC en el cual se determinó el volumen del pan por medio del desplazamiento de semillas de ajonjolí en un recipiente cilíndrico.

Colorimetría. Se determinó en los diferentes niveles de mezcla, en la miga y en la corteza del pan elaborado a partir de estas mezclas. Se utilizó un colorímetro Konica Minolta® midiendo la luminosidad donde un valor igual a 100 quiere decir que la muestra es blanca y es más oscura cuando se acerca a 0.

Análisis sensorial del producto final

Se realizó un análisis sensorial utilizando una prueba hedónica de 5 puntos (Anzaldúa, 1994), tal como se muestra en la tabla 68:

Tabla 68. Puntos analizados en la prueba hedónica.

Le gusta mucho	2
Le gusta	1
Ni le gusta, ni le disgusta	0
Le disgusta	-1
Le disgusta mucho	-2

El análisis sensorial se llevó a cabo con un panel no entrenado de 70 personas, hombres y mujeres, de edades de entre 20 y 35 años, estudiantes y funcionarios de la Universidad Jorge Tadeo Lozano. Los parámetros de sabor, color y textura fueron evaluados por el panel.

Análisis estadístico

Los datos obtenidos fueron analizados mediante comparación entre tratamientos para la determinación de diferencias (ANOVA con significancia del 95% y test de Duncan), utilizando el software Statgraphics®. Todos los datos reportados corresponden al valor medio de tres mediciones realizadas sobre experimentos corridos por triplicado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis proximal

Caracterización del salvado de arroz estabilizado

A continuación se aprecia en la tabla 69 que a pesar del proceso térmico de estabilización, el contenido proximal en el salvado es significativo, este es un factor importante ya que dicho contenido mejora el valor nutricional de las harinas y el producto terminado, además de esto, se logra la obtención de un producto funcional, teniendo en cuenta que la fibra dietética tiene como característica mejorar la ingesta intestinal.

Tabla 69. Caracterización del SA.

Característica	Contenido (%)
Humedad	3,53 ± 0.24
Proteína	23,25 ± 1.87
Grasa	24,72 ± 0.62
Fibra Dietética	22,43 ± 0.18
Cenizas	10,41 ± 0.16

Contenido de humedad

El contenido de humedad entre los diferentes niveles de mezcla de SA y harina de trigo mostraron diferencia estadísticamente significativa. En la tabla 70, se puede observar que la humedad disminuye a medida que aumenta la cantidad de SA. Una baja humedad garantiza óptimas condiciones de almacenamiento al evitar el crecimiento microbiano, no obstante, afecta directamente la dureza al tacto del producto final ya que hace que pierda suavidad y flexibilidad (Calaveras, 2004).

Tabla 70. Contenido de humedad en las harinas con los diferentes niveles de mezcla de SA y harina de trigo.

Mezcla	Humedad g/100g de muestra seca
100% Harina de trigo	12,06 ± 0,02
5% SA + 95% Harina de trigo	11,63 ± 0,02
10% SA + 90% Harina de trigo	11,21 ± 0,02
15% SA + 85% Harina de trigo	10,78 ± 0,02

Contenido de proteína

El contenido de proteína entre las harinas muestra diferencia estadísticamente significativa. Teniendo en cuenta que el SA es una materia prima rica en albúminas y globulinas (Pacheco & Pena, 2006) y la harina de trigo está compuesta de proteínas como la gliadina y glutenina (Calaveras, 2004), en la tabla 71 se evidencia claramente un aumento de esta propiedad nutricional en la medida que aumenta el nivel de salvado en la mezcla dándole al producto un aporte importante de proteína y un valor nutricional de gran importancia.

Tabla 71. Contenido de proteína en las harinas con los diferentes niveles de mezcla de SA y harina de trigo.

Mezcla	Proteína g/100g de muestra seca
100% Harina de Trigo	14,99 ± 0,07
5% SA + 95% Harina de trigo	15,41 ± 0,02
10% SA + 90% Harina de trigo	15,82 ± 0,03
15% SA + 85% Harina de trigo	16,23 ± 0,02

Contenido de grasa

El SA tiene un contenido de grasa aproximado del 25% mientras que la harina de trigo tiene un 6,69%. Como se observa en la tabla 72, en la medida que aumenta el contenido de SA en cada uno de los niveles de mezcla, el contenido de grasa aumenta, esto indica una mejora en las características organolépticas del pan ya que el contenido de grasa hace que el producto sea más suave, mejore el sabor y aroma (Calaveras, 2004).

Tabla 72. Contenido de grasa en las harinas con los diferentes niveles de mezcla de SA y harina de trigo.

Mezcla	Contenido grasa g/100g de muestra seca
100% Harina de trigo	6,69 ± 0,02
5% SA + 95% Harina de trigo	7,59 ± 0,02
10% SA + 90% Harina de trigo	8,49 ± 0,02
15% SA + 85% Harina de trigo	9,39 ± 0,04

A partir de estos resultados se puede afirmar que el SA se convierte para la industria panadera en una variable importante para mejorar el producto en sus características nutricionales y organolépticas puesto que esta materia prima contiene ácidos grasos como los omega 9, omega 6 y omega 3 (Kennedy & Burlingame, 2003).

Contenido de fibra dietética

La diferencia para el contenido de fibra dietética entre los distintos niveles de mezclas mostrado en la tabla 73 es estadísticamente significativa. Como se puede apreciar en la tabla 67, el SA es una materia prima que contiene un 22% de fibra dietética, esto hace que a medida que aumente la cantidad del subproducto en cada una de las mezclas el contenido de fibra igualmente aumente.

Tabla 73. Contenido de fibra dietética en las harinas con los diferentes niveles de mezcla de SA y harina de trigo.

Mezcla	Fibra Dietética g/100g de muestra seca
100% Harina de trigo	1,22 ± 0,12
5% SA + 95% Harina de trigo	2,27 ± 0,10
10% SA + 90% Harina de trigo	3,32 ± 0,12
15% SA + 85% Harina de trigo	4,38 ± 0,03

Contenido de cenizas

Las cenizas de los cereales contienen minerales esenciales para el cuerpo humano como el potasio, sodio y magnesio (Calaveras, 2004). La tabla 74 muestra un aumento significativo en el contenido de cenizas para cada nivel de mezcla a medida que se incrementa el contenido de salvado.

Según la NTC 267 para las harinas de panificación integrales, el máximo contenido de cenizas permisible es del 1,7% por lo tanto el nivel máximo de mezcla de SA para ser aplicado a la industria debe ser inferior al 15%.

Tabla 74. Contenido de cenizas en las harinas con los diferentes niveles de mezcla de SA y harina de trigo.

Mezcla	Cenizas g/100g de muestra seca
100% Harina de trigo	0,67 ± 0,00
5% SA + 95% Harina de trigo	1,16 ± 0,00
10% SA + 90% Harina de trigo	1,64 ± 0,03
15% SA + 85% Harina de trigo	2,13 ± 0,11

Análisis reológico

Porcentaje de absorción de agua

La absorción de agua se define como la cantidad de agua requerida para obtener una masa de consistencia óptima. Para los trigos de buena calidad en procesos de pani-

ficación, el porcentaje de absorción debe estar entre el 58 y 60% puesto que el nivel de esta agua está influenciado en la formación del gluten (Pérez, 1997).

Teniendo en cuenta que en los resultados de porcentaje de absorción de agua hubo diferencia significativa entre cada nivel de mezcla, se puede concluir que las harinas con 10 y 15% de SA pueden ser panificables. Con seguridad no desarrollarán el gluten como un pan normal, lo que afectará directamente la calidad y volumen del producto terminado, en comparación con el blanco y la harina que tiene el 5% de SA cuyos porcentajes de absorción son adecuados (ver tabla 75).

Tabla 75. Determinación del porcentaje de absorción de agua en las harinas con los diferentes niveles de mezcla de SA y harina de trigo.

Mezcla	Porcentaje de absorción (min)
100% Harina de trigo	60,0 ± 0,0
5% SA + 95% Harina de trigo	58,0 ± 0,0
10% SA + 90% Harina de trigo	55,0 ± 0,0
15% SA + 85% Harina de trigo	55,0 ± 0,0

Tiempo de amasado

El tiempo de amasado es el tiempo requerido para dar a la masa consistencia máxima. Una harina de calidad para pan requiere al menos tres minutos de tiempo de amasado para llegar al punto más alto mientras que una harina débil requiere un tiempo más corto. Mientras más extenso es el tiempo de amasado, más fuerte es la harina; los tiempos mayores a seis minutos indican una harina fuerte que puede crear una masa rígida, nada flexible, pero que puede ser adecuada para el pan de horno de leña o la corteza de pizza (Rydings, 2009). Por otro lado, se ha encontrado que el porcentaje de gluten en la masa está relacionado con la absorción de agua y tolerancia al amasado, dicho porcentaje tiene gran influencia sobre el volumen del pan (Pérez, 1997).

En base a esto, los resultados de tiempo de amasado obtenidos para los niveles de mezcla del 5 y 10% de contenido de SA podrían alcanzar a desarrollar gluten y convertirse en una harina panificable (ver tabla 76). La alta desviación entre los datos pudo haberse debido a algún problema en la manipulación de las muestras por parte del laboratorio contratado para este estudio o a un error en el momento de hacer la homogenización de las mezclas preparadas. Aun teniendo en cuenta esto, se puede ver que el contenido de SA afecta el tiempo de amasado y así mismo la calidad de la masa.

Tabla 76. Determinación del tiempo de amasado en las harinas con los diferentes niveles de mezcla de SA y harina de trigo.

Mezcla	Tiempo de amasado (min)
100% Harina de trigo	4,30 ± 1,41
5% SA + 95% Harina de trigo	3,55 ± 7,35
10% SA + 90% Harina de trigo	2,91 ± 8,77
15% SA + 85% Harina de trigo	2,86 ± 9,49

Contenido de gluten

La calidad del gluten influye en el volumen del pan ya que permite retener gas carbónico en la masa durante el proceso de fermentación. Según Calaveras (2004), una harina con un contenido menor al 5% de gluten no es recomendable para trabajar en la industria panadera. De esta manera, juzgando por los resultados, los tres niveles de mezcla del 5, 10 y 15% de SA pueden constituir harinas panificables (ver tabla 77).

Tabla 77. Determinación del contenido de gluten en las harinas con los diferentes niveles de mezcla de SA y harina de trigo.

Mezcla	Gluten g/100g de muestra seca
100% Harina de trigo	8,43 ± 0,02
5% SA + 95% Harina de trigo	8,23 ± 0,05
10% SA + 90% Harina de trigo	7,59 ± 0,02
15% SA + 85% Harina de trigo	7,17 ± 0,02

Durante el desarrollo de los panes se pudo evidenciar que el volumen del producto con un nivel del 5 y 10% no se afecta significativamente. Sin embargo, en la mezcla con el 15% el amasado requirió más trabajo afectando el volumen del pan.

Retrogradación de almidón

Los productos de panificación tienen una corta vida útil desde que salen del horno hasta que llegan al consumidor. Uno de los principales problemas de esta corta duración es el desarrollo de una corteza firme y la resequeidad aparente durante el almacenamiento prolongado causado por la retrogradación del almidón (Da Mota *et al.*, 2005). Teniendo en cuenta que el almidón es el constituyente mayoritario en la miga del pan y que a medida que el nivel de salvado se hace mayor en la harina, los cambios físicos en el índice de retrogradación del almidón se ven disminuidos (ver tabla 78), estas mezclas son aptas para la industria de panificación.

Tabla 78. Determinación del índice de retrogradación del almidón en las harinas con los diferentes niveles de mezcla de SA y harina de trigo.

Mezcla	Índice de retrogradación del almidón
100% Harina de trigo	2,54 ± 0,01
5% SA + 95% Harina de trigo	2,14 ± 0,02
10% SA + 90% Harina de trigo	2,14 ± 0,02
15% SA + 85% Harina de trigo	2,05 ± 0,01

Fuerza para desarrollar alfa amilasas en la masa

Las amilasas degradan el almidón en azúcares solubles, transformándolos por la levadura durante la fermentación y el horneado produciendo gas carbónico el cual le proporciona volumen al pan (Calaveras, 2004). Al elaborar el producto a partir de las mezclas de harinas se pudo observar que a medida que el nivel de SA es mayor en la mezcla, la fuerza de desarrollo de alfa amilasa disminuye (ver tabla 79). Además, se evidenció que el volumen del pan era más pequeño y presentó una corteza menos brillante. Pese a esto, es importante resaltar que el cambio solo se hace físico manteniendo el valor nutricional.

Tabla 79. Determinación de la fuerza de desarrollo de alfa amilasas en las harinas con los diferentes niveles de mezcla de SA y harina de trigo.

Mezcla	Fuerza desarrollo alfa amilasa (Nm)
100% Harina de trigo	1,84 ± 0,02
5% SA + 95% Harina de trigo	1,44 ± 0,02
10% SA + 90% Harina de trigo	1,39 ± 0,02
15% SA + 85% Harina de trigo	1,29 ± 0,02

Fuerza de deformación en los panes

La fuerza de deformación del pan está completamente ligada a la esponjosidad o suavidad de este (Calaveras, 2004). Si se observa la tabla 80 esta fuerza se incrementa con el nivel de SA. Esto se podría explicar claramente en relación al contenido de gluten. El contenido de salvado disminuye el nivel de gluten en la mezcla y así mismo afecta la suavidad de la corteza, produciendo una mayor fuerza para deformar el pan.

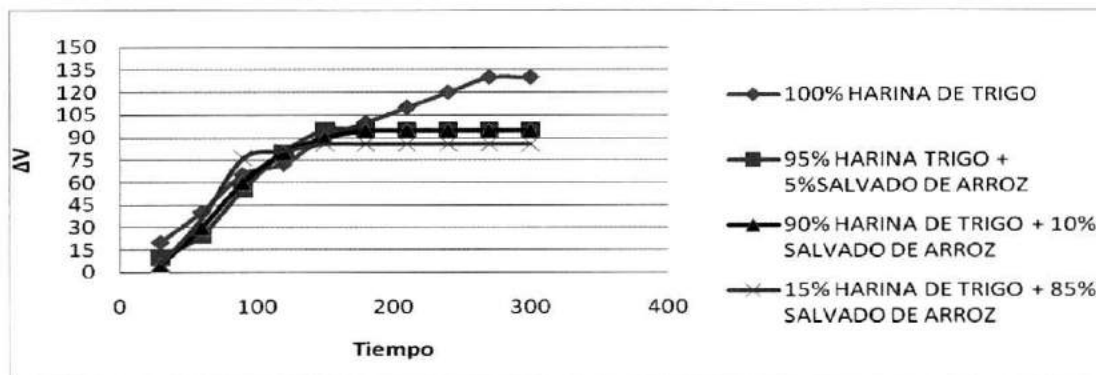
Tabla 80. Determinación de la fuerza de deformación de los panes con las harinas de los diferentes niveles de mezcla de SA y harina de trigo.

Mezcla	Fuerza de deformación pan (Kg)
100% Harina de trigo	2,46 ± 0,16
5% SA + 95% Harina de trigo	2,85 ± 0,07
10% SA + 90% Harina de trigo	3,56 ± 0,05
15% SA + 85% Harina de trigo	3,78 ± 0,16

Tiempo de fermentación

El tiempo de fermentación de una masa es necesario porque es donde la levadura produce gas carbónico (crecimiento de la masa) y por reacciones bioquímicas (aumento de acidez) el gluten adquiere la fuerza y la resistencia necesaria para conservar los gases de la fermentación (Badui, 2006). Cuando la masa no contiene el gas carbónico y la acidez suficiente, el pan se reviene enseguida (aplata) ya que el agua de la miga sale rápidamente hacia la corteza (Tovar, 2006).

En la tabla 77 se puede apreciar que en los diferentes niveles de mezcla el contenido de gluten disminuye a medida que aumenta el salvado, esto se debe a que el arroz es un cereal que no contiene gluten y en la medida que se hace mayor el nivel de salvado en la mezcla disminuye la proteína en la harina. Como se puede apreciar en la gráfica 49, el volumen máximo de fermentación en la masa disminuyó con el incremento de salvado en las mezclas presentando diferencia estadísticamente significativa. Para una masa con 100% de harina de trigo el tiempo de fermentación fue de 120 minutos, mientras que para la masa que contenía el mayor nivel de SA el tiempo fue de 83 minutos, ya que posiblemente el gluten en este nivel ya no tenía la fuerza suficiente para retener el gas carbónico.



Gráfica 49. Determinación de los tiempos de fermentación para los diferentes niveles de mezcla.

Características esenciales

Volumen específico de los panes

Como se puede apreciar en la tabla 81, la adición de SA como sustituto de la harina de trigo afectó inversamente el volumen específico del pan. Esto podría atribuirse a que el volumen del pan se encuentra en función del contenido de gluten.

Tabla 81. Determinación del volumen específico de los panes con las harinas de los diferentes niveles de mezcla de SA y harina de trigo.

Mezcla	Volumen específico (c.c.)
100% Harina de trigo	161,67 ± 0,06
5% SA + 95% Harina de trigo	126,67 ± 0,03
10% SA + 90% Harina de trigo	113,33 ± 0,02
15% SA + 85% Harina de trigo	106,67 ± 0,02

Colorimetría

Colorimetría de las harinas

Los resultados muestran una diferencia estadísticamente significativa. La tabla 82 muestra que la adición de SA afecta el color de la harina, puesto que para la que tiene el mayor nivel de mezcla la luminosidad medida fue de 94,36 en comparación con el blanco de 99,41.

Tabla 82. Determinación de la luminosidad en las harinas con los diferentes niveles de mezcla de SA y harina de trigo.

Mezcla	Luminosidad
100% Harina de trigo	99,41 ± 0,03
5% SA + 95% Harina de trigo	96,95 ± 0,02
10% SA + 90% Harina de trigo	95,70 ± 0,03
15% SA + 85% Harina de trigo	94,36 ± 0,29

Colorimetría de la corteza de los panes

En la tabla 83 se muestran los resultados en la determinación de luminosidad de la corteza de los panes. Existe diferencia estadísticamente significativa en cuanto al color de la corteza para cada nivel de mezcla. El cambio de luminosidad en las harinas no se hizo evidente al ojo humano.

Tabla 83. Determinación de luminosidad de la corteza de los panes.

Mezcla	Luminosidad de la corteza del pan
100% Harina de trigo	61,22 ± 0,05
5% SA + 95% Harina de trigo	59,80 ± 0,04
10% SA + 90% Harina de trigo	57,62 ± 0,02
15% SA + 85% Harina de trigo	56,17 ± 0,03

Colorimetría de la miga de los panes

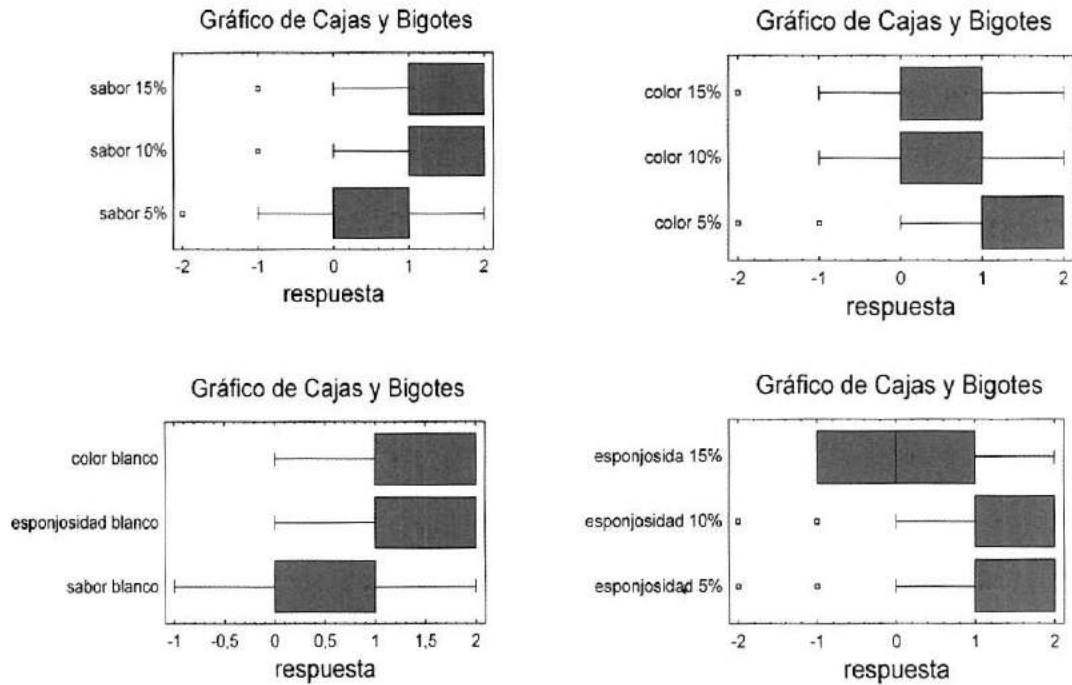
En la tabla 84 se muestran los resultados en la determinación de luminosidad de la miga de los panes. Los resultados presentaron diferencia estadísticamente significativa. Esto puede atribuirse a la cantidad de SA y a que en los productos horneados se lleva a cabo la reacción de Millard produciendo la caramelización de los panes (Badui, 2006).

Tabla 84. Determinación de luminosidad de la miga de los panes.

Mezcla	Luminosidad del interior del pan
100% Harina de trigo	82,87 ± 0,06
5% SA + 95% Harina de trigo	80,18 ± 0,07
10% SA + 90% Harina de trigo	79,17 ± 0,04
15% SA + 85% Harina de trigo	76,98 ± 0,08

Análisis sensorial

Todos los panes elaborados a partir de las mezclas fueron aceptados satisfactoriamente (ver gráfica 50), las estadísticas indican que los niveles de mayor aceptación por el consumidor fueron los panes que contenían 5 y 10% de SA. La esponjosidad no presentó la aceptación que se esperaba, observando que el contenido de arroz afecta significativamente esta característica.



Gráfica 50. Resultados de aceptación a los diferentes niveles de mezcla. (a) evaluación de color, esponjosidad y sabor del pan blanco (b) evaluación del color; (c) evaluación del sabor; (d) evaluación de la esponjosidad del pan.

Para los otros niveles de mezcla, la aceptación del panel fue satisfactoria demostrando preferencia por el sabor de los panes con los diferentes niveles de mezcla de SA en comparación con el blanco.

Gráfica 51. Evaluación sensorial de las muestras de pan.



CONCLUSIONES

Se encontró que es factible técnicamente elaborar pan integral con SA estabilizado; además un aumento progresivo de este, hace que el contenido de proteína y fibra dietaria aumente en las mismas proporciones, lo cual mejora el valor nutricional de los panes.

Además, para la industria panadera el SA se convierte en una posible materia prima económica para mejorar el producto en sus características organolépticas y nutricionales.

El nivel de mezcla del 15% de SA no cumple con la NTC 267 para el contenido de cenizas en harinas de panificación integrales. Este nivel resulta también no apto para ser usado en este sector ya que el tiempo de amasado se reduce de manera significativa.

Por otro lado, el análisis sensorial demostró que los panes elaborados con niveles de mezcla del 5 y 10% tienen una gran aceptación para las características de sabor, color y esponjosidad, lo que no sucede con el nivel de mezcla de 15% de SA que resulta menos esponjoso.

Si se lograra que las Cámaras de la industria de harina de trigo y arroz llegaran a acuerdos para sustituir el 10% de las harinas de panificación por SA, las disminuciones de importaciones de trigo serían de 126.187,2 toneladas (teniendo en cuenta el dato reportado de importaciones por el observatorio de Agrocadenas para el 2006), lo que representaría un 79% de uso del total de la producción actual de SA que está subutilizado.

Referencias bibliográficas

- Anzaldúa A. 1994. La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y la práctica. 1era Edición. Zaragoza. Acribia SA 214p.
- Badui S. 2006. Química de los alimentos. 4ª edición. México. Prentice Hall. 461p.
- Calaveras J. 2004. Nuevo tratado de panificación y bollería. Segunda Edición. Madrid, España. AMD Ediciones. 621p.
- Clerici M.T., El-Dash A.A. 2006. Farinha extrusada de arroz como sustituto de gluten na producao de pao de arroz. Arch Latinoam Nutr. 288-94.
- Da Mota V. M., Mireles C. E., Camarena E. A., Bautista M. 2005. Efecto del uso de masas congeladas sobre las características y textura en pan blanco. RESPYN.. Edición Especial No. 13. Vol. 66.
- Espinal C. F., Martínez H. J., Acevedo X. 2005. La cadena del arroz en Colombia, una mirada global de su estructura y dinámica 1991-2005. En: <http://www.scribd.com/doc/22381818/La-Cadena-de-Arroz-en-Colombia>. 40 p. Consultado: 24 de Febrero de 2009.

- Fedearroz. 2006. Desarrollo de procesos para la valorización de subproductos de la industria arrocera. Mercado de los Subproductos del Arroz frente al TLC. En: <http://www.Fedearroz.com.co/arroz/464/464.shtml>. 15p. Consultado: 25 de Marzo de 2009
- Kennedy G., Burlingame B. 2003. Analysis of food composition data on rice from a plant genetic resources perspective. *Food Chemistry*. 80: 589-596.
- Martínez H., Espinal C., Prieto C. L. 2008. La cadena del trigo en Colombia. En: www.agronet.gov.co. Consultado: 12 Mayo de 2008.
- Monrroy C.A., Vargas A. O. 2001. Estudio de caracterización, proceso de obtención y usos del SA. Tesis de pregrado. Facultad de Agronomía. Universidad del Tolima. 15 p.
- Pacheco Delahaye, E y Pena, J. 2006. Efecto del SA sobre parámetros químicos, físicos y sensoriales de arepas precocidas y congeladas. *Rev. Fac. Agron.*, 23:232-242.
- Pérez C. 1997. Determinación de la calidad de trigos harineros por medio de pruebas físicas, químicas y reológicas. Tesis de Pregrado. Unidad de Ciencias Biológicas y de la Salud. Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa. Iztapalapa, México. 39p.
- Ranhoira G. S., Loewe R. J., Puyat L. V. 1975. Effect of wheat flour and its starch and gluten components on lipid metabolism in cholesterol-fed rats. *Journal of Food Science*. Volumen 42 (1): 79 – 82.
- Rydings M. 2009. Instrumentos analíticos y calidad de la harina. En: http://www.bsimagazine.com/feature_stories_print.asp?ArticleID=56453. Consultado: 12 de Octubre de 2009. 1p.
- Tovar R. 2006. Masas. 1ª Edición. Madrid. Aguilar. 285p.*
- Tovar H., Lumidla J. 2004. Evaluación del comportamiento de productos de frituras a base de harina de maíz precocida y aceites con la incorporación de carboximetilcelulosa (CMC) y SA estabilizado (SA). Tesis de maestría. Facultad de Ciencias. Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela. 28p.*
- Vargas E., Haros M. 2009. Mejora nutricional de pan con SA colombiano. Pasantía de Investigación. Valencia, España. Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos.

EVALUACIÓN DE UNA HARINA ELABORADA CON SÉMOLA DE TRIGO (*Triticum durum*) Y SALVADO DE ARROZ COLOMBIANO (*Oryza sativa*) PARA PREPARAR PASTA ALIMENTICIA

Como una alternativa para disminuir los costos y aumentar las propiedades nutricionales de las pastas alimenticias se evaluó la factibilidad técnica de sustituir parcialmente en la formulación de dicho producto SA por sémola de trigo. Se propuso la inclusión del salvado en niveles de mezcla del 10, 15 y 20%, dichas mezclas fueron caracterizadas por análisis proximal (humedad, proteína, cenizas, grasa y fibra), reológico (pruebas con mixógrafo), textural (fuerza de fractura), físico (color luminosidad, matriz, saturación) y sensorial (pruebas hedónicas de 5 puntos para evaluar los parámetros de sabor, color y firmeza). Los análisis permitieron apreciar el efecto del ingrediente propuesto sobre las diversas propiedades del producto.

MATERIALES Y MÉTODOS

Características del salvado de arroz

El SA se obtuvo del pulido de arroz paddy seco, proveniente de Arroz Supremo del Espinal Tolima, el cual se descascarilló y pulió en los equipos de la Universidad Jorge Tadeo Lozano (molino de arroz GranEI); debido a la inestabilidad que presenta el SA por presencia de enzimas de tipo hidrolítico (lipasas) y oxidativo (peroxidasas) es necesario inmediatamente estabilizarlo para inhibir su acción. Se utilizó la técnica de estabilización con calor húmedo (vapor saturado) para la inactivación enzimática (Amarasinghe & Gangodavilage, 2004). Posteriormente, el SA estabilizado fue secado (secador por convección forzada, MLW) a 40 °C hasta llegar a una humedad de entre 8,7% y 11%.

Estabilización del salvado

El SA fue distribuido en bandejas de 250 g cada una de tal manera que la profundidad de estas no fuera superior a 2 cm. Luego, estas bandejas fueron introducidas en un autoclave (Vertical Pselecta®) provisto de vapor saturado a 121°C por un tiempo de 30 minutos.

Posteriormente, el SA estabilizado fue secado (secador por convección forzada, MLW®) a 40 °C hasta llegar a una humedad de entre 8,7% y 11%.

Diseño experimental

En base a los resultados mostrados por otros estudios realizados para suplementar pastas alimenticias con SA (Sangronis & Rebolledo, 1997; Sangronis *et al* 1997), un

nivel superior de mezcla al 20% afecta la absorción de agua y dificulta el amasado por lo tanto se propusieron los siguientes niveles (tabla 85):

Tabla 85. Sustitución de SA para la elaboración de pasta.

# Ensayo	% Salvado	% Sémola de trigo
1	0	100
2	10	90
3	15	85
4	20	80

El ensayo # 1 se usó como control de comparación con las otras pastas preparadas con porcentajes de SA en la sémola de trigo. Se consideraron como variables de respuesta los cambios en la caracterización reológica (absorción de agua y el tiempo de amasado), la fuerza de fractura de la pasta seca, el color del producto final y la aceptación sensorial de la pasta cocida.

Condiciones de proceso

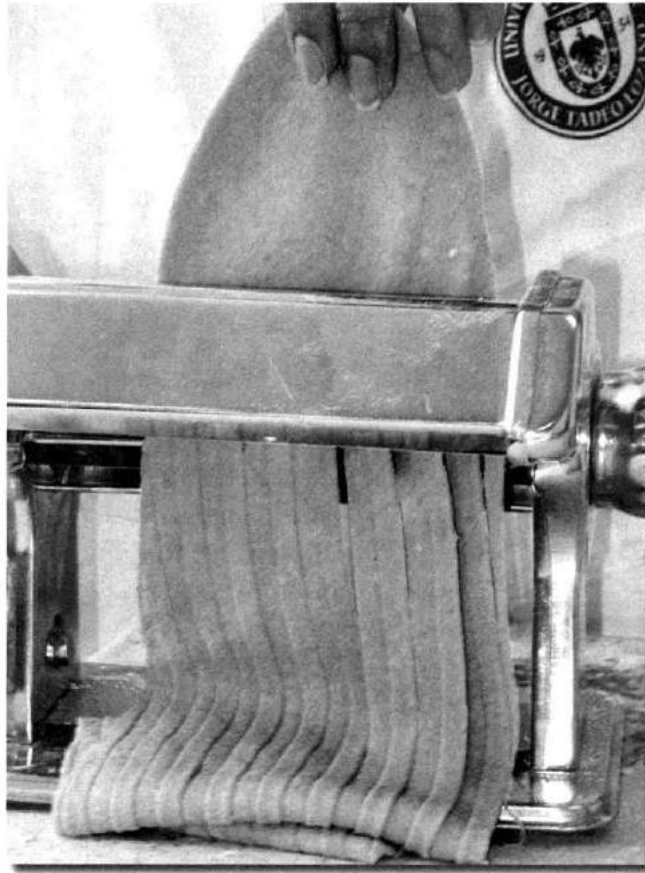
Con el fin de atribuir los resultados de las variables de respuesta solamente a los niveles de mezcla salvado-sémola y no a las variables de fabricación de la pasta alimenticia, se consideraron como fijas las siguientes condiciones:

Granulometría. Según Callejo (2001) para la elaboración de pastas alimenticias con sémola de trigo el tamaño de partícula debe ser de 150 μm . En base a esto, se tomaron 200 g de SA y sémola de trigo por separado y se pasaron por una serie de tamices ASTM tomando la fracción retenida en el tamiz de 150 μm para así obtener mezclas homogéneas.

Régimen de Mezcla. Para establecer el régimen de mezcla en el equipo disponible, se realizaron pruebas de mezclado de sólidos usando como testigo harina de trigo y cocoa, que permitieron observar el grado de homogenización. Con base en estos ensayos preliminares se estableció para la preparación de las mezclas de sémola y salvado una velocidad de 78 rpm por 6 min., en la mezcladora Kitchen Aid con paleta plana; esta condición se mantuvo constante en la preparación de todas las mezclas.

Elaboración. La formulación estandarizada sobre la cual se evaluaron todas las mezclas fue: 62 % de sémola o mezcla a evaluar, 37% huevo pasteurizado y 1% sal.

Para la fabricación de la pasta alimenticia se colocaron 600 g de mezcla en una cilindadora y moldeadora Kitchen aid, la cual permitió dar el grosor uniforme de 1 mm y forma de fetuchini (grafica 52).



Gráfica 52. Pasta en forma de fetuchini.

Secado. El tiempo y la temperatura de secado, en la elaboración de una pasta alimenticia es un parámetro importante, ya que a temperaturas elevadas y tiempos de exposición prolongados se forman agrietamientos y manchas que alteran el producto final. En base a esto, el secado se realizó a una temperatura de 70 °C en un horno de aire forzado marca Memmert. La ecuación (6) fue utilizada para determinar el tiempo en minutos del secado de la pasta (Kill & Tumbull, 2001).

$$Tiempo = \frac{(\text{tamaño})^2}{\text{difusividad}} \quad (6)$$

Donde:

Tamaño: mitad del espesor de la lámina de la masa.

Difusividad estándar: $5,4 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$ a 70 °C (Kill & Tumbull, 2001).

Cocción. Para el análisis sensorial las pastas fueron preparadas mediante cocción en agua en ebullición (92 °C) empleando 2 L de agua por 100 g de pasta, el tiempo de cocción fue de 6 minutos. Esta condición se aplicó para todas las pastas independientemente de la formulación empleada (Icontec, 1981).

Análisis de muestra

Caracterización proximal. Se realizó la caracterización del SA y la sémola de trigo de manera individual y en los diferentes niveles de mezcla propuestos, determinando el porcentaje de humedad, proteína, cenizas, grasa y fibra.

Humedad. Se utilizó el equipo de referencia Metler Toledo HB43S. Se tomó un peso de entre 2,6 y 3,6 g a temperatura de aproximadamente 78 °C. La humedad se reporta en g/agua/100 g de muestra seca.

Proteína. Se empleó el método Kjeldahl, el cual permite la estimación del contenido de nitrógeno total, y se utilizó como referencia la AOAC, método 945.18-B modificado. Los resultados se expresaron en g proteína/100 g de muestra seca.

Cenizas. Se utilizó el método establecido por la NTC 282. Los datos se expresaron en g/100 g de muestra seca.

Grasa. Se utilizó el método Soxhlet establecido por la AOAC método 981.12, y los resultados se expresaron en g de grasa/100 g de muestra seca.

Fibra. Se usó como referencia el método 985.29 de la AOAC, aplicado sobre muestras secas desengrasadas. Los resultados se expresaron en g de fibra dietaria/100 g de muestra seca desengrasada.

Caracterización reológica

La técnica de evaluación usada en este estudio fue el método empírico denominado prueba Mixolab, que permite caracterizar la harina bajo los criterios de absorción de agua (un indicador de consistencia, e influye en el rendimiento en la formación de la pasta), dada en porcentaje de agua retenido, y el índice de malaxab o amasado (representa la resistencia de la harina al amasado) medido en minutos (Granonews, 2008). Las pruebas se realizaron en Enzipan Laboratorios S.A (Cundinamarca).

Caracterización textural

Los ensayos texturales se hicieron con el penetrómetro digital Chatillon modelo MTL 50L, que determinó la fuerza que se debe ejercer para romper o fracturar una probeta de 2 cm de lado y 1 mm de espesor medida en Kg/cm².

Análisis de color

Para determinar el color de las pastas secas se usó el colorímetro Konica Minolta Chroma Meter cr-400/410 (gráfica 53); se midió la luminosidad, que es cantidad de luz reflejada por el color. El negro es la mínima cantidad de luz y se codifica como 00. El blanco es la máxima y se codifica como 99.



Gráfica 53. Medición del color en las pastas.

Análisis sensorial del producto final

Con el fin de evaluar el grado de aceptación de la pasta alimenticia elaborada con las diferentes mezclas de SA (10, 15 y 20%), se realizó un análisis sensorial utilizando una prueba hedónica (Anzaldúa, 1994), donde los puntos analizados fueron 5 y cada uno tenía un equivalente numérico para facilitar la interpretación de los datos: le gusta mucho (2), le gusta (1), ni le gusta, ni le disgusta (0), le disgusta (-1) y le disgusta mucho (-2).

El análisis sensorial se llevó a cabo con un panel no entrenado de 70 personas, hombres y mujeres, de edades entre 20 y 35 años, estudiantes y funcionarios de la Universidad Jorge Tadeo Lozano. Los parámetros de sabor, color y firmeza fueron evaluados por el panel ya que son los atributos que definen la calidad final de la pasta (Anzaldúa, 1994).

Análisis estadístico

Los datos obtenidos fueron analizados mediante comparación entre tratamientos para la determinación de diferencias (ANOVA con significancia del 95% y test de Duncan), utilizando el software Statgraphics®. Todos los datos reportados corresponden al valor medio de tres mediciones realizadas sobre experimentos corridos por triplicado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización proximal

Caracterización individual del SA y sémola de trigo: en la tabla 86 se presenta la media y la desviación estándar del contenido nutricional de la sémola de trigo y el SA, expresados como g/100 g de muestra seca.

Tabla 86. Composición proximal de SA y sémola de trigo expresados como g/100 g de muestra seca.

ESTUDIO	SÉMOLA DE TRIGO	SALVADO DE ARROZ
Humedad	11,230 ± 0,04	3,53 ± 0,24
Proteína	14,89 ± 0,39	13,25 ± 1,87
Cenizas	0,613 ± 0,06	10,41 ± 0,16
Grasa	4,35 ± 0,62	24,72 ± 0,62
Fibra	1,96 ± 0,26	22,27 ± 0,18

Los resultados sobre la composición de la sémola se acercan a estudios realizados por Hernández & Sastre (1999) en donde el contenido de proteína fue del 12% y fibra del 1,5%. En cuanto a la composición del salvado, en estudios realizados en Venezuela (Pacheco *et al.*, 2002) y en la Universidad Jorge Tadeo Lozano (López & Rodríguez, 2009) los resultados obtenidos se aproximan al contenido de fibra dietaria y proteína. A partir de esta composición proximal es posible apreciar que el salvado utilizado como materia prima en esta experimentación resulta ser una fuente especialmente alta en estos nutrientes.

Para verificar el efecto de la adición de salvado sobre el valor nutricional de las pastas, se evaluaron en el producto terminado los contenidos de proteína, fibra y cenizas. En la tabla 87 se muestran estos resultados.

Tabla 87. Caracterización bromatológica de la pasta alimenticia elaborada con diferentes niveles de SA expresados como g/100 g.

ESTUDIO	NIVELES DE MEZCLA*			
	0%	10%	15%	20%
Humedad	7,09 ± 0,28 ^a	6,49 ± 1,06 ^a	5,4 ± 0,66 ^a	4,71 ± 0,11 ^d
Proteína	15,010 ± 0,22 ^a	15,85 ± 0,12 ^b	16,26 ± 0,091 ^c	16,68 ± 0,10 ^d
Cenizas	0,75 ± 0,005 ^a	1,09 ± 0,15 ^b	2,8 ± 0,10 ^c	3,4 ± 0,83 ^d
Fibra	1,96 ± 0,14 ^a	3,99 ± 0,12 ^b	5,01 ± 0,11 ^c	6,02 ± 0,10 ^d

*Las letras iguales en una fila indican que no hay diferencia significativa.

La proteína más importante de la pasta es el gluten el cual proviene de la sémola (Callejo, 2001). A partir de los datos de la tabla anterior, se puede inferir que con la adición de salvado, el valor de proteína se incrementa con diferencias estadísticamente significativas entre las mezclas y el blanco.

Según la norma técnica colombiana (NTC) 1055 para la elaboración de pastas, una pasta alimenticia debe contener como mínimo 12,5% de proteína, por lo tanto, los porcentajes obtenidos con los diferentes niveles de mezcla cumplen con la normativa.

El alto contenido de fibra del SA se debe a que la celulosa y la hemicelulosa abundan en el pericarpio y en el germen del arroz como constituyentes estructurales de las paredes celulares, los cuales en el momento de la obtención del salvado no se pierden (Othon & Saldivar, 1996). En este estudio, se pudo observar que al aumentar el contenido de SA en las pastas se incrementa el contenido de fibra, lo que se podría interpretar como un beneficio desde el punto de vista funcional del producto terminado.

Por otra parte, la determinación de cenizas en las pastas es importante debido al contenido de minerales que contiene el SA; este aspecto es clave al tratar de encontrar cómo este subproducto puede contribuir en el fortalecimiento nutricional del producto en cuestión (Hernández & Sastre, 1999).

El contenido de cenizas no afecta la elaboración de las pastas alimenticias, sin embargo los niveles de 15 y 20% superan lo establecido por la NTC 1055, la cual indica que el contenido de ceniza no debe superar el 1,2% de tal manera se descartan estos niveles de mezcla para la elaboración de pasta.

Caracterización reológica

Absorción de agua. Los valores de absorción de agua fueron obtenidos en la escala arbitraria que usa el equipo mixolab. La harina con 100% de sémola fue representada con un valor de 20, lo que indica una baja capacidad de absorción si se le compara con los valores obtenidos para harinas de panificación, las cuales están alrededor de 70 (Pérez, 1997).

A partir de estos resultados se comprueba que la adición de SA afecta negativamente esta propiedad disminuyéndola en un 50%. El análisis estadístico muestra que en esta escala de medición no hay diferencia significativa para los distintos niveles de mezcla.

Tiempo de amasado. El tiempo de amasado se estima inicialmente en el mixograma, y corresponde al tiempo que se requiere para dar a la masa una consistencia máxima (en la gráfica es la altura máxima). Los cambios encontrados en el tiempo de amasado muestran una diferencia significativa en todas las mezclas evaluadas, aumentando notablemente a medida que se incrementan los niveles de salvado.

El resultado obtenido para la harina con 100% de sémola ($4,89 \pm 0,03$ min) corresponde, según la literatura, a una harina fuerte, esto podría ser lógico ya que el trigo durum del que se obtiene es conocido por tener alto contenido de gluten y un tiempo de amasado de 4 a 5 minutos (Callejo, 2001).

Caracterización textural

La fuerza de fractura es uno de los aspectos más importantes en una pasta alimenticia, determina la uniformidad del secado y cómo va a ser el comportamiento durante su almacenamiento (Callejo, 2001). Una pasta integral presenta una fractura semi-vítrea, pudiendo desintegrarse ligeramente al partirse (Zamora, 2007).

Se puede apreciar que las pastas con un nivel de mezcla del 20% son menos resistentes a la fractura en comparación a los niveles de mezcla del 10 y 15%, los valores obtenidos fueron: $7,96 \pm 0,72$, $8,81 \pm 0,64$ y $8,21 \pm 0,91$ kg/cm² respectivamente. El análisis estadístico muestra una diferencia significativa en todos los niveles y frente al blanco.

Como dato de referencia se tomó también una muestra comercial de pasta artesanal tipo lasaña, preparando una probeta de 2 cm de lado y 1 mm de grosor, que bajo las condiciones del ensayo tiene una fuerza de fractura de 12,8 Kg/cm² (40% más dura), superior a las muestras de este estudio debido a las condiciones y elaboración del producto.

Análisis de color

Como parámetro de color se seleccionó la luminosidad por ser el más fácilmente diferenciado por el ojo humano. Los valores de luminosidad variaron entre 55 y 73, siendo la muestra más oscura la preparada con 20% de salvado con una luminosidad de $55,48 \pm 2,64$ y la muestra más clara la preparada con 100% de sémola con una luminosidad de $73 \pm 1,13$. Se encontraron diferencias estadísticamente significativas para todos los niveles de mezcla.

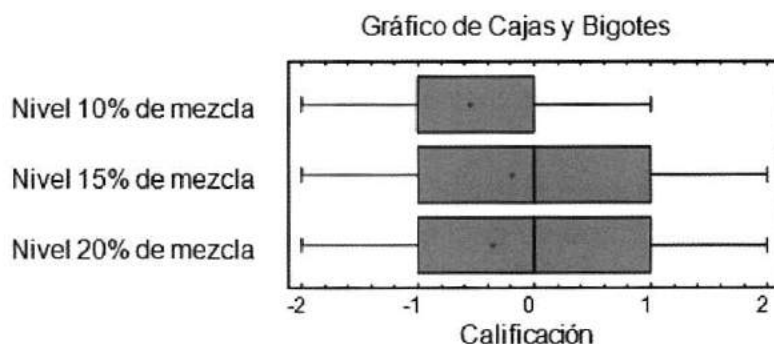
La saturación y el matiz no se tuvieron en cuenta para el estudio del color de la pasta terminada, solo como entes diferenciadores de cada nivel de mezcla.

Análisis sensorial del producto final

Los datos correspondientes al promedio de los resultados respecto a la aceptación de los parámetros evaluados (sabor, color y firmeza) por el panel sensorial fueron analizados. Una calificación inferior a 3 indica disgusto, igual a 3 indica indiferencia y superior a 3 indica agrado.

Sabor. El sabor de las pastas depende tanto de las materias primas utilizadas en su elaboración, como del proceso de cocción. A partir de los resultados se comprueba que la adición del salvado hace que la pasta desarrolle un sabor menos agradable. Las muestras posiblemente no fueron aceptadas con agrado por el panel sensorial, debido a los hábitos alimenticios del panel y las condiciones en que fueron servidas las pastas.

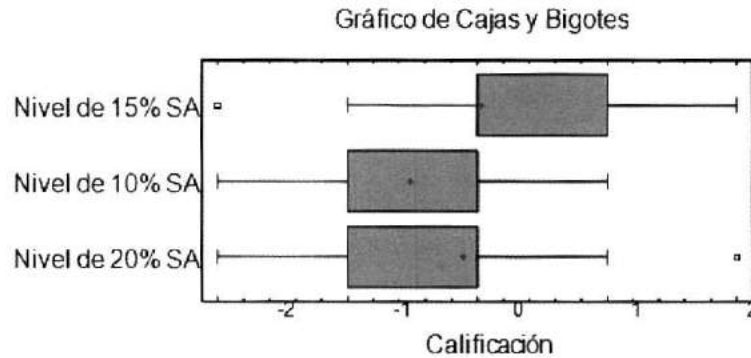
La calificación más alta obtenida fue para la muestra con el 15% de mezcla, presentando un valor de 3,06, el cual se encuentra ligeramente por encima del límite de indiferencia. Al evaluar los datos obtenidos para el sabor con ANOVA, se observó que hay diferencia significativa en el nivel de aceptación. En la gráfica 54 se observa este comportamiento.



Gráfica 54. Grado de aceptación del sabor en el producto final.

Color. A partir de los resultados de color, se puede inferir que el consumidor está acostumbrado a ver la pasta amarilla clara, sin manchas y con una superficie lisa, que se atribuye a la sémola de trigo. Al realizar las diferentes mezclas con SA el color oscuro se hace más evidente a medida que se aumenta el subproducto en el nivel de mezcla. Un 20% de inclusión hace que el color característico de la pasta cambie, haciendo que el grado de aceptación por parte del consumidor sea de disgusto (el promedio de los resultados fue de 2,66).

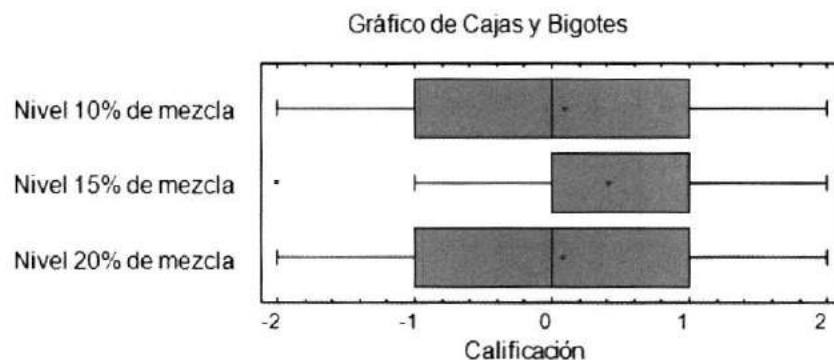
En la gráfica 55 se muestran los resultados obtenidos en la evaluación de color, ninguna muestra fue calificada en el nivel de agrado. El promedio de las calificaciones de la muestra del 15% de mezcla está en el nivel de indiferencia (con un promedio de 2,82).



Gráfica 55. Grado de aceptación del color en el producto final.

Firmeza. La firmeza es un parámetro que se mide por la facilidad o dificultad de quitar el alimento de los dientes, una pasta elaborada con sémola de trigo y SA debe ser moderadamente adhesiva (Zamora, 2007). El parámetro de firmeza se encuentra asociado al tiempo de cocción ya que si la cocción no es suficiente, se muestra dura, con dificultad para desprenderse de los dientes, por otra parte, si el tiempo de cocción se sobrepasa, puede llegar a desintegrarse en la boca lo que no resulta agradable al consumidor.

En la gráfica 56 se observa el comportamiento de la calificación de la firmeza. Al evaluar los resultados con ANOVA se ve que hay diferencia significativa en el nivel de aceptación de las pastas preparadas con los diferentes niveles de mezcla de SA. Ninguna muestra fue calificada con -2 (disgusta mucho).



Gráfica 56. Grado de aceptación de firmeza del producto final.

En general, la evaluación sensorial no favorece las muestras preparadas a partir de mezclas con SA, esto se debe probablemente a los hábitos alimenticios del panel sensorial utilizado en esta evaluación. Si bien las mezclas presentan mejor contenido nutricional que las pastas tradicionales, desde el punto de vista sensorial se requiere mejorar en aspectos como el color y sabor, especialmente, con la adición de aditivos permitidos por la legislación o con suplementos de gluten.

CONCLUSIONES

Se demostró que es posible elaborar pastas con un nivel de sustitución de la sémola del 10%. Sin embargo, con este nivel de mezcla se afectan de manera significativa los parámetros sabor, color y firmeza evaluados mediante un panel sensorial y mejorando los nutricionales (fibra dietaria y proteína).

La adición de SA afecta negativamente las propiedades reológicas de la masa, disminuyendo en 50% el porcentaje de absorción de agua y aumentando el tiempo de amasado.

Las pastas obtenidas a partir de las diferentes proporciones de sustitución tienen una fuerza de fractura menor, disminuyendo al aumentar los niveles de mezcla.

La inclusión de SA afecta negativamente el color del producto, disminuyendo la luminosidad hasta en un 28% para el nivel superior de mezcla.

Las evaluaciones sensoriales realizadas a las pastas, no permitieron seleccionar el porcentaje de sustitución de SA más adecuado para obtener calificaciones de aceptación, de modo que es necesario trabajar en aspectos tales como, formulación y aditivos que mejoren las propiedades sensoriales, para poder aprovechar las mejoras obtenidas en las propiedades nutricionales.

Referencias bibliográficas

- Amarasinghe B., Gangodavilage N. 2004. Rice Bran Oil Extraction In Sri Lanka Data for Process Equipment Design. Institution of Chemical Engineers. 82 (C1): 54-59.
- Anzaldúa A. 1994. La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y la práctica. Acribia SA Zaragoza, p 56-70.
- AOAC. Approved methods of the American Association of Cereal Chemists. St Paul. American Ass. Cereal Chemist. 2000.
- Callejo M. J., 2001. Industrias de cereales y derivados. Mundi-Prensa. Madrid, p 314-356.

- Fedearroz. 2006. Binomio de Oro en el sector arrocero. <http://www.Fedearroz.com.co/arroz/464/464.shtml>. [24-09-06].
- Granonews. 2008. Selección, identificación y mejora de las harinas. http://www.granonews.com/descargas/Mixolab-System_ES.pdf. [04-06-09].
- Hernández M., Sastre A. 1999. Tratado de Nutrición. Díaz de Santos, Madrid, p 405.
- Hoogenkamp . 2008. Rice bran isolate: the alternative for soy protein? http://www.agriworld.nl/public/file/pdf/20081126-20_ppm_ricebran.pdf [03-08-09].
- Induarroz. 2007. Desarrollo de procesos para la valorización de subproductos de la industria arrocera. Mercado de los Subproductos del Arroz frente al TLC. Bogotá, Colombia.
- Instituto Colombiano de Normas Técnica Y Certificación. ICONTEC. 1981. Norma técnica Colombiana 1055. Industrias alimenticias pastas alimenticias. Instituto Colombiano 1^{ra} Edición.
- Instituto Colombiano de Normas Técnica Y Certificación. ICONTEC. 1981. Norma técnica Colombiana 282. Harina de trigo para consumo humano. Instituto Colombiano 1^{ra} Edición.
- Kennedy G., Burlingame B. 2003. Analysis of food composition data on rice from a plant genetic resources perspective. *Food Chemistry*. 80: 589-596.
- Kill R.C., Turnbull K. 2001. Tecnología de la elaboración de pasta y sémola. Acribia. España, p 47- 200.
- López L., Rodríguez L. I. 2009. Estudio del efecto de la variedad de arroz y la etapa de pulido en la calidad nutricional del SA. Tesis, Ingeniera de Alimentos, Universidad Jorge Tadeo Lozano. Bogotá.
- Nicolosi R. J., Rogers E. J., Ausmann L. M., Orthoefer F. T. 1993. Rice bran oil and its health benefits. In W. E. Marshall & J. I. Wadsworth (Eds.), *Rice science and technology*. Marcel Dekker. New York. (pp. 421- 431).
- Observatorio Agro Cadenas Colombia. 2005. La cadena del arroz en Colombia. Una mirada global. www.agrocadenas.gov.co. [16-04-05].
- Othon S., Saldivar S. 1996. Química, almacenamiento e industrialización de los cereales. AGT Editor. Monterrey, p 24-36.
- Pacheco E., Peña J., Ortiz A. 2002. Composición físico-química del aceite y SA estabilizado por calor. *Agronomía Tropical*. 52(2): 173-185.
- Pérez P. C. 1997. Determinación de la calidad de trigos harineros por medio de pruebas físicas químicas y reológicas. Universidad autónoma metropolitana. Iztapalapa, p, 5-7.
- ProChile. 2005. Perfil de Mercado Pastas Alimenticias de Colombia. www.prochile.cl/

doc2.php?file=colombia_pastas_alim_2005.pdf[02-15-09].

Sangronis E., Rebolledo M. 1997. Calidad de pastas suplementadas con SA. Archivos Latinoamericanos de Nutrición. 47(2):141-5.

Sangronis E., Cafiero J., Mosqueda M. 1997. Calidad de cocción de pastas largas suplementadas con SA. Archivos Latinoamericanos de Nutrición. 47(2):146-51.

Zamora E. 2007. Evaluación objetiva de la calidad sensorial de alimentos procesados. Tecnología de los alimentos. Universitaria, Habana p, 18.

CAPÍTULO 6

DISEÑO Y DIMENSIÓN DEL PROCESO DE ESTABILIZACIÓN DEL SALVADO DE ARROZ COLOMBIANO

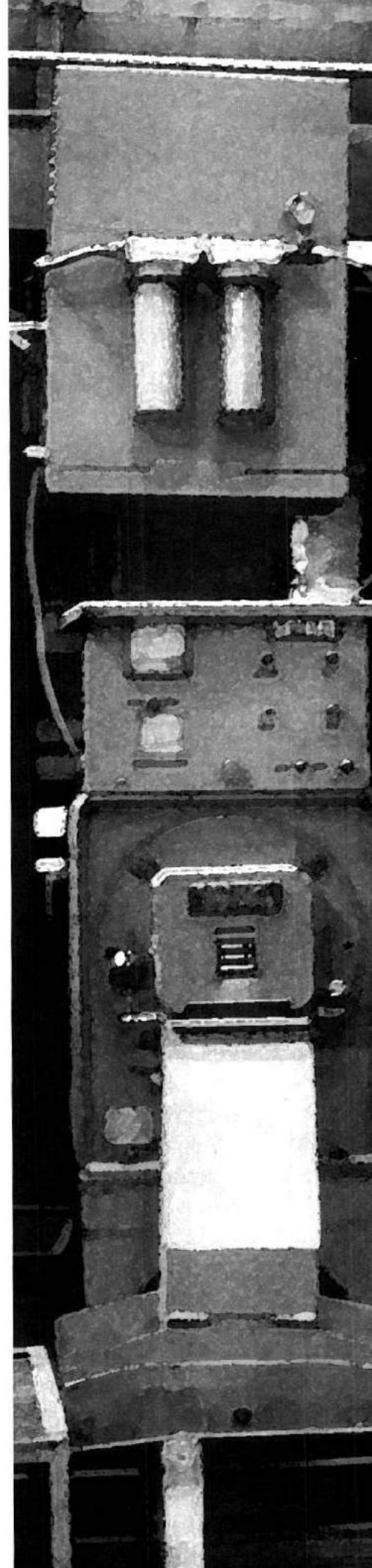
Diseño y dimensionamiento del proceso para la estabilización del salvado de arroz colombiano, utilizando algunas metodologías de ingeniería básica.

Autores

Edgar Mauricio Vargas Solano

Laura Cristina Durán

Andrea Nieto



INTRODUCCIÓN

A nivel industrial son pocas las plantas de estabilización térmica para el SA existentes, sin embargo, a nivel de planta piloto, se han realizado algunas pruebas con resultados finales satisfactorios en cuanto a la disminución del tiempo en que se degrada el salvado y la conservación de las características y propiedades funcionales de este.

La inactivación térmica consiste en eliminar la capacidad de los microorganismos de reproducirse y en reducir la capacidad de las enzimas para llevar a cabo los procesos de degradación, esto se consigue obteniendo las condiciones adecuadas al cambiar la temperatura. El cambio de temperatura puede darse por calor seco o húmedo, siendo el último el más eficiente, en cuanto a tiempos, consumo energético y su acción reductora en la termorresistencia de enzimas y microorganismos.

Avances importantes en procesos de este tipo se han realizado en el Patronato de Investigación Científica y Técnica "Juan de la Cierva" del Consejo Superior de Investigaciones Científicas de Madrid. Una de las patentes consultadas presenta un equipo de estabilización del SA que consiste en una tolva alimentadora, dos unidades inactivadoras, un sistema de secado y finalmente un ciclón para enfriar y almacenar el producto estabilizado.

La descarga de la tolva entra a la primera unidad de inactivación que inyecta vapor húmedo directamente al salvado. La unidad está equipada con un tornillo sin fin para transportar y mezclar el producto, la ventaja de utilizar un sin fin es que este permite la condensación homogénea del vapor sobre las partículas de salvado, garantizando un calentamiento y humidificación uniforme.

Estas condiciones son esenciales ya que las partículas deben tener un contenido de humedad similar al recomendado para llevar a cabo la inactivación de las enzimas. El tratamiento se lleva a cabo a presión atmosférica para que la temperatura permanezca en un valor constante alrededor de los 100 °C durante 2 a 4 minutos en el estabilizador. Por otra parte, la humedad del vapor se regula para que el salvado alcance una humedad final de entre el 10 y el 15%.

A la salida del primer inactivador, el salvado se transporta a un segundo equipo de inactivación que también cuenta con un tornillo sin fin para desplazar el producto hacia la salida. En este caso, el vapor no se inyecta directamente sino que se encuentra confinado en una camisa de vapor alrededor del equipo para garantizar que el salvado alcance la temperatura óptima de tratamiento en caso de que el tiempo en el primer inactivador no haya sido suficiente.

Posteriormente el salvado ya se encuentra estabilizado y se hace pasar por un sistema de secado, donde es arrastrado por una corriente de aire caliente producida por un ventilador, y enfriado con aire para finalmente ciclónarlo y obtener el SA requerido. Esta planta piloto fue diseñada para procesar 400 kg/h de salvado (Amutio *et al.*, 1993).

En otra patente realizada por los mismos autores se describe este mismo procedimiento pero se hace alusión a que el proceso está diseñado para realizarse tanto “con vapor de agua húmedo o seco, y recalentando o no, en un lecho de salvado que se mantiene es estado fluidificado” (Amutio *et al.*, 1972). En este caso, definen tiempos de tratamiento adecuados de 1 a 5 minutos y temperaturas de 100 a 121 °C, condiciones en las cuales no se favorece el desarrollo de reacciones químicas perjudiciales ni de microorganismos. Además se especifica que se debe emplear una temperatura máxima en el secado de 60 °C, siendo 40 °C una temperatura suficiente.

Los equipos descritos anteriormente se pueden clasificar como dispositivos para tratamiento con vapor directo en lecho fluidificado. Sin embargo, también se han diseñado transportadores de tornillo para el tratamiento directo con vapor en lecho móvil (Barber, 1987). Yokochi patentó uno de estos equipos, diseñando unidades estabilizadoras en Japón que consisten en transportadores de tornillo con 3 etapas.

En el primer transportador de tornillo o primera etapa se inyecta vapor (4 kg/cm²) a 95-100 °C por 3 minutos; el SA alcanza una temperatura de 85-90 °C en esta etapa. En la segunda etapa, el salvado es secado haciendo uso de una chaqueta de calefacción con vapor (3-4 kg/cm²) a 145-150 °C con flujo en contracorriente durante un ciclo de 6 minutos; el producto sale una temperatura de 90-95 °C en este paso. Finalmente, el salvado es enfriado con aire y se produce SA estabilizado reduciendo la humedad del 14% al 3-4%. La capacidad de este equipo es de 300-500 kg/h o 500-1000 kg/h, que requiere de una potencia de 7,5 a 10 HP. Con este procedimiento el autor ha comprobado que el salvado estabilizado se puede almacenar por 3 meses. Sin embargo, si se va a realizar extracción de aceite es preferible realizarlo en el primer mes luego del almacenamiento (Juliano, 1985)

Para medir la efectividad de los tratamientos térmicos encontrados en la literatura, se realizaron estudios en la Universidad con el fin de evaluar la influencia de la temperatura y del tiempo de tratamiento en la estabilización del salvado con vapor húmedo. Estas pruebas se llevaron a cabo en el estudio “Estabilización del SA mediante tratamiento térmico para evaluar la conservación de ácidos grasos insaturados y antioxidantes (tocoferoles y tocotrienoles)” se encontró que el SA tratado con vapor húmedo se estabiliza de forma correcta y suficiente con tres minutos de exposición a 100 °C, afectando notablemente la concentración de ácidos grasos libres, tocoferoles y tocotrienoles, sustancias de alto interés y valor funcional en el producto (Guzmán, 2010).

Con base en los procedimientos descritos en las patentes consultadas y las pruebas piloto llevadas a cabo en la Universidad, se procede a realizar el diseño de una planta para el procesamiento del SA en Colombia.

DISEÑO DE UNA PLANTA DE ESTABILIZACIÓN TÉRMICA PARA LA ESTABILIZACIÓN DEL SA COLOMBIANO

Este documento presenta el diseño de una planta para estabilizar SA colombiano por tratamiento térmico, para inhibir la acción de las enzimas que llevan a cabo la hidrólisis y oxidación en el salvado, previniendo la pronta degradación del mismo. El proceso inicia inyectando vapor saturado a 121 °C en contacto directo con el producto por dos minutos. Posteriormente el SA es transportado por un tornillo sin fin con camisa de vapor por otros dos minutos. Finalmente el salvado pasa por un proceso de secado hasta reducir su humedad al 11% y almacenarlo posteriormente.

Planta de estabilización

La materia prima para la planta de estabilización térmica que se va a diseñar es el SA, que en términos generales corresponde a un 8-10% del peso de arroz paddy que se procesa en los molinos arroceros.

Un aspecto importante a considerar es que el tratamiento térmico que se va a realizar sobre el SA debe ser aplicado de forma continua e inmediata luego que el producto se obtenga de los molinos, evitando así una desvalorización del producto por los tiempos de espera.

El diseño se realizó de tal forma que la planta pueda ser usada por cualquiera de los molinos arroceros en Colombia, sin embargo, se tomaron como referencia las condiciones de los molinos de Arroz Diana y Arroz Supremo ubicados en el Espinal, Tolima, donde se realizaron visitas de campo en el mes de diciembre (gráfica 56).



Gráfica 56. Visita a molinos de El Espinal.

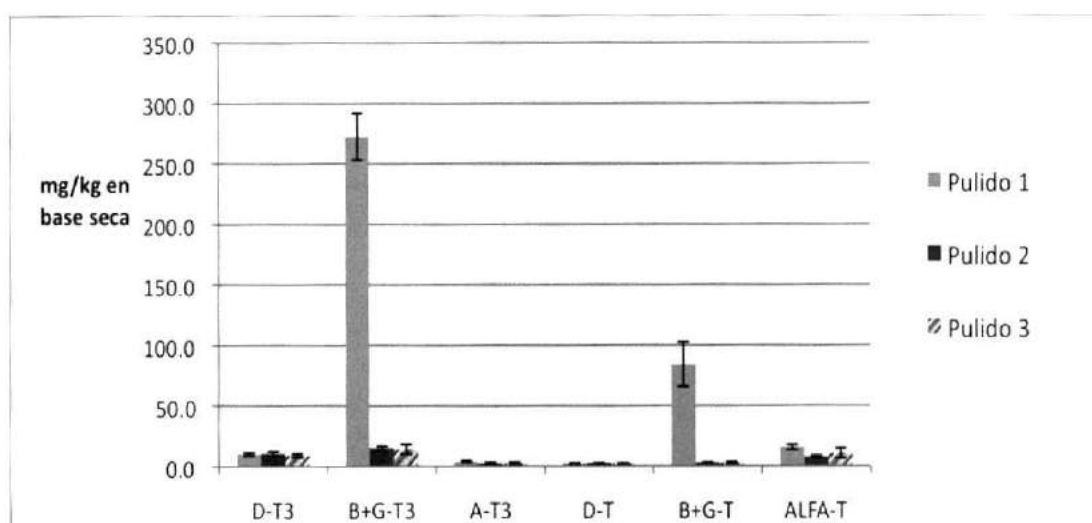
Actualmente, todo el salvado producido en estas plantas que se encuentra entre 12 y 35 toneladas al día dependiendo del molino, el tipo de arroz y la producción, se destina para la venta a empresas productoras de pienso para animales.

Según la caracterización realizada dentro del proyecto cuyo documento es titulado "Estudio del efecto de la variedad de arroz y etapa de pulido en la calidad funcional del SA", el salvado que se obtiene de la primera etapa de molino es el que contiene mayor valor funcional en cuanto a su contenido de antioxidantes, como se pudo observar en la tablas 88 y 89, y gráficas 57 y 58.

La experimentación para la obtención de estos resultados se hizo con muestras obtenidas directamente del proceso industrial de una planta productora de arroz en Villavicencio (Ovalle, 2009).

Tabla 88. Contenido tocotrienoles.

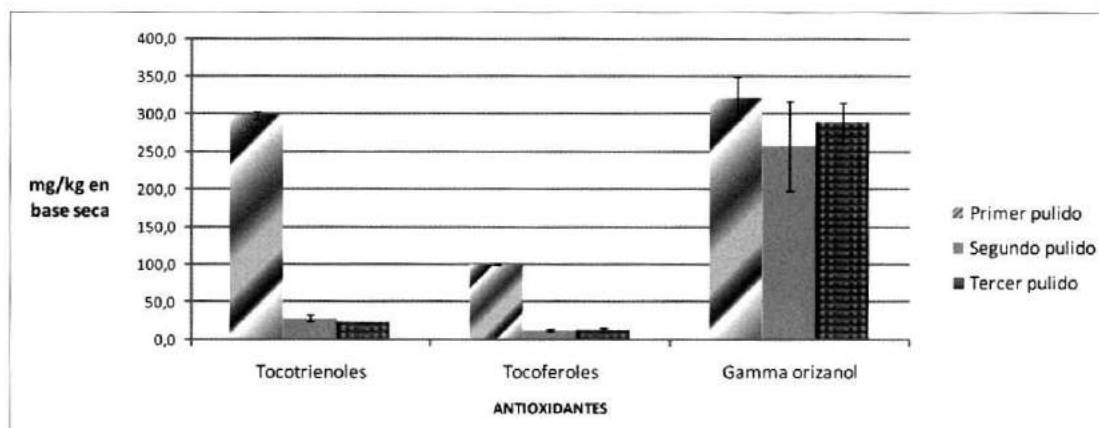
Compuesto	Contenido de antioxidantes (mg/kg base seca)					
	Pulido 1		Pulido 2		Pulido 3	
	Promedio	C.V.	Promedio	C.V.	Promedio	C.V.
D-T3	10,1	1,6	10,5	2,7	8,9	2,2
B+G-T3	272,7	7,1	15,1	9,9	14,2	4,7
A-T3	3,9	21,1	2,1	17,5	2,3	29,4
D-T	2,2	14,0	2,5	1,8	2,2	1,4
B+G-T	84,3	2,4	2,8	5,9	2,7	6,3
ALFA-T	15,6	2,4	7,5	13,4	10,7	25,5



Gráfica 57. Contenido de tocoferoles, tocotrienoles por cada isómero en los diferentes pulidos de proceso. D-T3 (Delta tocotrienoles), B+G-T3 (Beta+gamma tocotrienoles), A-T3 (Alfa tocotrienoles), D-T (Delta tocoferoles), B+G-T (Beta+gamma tocoferoles), Alfa-T (Alfa tocoferoles).

Tabla 89. Contenido total de tocotrienoles, tocoferoles y gamma-orizanol.

Contenido de antioxidantes (mg/kg base seca)						
Antioxidante	Pulido 1		Pulido 2		Pulido 3	
	Promedio	C.V.	Promedio	C.V.	Promedio	C.V.
Tocotrienoles	297,7	1,84	28,7	12,47	23,4	0,93
Tocoferoles	100,0	0,76	12,8	9,19	13,3	15,81
Gamma-orizanol	320,7	8,82	257,9	23,00	288,0	9,21

**Gráfica 58.** Contenido totales de tocoferoles, tocotrienoles en los diferentes pulidos del proceso.

Igualmente en el documento titulado “Estudio del efecto de la variedad de arroz y etapa de pulido en la calidad nutricional del SA”, se demostró que el salvado del primer pulido tiene mayor contenido de grasa, proteína, ceniza y fibra dietaria tras analizar muestras de salvado obtenidas del proceso industrial (tablas 90, 91, 92 y 93, respectivamente). Lo anterior debido a que en las capas externas removidas en la primera etapa de pulido se encuentra la mayor fracción de grasa del grano de arroz y proteínas, entre otros nutrientes (López, 2009).

Tabla 90. Contenido de grasa en el SA industrial para cada etapa de proceso.

Salvado industrial	
Etapa de pulido	GRASA g/100 g muestra seca
PPU1	20,8 ± 0,64
PPU2	19,5 ± 0,94
PPU3	17,0 ± 2,17

Tabla 91. Contenido de proteína en el SA industrial para cada etapa de proceso.

Salvado industrial	
Etapa de pulido	PROTEÍNA g/100 g muestra seca
PPU1	16,7± 0,59
PPU2	12,5 ± 0,51
PPU3	11,8 ± 0,66

Tabla 92. Contenido de ceniza en el SA industrial para cada etapa de proceso.

Salvado industrial	
Etapa de pulido	CENIZA g/100 g muestra seca
PPU1	9,1± 0,82
PPU2	9,4 ± 0,10
PPU3	9,2 ± 0,73

Tabla 93. Contenido de fibra dietaria en el SA industrial para cada etapa de proceso.

Salvado industrial	
Etapa de pulido	FIBRA DIETARIA g/100 g muestra seca
PPU1	26,2± 0,46
PPU2	25,8 ± 1,73
PPU3	25,6 ± 1,34

Por lo anterior, el SA que entraría directamente a un proceso de estabilización sería únicamente el procedente del primer pulido, y el que se obtiene de las otras dos etapas, 2 y 3, se seguiría destinando para el pienso de animales, con previa aprobación de las empresas compradoras.

Equipos para la planta de estabilización térmica

Con base en las patentes consultadas, la planta de estabilización que se plantea consta principalmente de 3 equipos: *Unidad inactivadora 1*, *Unidad inactivadora 2* y *Secador*.

En el momento en el que el SA es recogido de los molinos, debe ser transportado con prontitud hacia el lugar donde se encuentre ubicada la planta de estabilización, que se dispondrá lo más cercano posible a la zona de molienda. En este momento se cuenta

con salvado a temperatura ambiente (30 °C si se realiza en la zona del Espinal, Tolima) y una humedad del 11% en base húmeda.

El SA, cargado en un sistema neumático se introduce en una tolva dosificadora que alimenta la *Unidad Inactivadora 1*. De la tolva dosificadora a este primer equipo de estabilización el transporte de salvado se hace por medio de un tornillo sin fin que garantice que el flujo másico de entrada sea constante y continuo.

La unidad de inactivación es de gran importancia pues es el que va a permitir la primera parte de la estabilización distintiva por la humidificación y calefacción homogénea de las partículas de salvado. Las condiciones de operación garantizan la homogeneidad de la mezcla, una transferencia de calor efectiva y la continuidad del proceso.

El salvado se humidifica y se calienta gracias a los procesos de transferencia de calor y de masa que se llevan a cabo por la inyección directa de vapor al SA, por lo tanto, este equipo se puede considerar como un intercambiador de calor de contacto directo. Para que existan estos procesos de transferencia se deben adecuar inyectores de vapor a la *Unidad inactivadora 1* alimentando vapor saturado a 121 °C proveniente de una caldera. El tiempo de residencia en este equipo debe ser de dos minutos, en los cuales, el salvado deberá aumentar su temperatura de 30 a 121 °C y la humedad del 11% al 19%, controlando el flujo de vapor entrante.

El salvado que sale de la *Unidad inactivadora 1* cae por gravedad a la *Unidad inactivadora 2*, similar a la anterior (con tornillo transportador incluido), equipada con una camisa de vapor en lugar de inyectores, por lo que puede considerarse como un intercambiador de doble tubo. El vapor confinado en la camisa de vapor proviene de la misma caldera que alimenta el vapor a la *Unidad inactivadora 1*.

La transferencia de calor por convección se produce por el flujo de vapor que fluye en la camisa en contracorriente con el flujo de salvado al interior del equipo movido por el transportador de tornillo. El fin de esta etapa del proceso es aumentar la duración del tratamiento térmico para completar los cuatro minutos necesarios para la inactivación según la teoría y garantizar que el salvado cumpla con los requerimientos de temperatura y tiempo.

Para el almacenamiento es necesario que el salvado estabilizado tenga una humedad por debajo del 12%, siendo un valor óptimo de humedad el 9%. Para alcanzar este nivel de humedad se debe realizar un proceso de *Secado*. Para esta operación se presentan dos opciones. Una corresponde a un secador de bandejas, por tratarse de un equipo sencillo y que se encuentra disponible en algunos molinos, por lo que resulta una solución económica.

Sin embargo, no es el tipo de secado más eficiente, debido a las características del producto y a los altos tiempos de residencia, que significan altos consumos de energía. Por estas razones, se propone una segunda opción, que consiste en un Secador de lecho fluidizado, con una etapa final de enfriamiento, que reúne las operaciones de

secado y enfriamiento, y lleva a cabo el proceso en aproximadamente 3 minutos de forma continua (ver diagrama de bloques).

Balances de masa y energía para los equipos

Para la realización de los respectivos balances de masa y energía se tomó como base de cálculo 1000 kg/h de salvado con 11% de humedad en base húmeda, que corresponde al salvado que sale de los molinos y entra a la planta de estabilización.

Unidad inactivadora 1 / Unidad de precalentamiento



Gráfica 59. Unidad inactivadora 1, condiciones conocidas.

Tabla 94. Unidad inactivadora 1, condiciones de entrada conocidas de la corriente de SA.

Corriente de entrada de salvado	
Flujo másico total (kg/h)	1000
Agua (kg/h)	110
Flujo sólido seco (kg/h)	890
T (°C)	30
Humedad (kg agua/kg total)	0,11
Humedad (kg agua/kg sólido seco)	0,12

Tabla 95. Unidad inactivadora 1, condiciones de salida conocidas de la corriente de SA.

Corriente de salida de salvado	
Flujo solido seco (kg/h)	890
T (°C)	121

Tabla 96. Unidad inactivadora 1, condiciones de entrada conocidas de la corriente de vapor saturado.

Corriente de entrada de vapor saturado	
Presión (psig)	15
T (°C)	121

Tiempo de residencia en el equipo: 2 minutos

Se puede conocer la cantidad de calor necesaria para aumentar la temperatura del salvado de 30 a 121°C por medio de la ecuación (7).

$$Q = m_s C_p \Delta T \quad (7)$$

Donde:

M_s = masa de SA, 1000 kg/h

C_p = capacidad calorífica del SA, asumiendo un valor constante y no dependiente de la temperatura y de la humedad para facilidad de los cálculos, 2,15 kJ/kg°C (Sreenayanan & Chattopadhyay, 1986)

ΔT = diferencia de temperatura en °C, 91 °C.

Como resultado, con $Q = 196144$ kJ el salvado aumenta a 121 °C permaneciendo 2 minutos dentro del equipo. A este requerimiento de calor se le suma un factor de corrección del 10% por haberse trabajado con un flujo másico constante de 1000 kg/h de salvado, teniendo en cuenta que este flujo va cambiando con el tiempo por el agua que va siendo condensada y absorbida por el salvado. Por lo tanto el requerimiento de calor Q es de 215759 kJ.

Con el fin de calcular el flujo de vapor necesario para la *Unidad inactivadora 1*, se asume que el vapor saturado no cambia sus condiciones de presión y temperatura durante el proceso y que el SA absorbe todo el calor latente cedido por el vapor en su proceso de condensación.

$$Q = m_v H^{vap} \quad (8)$$

Conociendo Q y la entalpía de vaporización a $121\text{ }^{\circ}\text{C} = 2199,4\text{ kJ/kg}$, se calcula el flujo másico de vapor necesario para este aumento de temperatura.

$$m_v = 98,1\text{ kg vapor/h.}$$

Si se supone que todo el vapor se condensa y es absorbido por el SA, la cantidad de agua al final de esta primera etapa del proceso sería de $208,1\text{ kg/h}$, lo cual corresponde a una humedad final de 24% en base seca y 19% en base húmeda.

El resumen de los datos obtenidos se puede observar claramente en el diagrama de bloques y diagrama de flujo del proceso.



Gráfica 60. Unidad inactivadora 2, condiciones conocidas.

Tabla 97. Unidad inactivadora 2, condiciones de entrada conocidas de la corriente de SA.

Corriente de entrada de salvado	
Flujo másico total (kg/h)	1098,1
Agua (kg/h)	208,1
Flujo sólido seco (kg/h)	890
T ($^{\circ}\text{C}$)	121
Humedad (kg agua/kg total)	0,19
Humedad (kg agua/kg solido seco)	0,24

Tabla 98. Unidad inactivadora 2, condiciones de entrada conocidas de la corriente de vapor saturado.

Corriente de entrada de vapor saturado	
Presión (psig)	15
T ($^{\circ}\text{C}$)	121

El equipo en esta segunda parte del proceso es un intercambiador de calor de doble tubo en contracorriente que recibe como fluido caliente en su chaqueta de calefacción, un flujo de vapor saturado producido por la misma caldera que proporciona el vapor al primer inactivador.

El flujo de vapor en este equipo no va a ser continuo, pues el objetivo es solo mantener el SA por 2 minutos más a la humedad y temperatura establecidas, por lo tanto debe contar con un sistema de control de temperatura para que en dado caso en que la temperatura disminuya, un chorro de vapor sea inyectado a la camisa de calefacción.

Para calcular el flujo de vapor que se necesitaría inyectar, se hace la suposición de que desde la salida de la *Unidad inactivadora 1* hasta la entrada de la *Unidad inactivadora 2*, la temperatura decae 5 °C. De modo que, haciendo uso de la ecuación (7), donde:

$$m_s = \text{masa de SA, } 1098,09 \text{ kg/h}$$

C_{p_s} = capacidad calorífica del SA, asumiendo un valor constante y no dependiente de la temperatura y de la humedad para facilitar los cálculos, 2,5 kJ/kg°C (Sreenarayanan & Chattopadhyay, 1986)

ΔT = diferencia de temperatura en °C, 5 °C

$$Q = 13756,1 \text{ kJ}$$

Y con la ecuación (8), se puede calcular el flujo de vapor que habría que suministrar en dado caso se dé esta disminución de temperatura.

A este flujo másico de vapor también es necesario agregarle un 10% como factor de corrección en esta ocasión, porque solo se está teniendo en cuenta que en el intercambiador se lleva a cabo transferencia de calor por convección y no por conducción y que el sistema se encuentra perfectamente aislado.

Como resultado se obtiene:

$$m_v = 6,88 \text{ kg vapor/h.}$$

El resumen de los datos obtenidos se puede observar claramente en el diagrama de bloques y diagrama de flujo del proceso.

Entre el primer y segundo equipo descritos el requerimiento de vapor se encuentra resumido en la tabla 99.

Tabla 99. Flujo de vapor necesario.

Flujo másico de vapor necesario	
104,98	kg/h
231,44	lb/h
Flujo volumétrico de vapor necesario	
90,91	m ³ /h

Con este flujo y la entalpía del vapor saturado se calcula la capacidad de la caldera en BHP, sabiendo que 1BHP= 33472 Btu/h.

Tabla 100. Capacidad de la caldera.

269372,066	Btu/h
8,05	BHP

Secador

Pruebas de secado

Se realizaron pruebas experimentales a nivel planta piloto de la Universidad Jorge Tadeo Lozano con salvado traído directamente de planta. El objetivo de la experimentación fue simular en el equipo el proceso de secado, fijando condiciones de temperatura, velocidad del aire, flujo transversal o paralelo de aire sobre el SA y altura del lecho.

De la experimentación se obtuvo la curva de secado del SA, con el fin de tener una aproximación del tiempo de secado y definir los períodos de velocidad constante y decreciente en el proceso.

El secador de bandejas de planta piloto cuenta con dos bandejas en malla de dimensiones 16 x 24,5 x 2,5 cm. Se fijó la temperatura de secado a 40 °C y la velocidad de aire es 3,4 m/s con flujo en paralelo al producto. Se secaron 300 g de SA, 150 g por bandeja, con una altura del lecho de 2 cm y una humedad inicial del 19%. Se realizaron 2 réplicas y los resultados obtenidos se encuentran en la tabla 101 y gráfica 61. Se puede observar que para alcanzar una humedad del 9% el tiempo de secado necesario bajo estas condiciones es de 2 horas.

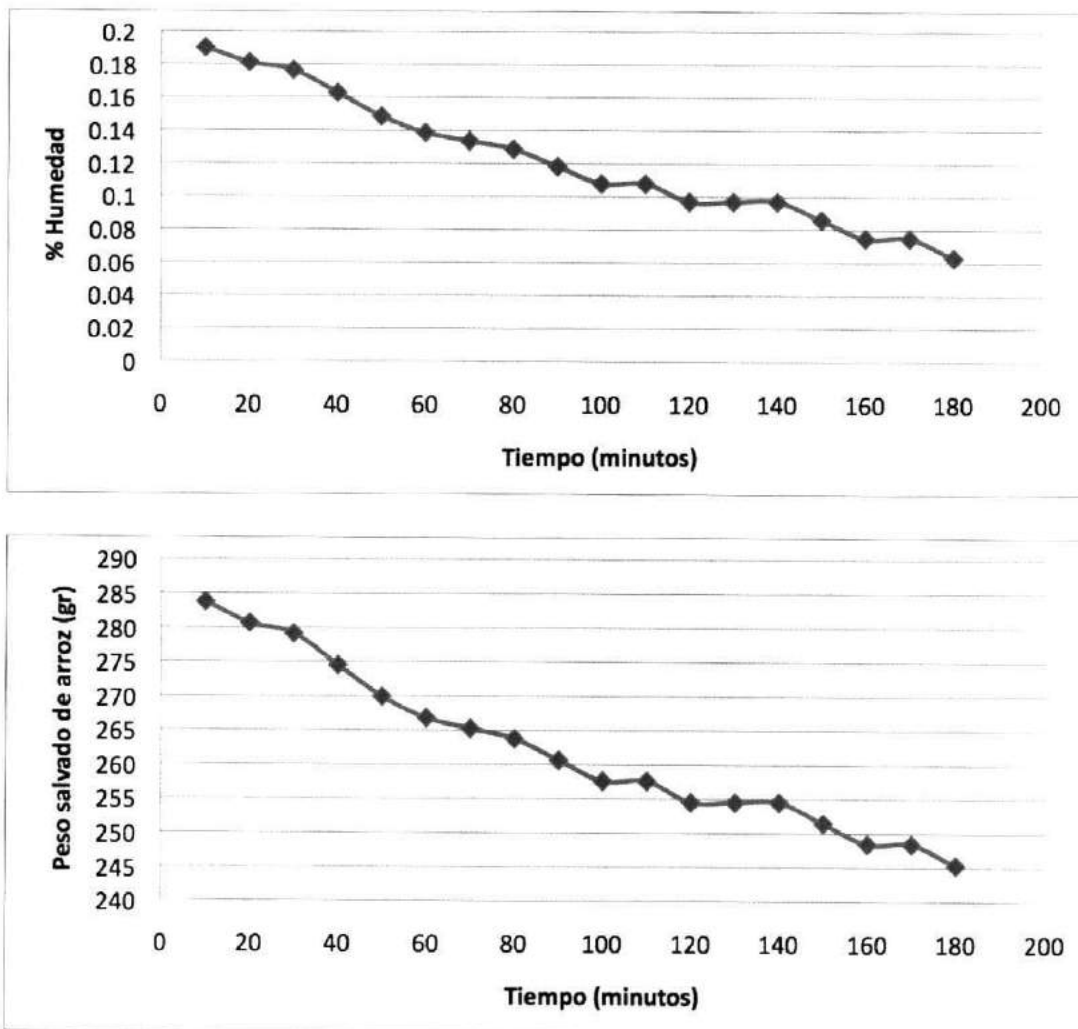
Tabla 101. Resultados del proceso de secado de SA en planta piloto en un secador de bandejas.

Condiciones: Agua inicio: 53.9125

Salvado seco: 229.8375

H inicial: 0.19

Tiempo (min)	Peso total	Peso salvado	g agua	Base húmeda	Base seca
10	447,35	283,75	53,9125	0,19	0,2345679
20	444,25	280,65	50,8125	0,181052913	0,22108011
30	442,7	279,1	49,2625	0,176504837	0,21433622
40	438,1	274,5	44,6625	0,162704918	0,19432208
50	433,5	269,9	40,0625	0,148434605	0,17430793
60	430,4	266,8	36,9625	0,138540105	0,16082014
70	428,85	265,25	35,4125	0,133506126	0,15407625
80	427,35	263,75	33,9125	0,128578199	0,1475499
90	424,25	260,65	30,8125	0,11821408	0,13406211
100	421,2	257,6	27,7625	0,10777368	0,12079186
110	421,2	257,6	27,7625	0,10777368	0,12079186
120	418,1	254,5	24,6625	0,096905697	0,10730407
130	418,1	254,5	24,6625	0,096905697	0,10730407
140	418,1	254,5	24,6625	0,096905697	0,10730407
150	415,05	251,45	21,6125	0,085951481	0,09403383
160	412	248,4	18,5625	0,074728261	0,08076358
170	412	248,4	18,5625	0,074728261	0,08076358
180	408,9	245,3	15,4625	0,063035059	0,06727579



Gráfica 61. Curva de secado del SA

Las curvas muestran que el secado se lleva a cabo en el período de velocidad decreciente, lo cual se tiene en cuenta para el dimensionamiento de los equipos. Para el caso del secador de bandejas, las condiciones fijadas se mantienen constantes, si se escoge esta opción, esta parte del proceso se realizaría *batch* a diferencia del resto de la estabilización que se está planteando por proceso continuo.

Diseño de un secador de lecho fluidizado

Los secadores de lecho fluidizado son ampliamente usados para el secado de partículas húmedas y materiales granulados que pueden ser fluidizados, e incluso pastas y suspensiones que pueden fluidificarse en lechos de materiales inertes (Law & Mujumdar, 2007; Perry, 2001).

La operación en lechos fluidizados ofrece ventajas importantes como el mezclado apropiado de los sólidos, altas tasas de transferencia de masa y energía y la facilidad del transporte de los materiales. Para el secado de materiales con un tamaño de partícula de entre 50 y 2000 μm el secado por lecho fluidizado compite exitosamente con otros secadores de tipo convencional (Law & Mujumdar, 2007).

Los secadores convencionales de lecho fluidizado consisten en pasar una corriente de aire por el fondo de un lecho de sólidos particulados. Inicialmente el lecho está estático, pero a medida que se va aumentando la velocidad del aire la caída de presión aumenta y eventualmente el aire está soportando el lecho. Este estado se conoce como fluidización mínima y la velocidad del gas correspondiente se conoce como velocidad mínima de fluidización (U_{mf}). La caída de presión permanece casi constante en el valor de mínima fluidización, así se incrementa la velocidad (Law & Mujumdar, 2007; Riveros, 2007).

Un lecho fluidizado se opera normalmente a velocidades superiores a la velocidad mínima de fluidización, en general, se utilizan valores de 2-4 U_{mf} aunque para partículas con un alto contenido de humedad se utilizan valores hasta de 50 U_{mf} (máximo) (Law & Mujumdar, 2007).

Para poder realizar el dimensionamiento del secador es necesario calcular la caída de presión, e igualando este valor con el peso del lecho, hallar la velocidad mínima de fluidización y así fijar las condiciones para el diseño.

Para hallar la caída de presión en el lecho se usa la ecuación de Ergun, que predice la caída de presión para un alto intervalo de velocidades de flujo para partículas suspendidas (McCabe, 2005) (ecuación 9).

$$\frac{\Delta p}{L} = \frac{150 \bar{V}_o \mu (1-\varepsilon)^2}{\Phi_s^2 D_p^2 \varepsilon^3} + \frac{1.75 \rho \bar{V}_o^2 (1-\varepsilon)}{\Phi_s D_p \varepsilon^3} \quad (9)$$

En donde \bar{V}_o es la velocidad del ducto vacío, μ es la viscosidad del fluido, φ es la esfericidad de la partícula, D_p es el diámetro de la partícula y ε la porosidad. Usando la velocidad de las pruebas de secado, la viscosidad del aire a la temperatura de operación (60 °C), y los valores correspondientes de la partícula: esfericidad 0,69, diámetro 450 μm y esfericidad 0,5 se encuentra una caída de presión de 3,45 psig para un lecho de 5 cm. Igualando este valor al peso del lecho se puede hallar la velocidad mínima de fluidización a partir de las ecuaciones (McCabe, 2005):

$$U_{mf} = \left(\frac{\Phi_s D_p g (\rho_p - \rho) \varepsilon^3}{1.75 \rho} \right)^{1/2} \quad (10)$$

$$\varepsilon_M = \left(\frac{0.071}{\Phi} \right)^{1/3} \quad (11)$$

Donde, ε_m es la porosidad mínima que se halla de acuerdo a la ecuación. A partir de las ecuaciones se encuentra un valor de velocidad mínima de fluidización de 0.26 m/s. Con base en este valor se halla que la velocidad de operación escogida de 3.4 m/s corresponde a aproximadamente doce veces la velocidad mínima de fluidización, lo cual asegura que el lecho se encuentra fluidizado y que son pocas las partículas que son arrastradas por el gas que sale del lecho.

Una vez se tiene la velocidad de operación, se fijan otras condiciones para poder diseñar el secador. Para el secado en lecho fluidizado se ha demostrado que las partículas se calientan hasta la temperatura de bulbo húmedo, por tanto la temperatura de bulbo seco del gas puede ser alta, ya que la mezcla es tan rápida que la temperatura del gas es casi uniforme a la salida y en todo el lecho. De acuerdo a esto, a partir de la tabla psicrométrica se determina que para una temperatura de bulbo seco de 60 °C la temperatura de bulbo húmedo es de 32 °C, la cual se encuentra dentro de los límites de operación para la conservación de los componentes de interés nutricional y funcional del SA (Himmelblau, 1997).

Posteriormente, se halla el tiempo de residencia para las partículas. Para un secador continuo y una operación de secado que se lleve a cabo en el período de velocidad decreciente, como lo indican las pruebas de secado llevadas a cabo en el laboratorio, se utiliza la siguiente ecuación (Law & Mujumdar, 2007):

$$t_R = \frac{X_0 - X}{k} \quad (12)$$

Donde, k es la constante de la velocidad de secado, que se obtiene como la pendiente de la curva de secado y que para el caso es de 0,0007 y X es la humedad. A partir de esta ecuación se obtiene un tiempo de residencia de 142,85 s. Con este dato se calcula el área del lecho que está dada por (Law & Mujumdar, 2007):

$$A = \frac{F_s t_R}{\rho_b H_b} \quad (13)$$

Donde F_s es el flujo de sólidos en Kg/s, t_R el tiempo de residencia, ρ_b y H_b la densidad y la altura del lecho respectivamente. En este caso la densidad es de 450 Kg/m³ y la altura se fija como 5 cm, teniendo en cuenta las pruebas de secado que se realizaron en el laboratorio y los valores sugeridos por la literatura para operaciones de secado en lecho fluidizado. Usando estos datos se obtiene un área del lecho de 4,57 m².

Teniendo como referencia los datos hallados, se calcula el flujo de gas necesario a partir de la ecuación:

$$G_g = \rho_g u_g A \quad (14)$$

En donde ρ es la densidad y u la velocidad del gas, respectivamente. Usando esta ecuación se obtiene un flujo de 6,22 Kg/s de aire. Este aire se acondiciona previamente para cumplir con las especificaciones de temperatura y capacidad de secado (humedad relativa).

Una vez se tienen estos datos se realizan balances de materia y energía para obtener los valores de humedad final y temperatura final del gas, esto para verificar que las condiciones de salida no produzcan condensación.

Balance de masa

$$F_s (X_{in} - X_{out}) = G_g (Y_{out} - Y_{in}) \quad (15)$$

Obteniendo una humedad final del gas de 0,01 Kg agua/Kg aire.

Para el balance de energía se asumen pérdidas por conducción en la pared del 5% del calor proporcionado por el aire. Así el balance se plantea como:

$$F_s H_{s-in} + G_g H_{g-in} = F_s H_{s-out} + G_g H_{g-out} + 0.05 G_g H_{g-in} \quad (16)$$

De este modo, se encuentra que la temperatura final del gas es de 52 °C, con este valor y la humedad final se encuentra el punto de rocío que corresponde a 26 °C en la tabla psicrométrica (Himmelblau, 1997), mostrando una diferencia de 38 °C, suficiente para asegurar que no hay riesgo de condensación en la salida.

Especificaciones técnicas

Tolva de alimentación y alimentadores de tornillo

Con el fin de garantizar una cantidad exacta de entrada del producto (SA) al proceso de estabilización, se hace necesario el uso de una tolva de alimentación acoplada a un dosificador de tornillo, pues es ésta clase de sistema de alimentación volumétrico, la apta para la dosificación de productos de granulometría extrafina como lo es el SA. Dependiendo del número de giros y del paso de tornillo sin fin se dosifica la cantidad de producto requerida.

Las partes de los equipos en contacto con el producto deben ser de acero inoxidable y el resto en láminas de aluminio. La tolva (T-101 en el diagrama de flujo del proceso) es una pirámide regular invertida de base rectangular o cuadrada, a la que se encuentra conectado el tornillo dosificador. La tolva deberá almacenar como mínimo 1 tonelada de SA; por seguridad es mejor adquirir una tolva de mayor capacidad: 1,5 toneladas de SA. Teniendo en cuenta la densidad aparente del SA (400 kg/m^3), este peso ocuparía $3,75 \text{ m}^3$, por lo tanto una tolva de 4 m^3 de volumen sería adecuada.

En el diseño de una tolva, el ángulo de reposo, que es el ángulo que forma el talud natural de un montón del material dependiendo de su tamaño de partícula y humedad, es un factor importante a considerar pues permite que el sólido fluya adecuadamente en la descarga y no se produzca un estancamiento del material. Para el caso del SA, su ángulo de reposo equivale a 50° , el cual debe ser el ángulo de la tolva de alimentación en su parte inferior.

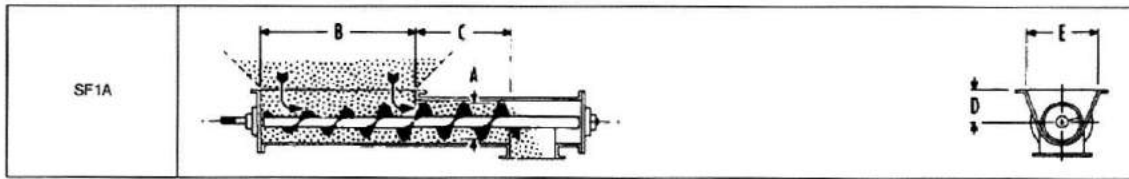
En el caso del tornillo alimentador (E-101 en el diagrama de flujo del proceso), se siguieron las normas del CEMA para el diseño de tornillos transportadores (Martin, 2009). El tornillo adecuado es horizontal, con hélice de diámetro variable, utilizado como extractor-dosificador de sólidos de tolvas. Usualmente la entrada suele ser inundada con material (aproximadamente un 95%) y luego uno o más tornillos de paso variable transportan el material hasta la salida a la tasa requerida.

Los alimentadores tipo 1 (gráfica 62) de paso estándar (paso igual al diámetro); son aptos para materiales con un porcentaje considerable de grumos y para los casos en que es necesario extraer uniformemente el material a través de toda la longitud de la abertura de entrada con el fin de eliminar áreas muertas o inertes del material, en la parte delantera de la abertura.

Para alimentar 1000 kg/h equivalentes a $118 \text{ ft}^3/\text{h}$, se puede usar un tornillo de diámetro en la parte final de 6" (15,24 cm), girando a 25 rpm y con una longitud de 1,22 m. Lo anterior se dedujo a partir de la información contemplada en la gráfica 62.

Typical Type 1

Feeder Type	Inlet Opening	Material Removal	Pitch	Feeder Screw Diameter	Extended Screw
SF1A	Standard	Uniform Full Length of Inlet Opening	Standard	Tapered	None
SF1B	Standard	Forepart Only of Inlet Opening	Standard	Uniform	None
SF1C	Standard	Uniform Full Length of Inlet Opening	Standard	Tapered	As Required
SF1D	Standard	Forepart Only of Inlet Opening	Standard	Uniform	As Required

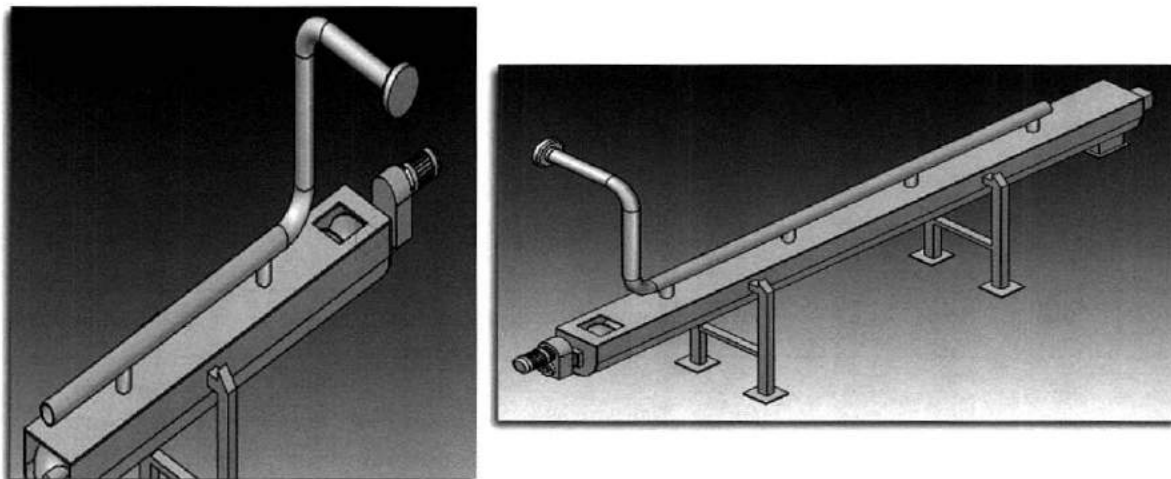


Feeder Diameter A	Maximum Lump Size	Maximum Speed RPM	Capacity Cubic Feet per Hour		B	C	D	E	Extended Screw Diameter F		
			At One RPM	At Maximum RPM					Trough Loading %		
									15	30	45
6	¾"	70	4.8	336	36	12	7	14	12	9	9
9	1½"	65	17	1105	42	18	9	18	18	14	12
12	2"	60	44	2640	48	24	10	22	24	18	16
14	2½"	55	68	3740	54	28	11	24		20	18
16	3"	50	104	5200	56	32	11½	28		24	20
18	3"	45	150	6750	58	36	12½	31			24
20	3½"	40	208	8320	60	40	13½	34			
24	4"	30	340	10200	64	48	16½	40			

Gráfica 62. Especificaciones para alimentadores de tornillo.

Un tornillo de estas mismas especificaciones pero de diámetro uniforme, se usa para el transporte del SA desde unas unidades del proceso a otras, como se puede observar en el diagrama de flujo que se encuentra en una sección posterior. La longitud de cada tornillo dependerá en este caso de la distancia que se encuentre entre un equipo y otro. Los tornillos sin fin E-102 y E-103 son tornillos dosificadores, el primero para la alimentación al Secador y el segundo para cargar bultos de 50 kilogramos cada uno para la posterior venta y comercialización.

Unidad inactivadora 1



Gráfica 63. Esquema 3D de la Unidad inactivadora 1

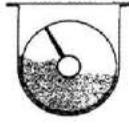
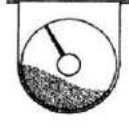
Este equipo corresponde al ID-101 en el diagrama de flujo de proceso. Por tratarse de una planta de procesamiento de alimentos se debe usar como material del equipo acero inoxidable A304. La cubierta o canal que soporta el tornillo transportador es fabricada en láminas de acero; su parte inferior tiene la forma de un semicilindro y debe ser cerrada por la parte de arriba con una tapa del mismo material, debido a la inyección del vapor saturado al interior. Esta cubierta se suele fabricar de 2 a 8 mm de espesor y las espiras del tornillo se fabrican de 4 a 8 mm de espesor (Miravete & Larrodé, 1996). En uno de sus extremos debe tener acoplado el dispositivo cargador, en este caso una tolva de alimentación y en otro extremo un descargador que alimentará la *Unidad inactivadora 2*.

El transportador de tornillo sin fin debe ser de posición horizontal por los requerimientos del proceso.

Un factor importante para el diseño del tornillo sin fin es tener en cuenta las características físicas, químicas y peligros del material a transportar. Para el caso del salvado transportado con un sistema sin fin se tiene que

Salvado	
Código del material:	B6 3 5 NY
Peso:	288,324 Kg/mt ³
Factor de potencia:	.5
Rodamiento:	L-S-B
Factor de carga del transportador:	30A%
Características generales: De tamaño fino, pasa una malla N ^º 6 (.132") y menos. Es un material de fluidez promedia. Su abrasividad es normal. Peligro de explosión. Es muy ligero, y el viento puede levantarlo [15].	

El siguiente factor importante a considerar es la capacidad del tornillo y la velocidad a la que debe girar. Por los requerimientos del proceso la capacidad del equipo debe ser de 118 ft³/h. Considerando que el factor de carga del transportador recomendado para este tipo de material es de 30 A% y siguiendo la gráfica 64, para un diámetro del tornillo entre 9 y 10 pulgadas se necesitaría una velocidad de entre 15 y 20 rpm para cumplir con la carga.

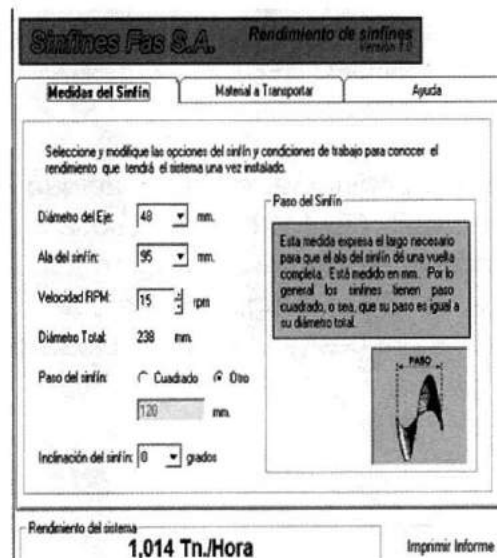
Trough Loading	Screw Size Inch	Capacity Cubic Feet Per Hour (at 15 RPM)		Max. RPM	
		At One RPM	At Max RPM		
45%		4	0.62	114	184
		6	2.23	388	185
		8	8.20	1270	155
		10	11.40	1710	150
		12	19.40	2820	145
		14	31.20	4370	140
		16	48.70	8060	130
		18	67.80	8120	120
		20	93.70	12000	110
		24	164.00	18400	100
30	323.00	29070	90		
30% A		4	0.41	53	130
		6	1.48	180	120
		8	5.45	545	100
		10	7.57	720	98
		12	12.90	1160	90
		14	20.80	1770	85
		16	31.20	2500	80
		18	45.00	3380	75
		20	62.80	4370	70
		24	109.00	7100	60
30	218.00	12960	50		

Gráfica 64. Tabla de capacidad para tornillos sin fin horizontales.

Haciendo uso de los parámetros de diseño que emplean empresas constructoras de tornillos transportadores sin fin, y según la capacidad del equipo (1000 kg/h), un diámetro del transportador de 24 cm y una velocidad de 15 rpm son adecuados. El tornillo sería de tipo paso medio y helicoides sencillas, que como su nombre lo dice, el paso es reducido a la mitad del paso estándar y es apropiado para retardar el flujo de los materiales (Gusmeroli, 2009).

Un paso constante del tornillo de 12 cm y una longitud de 3,6 metros serían adecuados para cumplir con el tiempo de residencia de 2 minutos en el equipo.

Con un programa de cálculo proporcionado por una empresa fabricante de tornillos transportadores sin fin se calcula el rendimiento considerando sus medidas, tipo de material a transportar, inclinación, etc. (Sinfines, 2010).



Sinfines Pas S.A. Rendimiento de sinfines

Medidas del Sinfin | Material a Transportar | Ayuda

Seleccione y modifique las opciones del sinfin y condiciones de trabajo para conocer el rendimiento que tendrá el sistema una vez instalado.

Diámetro del Eje: 48 mm.

Ala del sinfin: 95 mm.

Velocidad RPM: 15 rpm.

Diámetro Total: 238 mm.

Paso del sinfin: Cuadrado Otro

120 mm.

Inclinación del sinfin: 0 grados.

Paso del Sinfin

Esta medida expresa el largo necesario para que el ala del sinfin dé una vuelta completa. Está medido en mm. Por lo general los sinfines tienen paso cuadrado, o sea, que su paso es igual a su diámetro total.

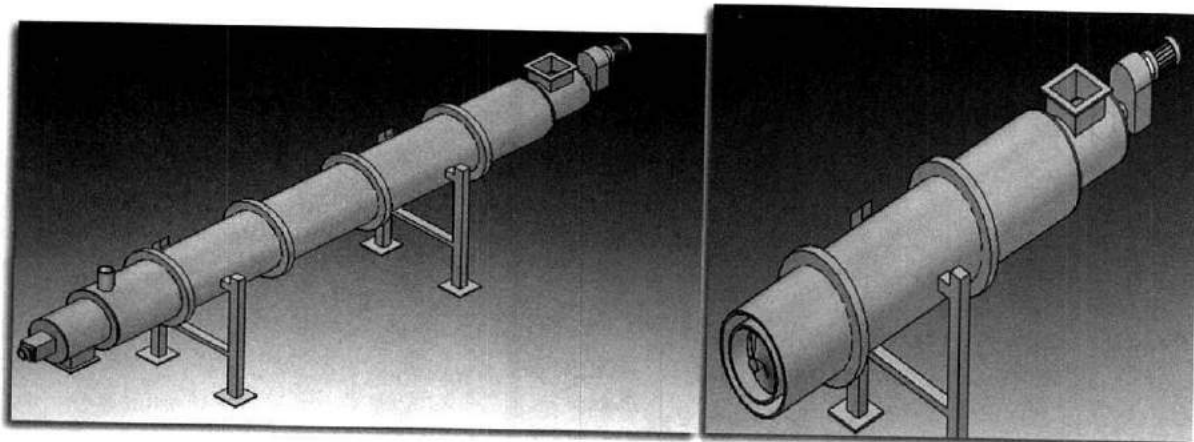
PASO

Rendimiento del sistema: **1,014 Tn/Hora**

Imprimir Informe

Gráfica 65. Rendimiento del tornillo sin fin.

Unidad 2nactivadora 2



Gráfica 66. Esquema 3D de la Unidad inactivadora 2

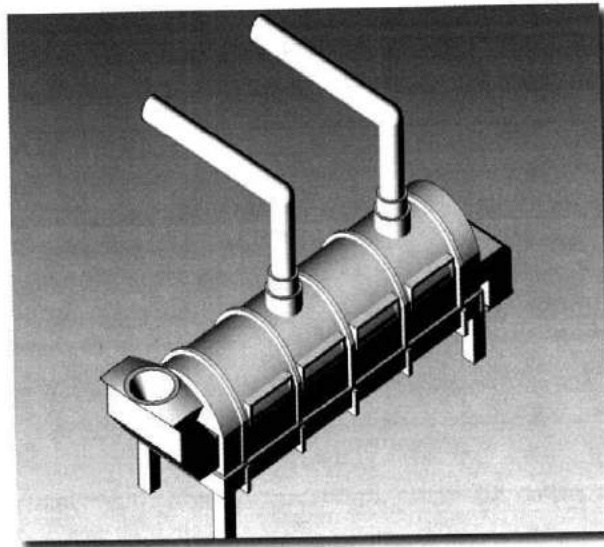
Este equipo corresponde al I-101 en el diagrama de flujo de proceso. En términos de dimensiones la *Unidad inactivadora 2* es igual a la primera, pues también consta del mismo tornillo sin fin que permitirá al producto permanecer dentro del equipo por dos minutos.

La diferencia es que en lugar de los inyectores de vapor, tiene una camisa de calefacción por la cual fluye vapor saturado a 121 °C, pero este flujo de vapor no es un flujo continuo.

El equipo cuenta con un sistema de control en el que un sensor de temperatura ubicado al final del tornillo sin fin, mide la temperatura del SA que se encuentra dentro del equipo. Este sensor envía la señal a un transmisor de temperatura que capta la variable de proceso y la transmite en forma de señal electrónica a un controlador indicador de temperatura, que compara la variable controlada (temperatura) con un valor deseado, que en este caso es 121 °C, y ejerce una acción correctiva de acuerdo con la desviación. Este controlador envía la señal al elemento final de control, una válvula eléctrica, que va a permitir modificar el caudal del fluido y abrir paso para la entrada de un chorro de vapor que permita mantener el salvado a la temperatura requerida.

Si el vapor saturado entra al equipo, el calor se transfiere a través de las paredes al salvado y el vapor se condensa, comenzando a acumularse en el espacio destinado al vapor dentro del equipo. Por lo anterior se hace necesario el uso de una trampa para vapor que drene el condensado sin permitir la fuga de vapor. Se puede usar un tipo de trampa de vapor mecánica de flotador de palanca.

Secador



Gráfica 67. Esquema 3D del Secador de lecho fluidizado

Este equipo corresponde al S-101 en el diagrama de flujo de proceso. Como se mencionó anteriormente, el hecho de usar un secador de bandejas es una opción sencilla y facilita los cálculos de diseño.

Sin embargo, esto implicaría que esta parte del proceso sería *batch* a diferencia del resto de la estabilización en proceso continuo y se requeriría un área demasiado grande de secado, por ejemplo 40 bandejas en 2 niveles de aproximadamente $2 \times 1,6 \times 0,02$ m con 25 kg por bandeja, para cumplir el requerimiento de procesar 1 tonelada por hora y manteniendo la altura del lecho de 2 cm como se realizó en las pruebas piloto en la Universidad.

Considerando este hecho, se decidió consultar y cotizar con compañías expertas en temas de secado y la conclusión fue que además de las desventajas de tamaño del equipo, también se requerirían altos volúmenes de aire y por tanto un alto consumo de energía por tratarse de temperaturas de proceso muy bajas.

Lo anterior, sumado al hecho de que la humedad contenida en el salvado está libre o desligada según la curva de secado, indica que es recomendable un secado rápido para hacer más eficiente el proceso. Por estas razones se diseña un secador de lecho fluidizado como la opción más conveniente para la operación, además se adecua una última etapa en el equipo que incorpora la etapa de enfriamiento en un solo paso.

El secador que se propone es un secador de lecho fluidizado por etapas, este tipo de secador permite acoplar diferentes condiciones de acuerdo a las necesidades

del proceso. En este caso, se diseña un secador con una etapa final de enfriamiento con aire a temperatura ambiente para descargar el salvado listo para empaquetar. Estas integraciones significan una reducción en requerimientos de espacio, costos de instalación y consumo de energía (Law & Mujumdar, 2007).

Para garantizar una fluidización estable y uniforme se escoge un distribuidor ordinario, de acuerdo al tamaño de partícula del salvado y al tipo de flujo que en este caso es transversal directo hacia arriba. La caída de presión del distribuidor debe ser de 1 psig para garantizar la fluidización uniforme del producto. Las dimensiones del secador se calcularon de acuerdo a los requerimientos de área del lecho, obteniendo un secador de base rectangular de 2,34 m de largo y 0,78 m de profundidad, lo cual corresponde a una relación de 3 L/W, recomendada en la literatura para garantizar un flujo completamente mezclado y continuo (Barreira, 2007; Perry, 2001).

El cuerpo del secador muestra una concavidad hacia abajo, la cual se recomienda con el fin de incrementar el flujo de gas en la parte superior del lecho. El material de construcción recomendado es de acero inoxidable por tratarse de alimentos. La alimentación y descarga del equipo se realizan por ductos con un ángulo de inclinación de 50° para garantizar el flujo continuo del salvado.

Aunque el secador que se propone es de tipo convencional, es decir, el movimiento de los sólidos se realiza por el transporte tipo fluido del sistema fluidizado, se recomienda la implementación de un lecho con vibración, ya que la vibración combinada con un flujo de aire hacia arriba puede hacer que las partículas se fluidifiquen de forma sencilla y suave; adicionalmente, la velocidad mínima de fluidización se reduce considerablemente por la acción de la vibración. Por otra parte, el desgaste entre partículas y con las paredes se minimiza de forma apreciable (Law & Mujumdar, 2007).

La instrumentación necesaria para el control del equipo corresponde a sensores de temperatura y presión convencionales, con el fin de garantizar que las condiciones al interior del equipo sean adecuadas para la operación y que se encuentren dentro de los niveles de seguridad. Para el caso de la temperatura el valor límite del gas es de 60 °C y para la presión una caída máxima de 4 psig para mantener la condición de fluidización del lecho, con un tubo de purga de 0,9 m/s (Perry, 2001).

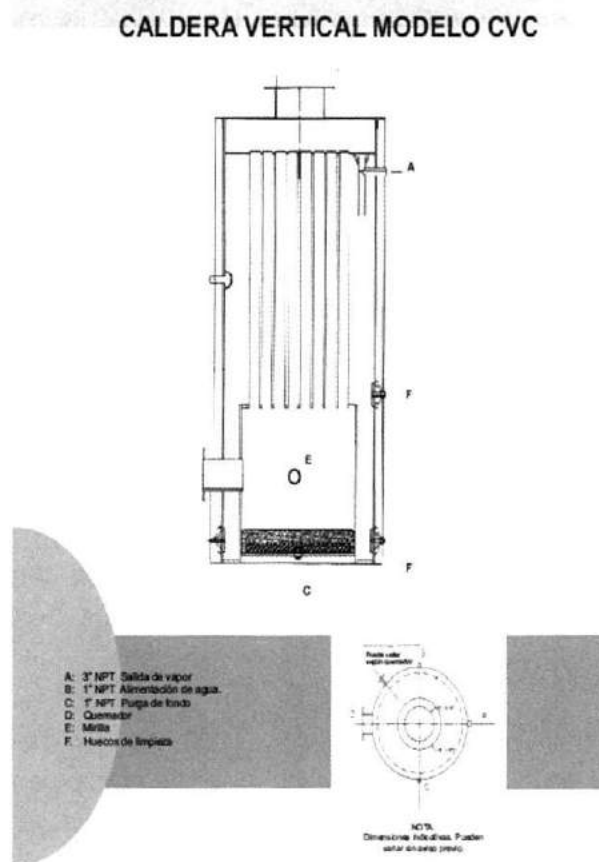
Caldera

La caldera adecuada según los balances de energía debe tener una capacidad de 8BHP. Según la empresa Calderas Continental de Colombia, las especificaciones de la caldera adecuada para este proceso son las siguientes:

CALDERA DE 10 BHP VERTICAL

Una caldera vertical	Marca "CONTINENTAL"
Modelo	CVC10C-G
Operación	On-Off
Capacidad	10 BHP
Generación a 212 °F	345 Libras/hora
Presión de trabajo máxima	150 Psig
Presión de prueba hidrostática	225 Psig
Combustible	Gas natural o gas propano
Para operar a	La altura de Espinal, Tolima

La caldera vertical modelo CVC tiene la siguiente estructura:



Gráfica 68. Plano caldera vertical modelo CVC (Calderas Continental Ltda).

Y las especificaciones según catálogo suministrado por el proveedor son las siguientes, considerando que el modelo CVC10C se asemeja al CVC15C.

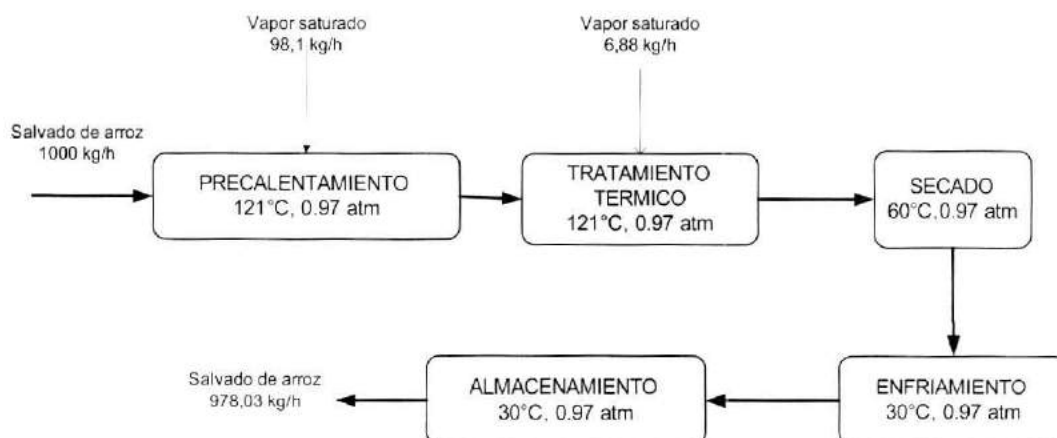
DATOS TÉCNICOS CALDERA VERTICAL					
	MODELO CVC				
	MODELO CVC15C	MODELO CVC20C	MODELO CVC30C	MODELO CVC40C	MODELO CVC50C
Capacidad de caldera BHP	15	20	30	40	50
BTU/HORA x 1000	502	670	1,004	1,340	1,675
Generación de vapor Lb / hora a 212 °F	518	690	1,035	1,380	1,725
Consumo de aceite No 2 G.P.M	4,5	6	9	12	15
Consumo de gas natural M3/ hora	17,7	23,65	35,50	48	60
Peso neto de la caldera LBS	1,738	2,360	2,800	3,520	3,920
Peso de la caldera con agua LBS	2,380	3,240	4,250	5,590	6,410
ALTURA TOTAL	96 5/8	88	106	106	114
ALTURA CUERPO	73 5/8	75	93 1/2	92 7/16	98
Diametro cuerpo con aislamiento	36 5/8	40	46 1/2	48 3/4	46
Altura a salida de vapor	86 1/2	68	81 1/2	81 1/2	94
Altura a entrada de agua	36 1/2	37 1/2	38 9/16	38 9/16	59
Altura hasta centro del quemador	20	20	20	20	18 3/4
Diametro alimentación agua.	1	1	1	1	1 1/4
Diametro salida de vapor	1	1 1/2	1 1/2	2	3
Diametro purga	1	1	1	1	1

TODAS LAS MEDIDAS ESTAN EN PULGADAS

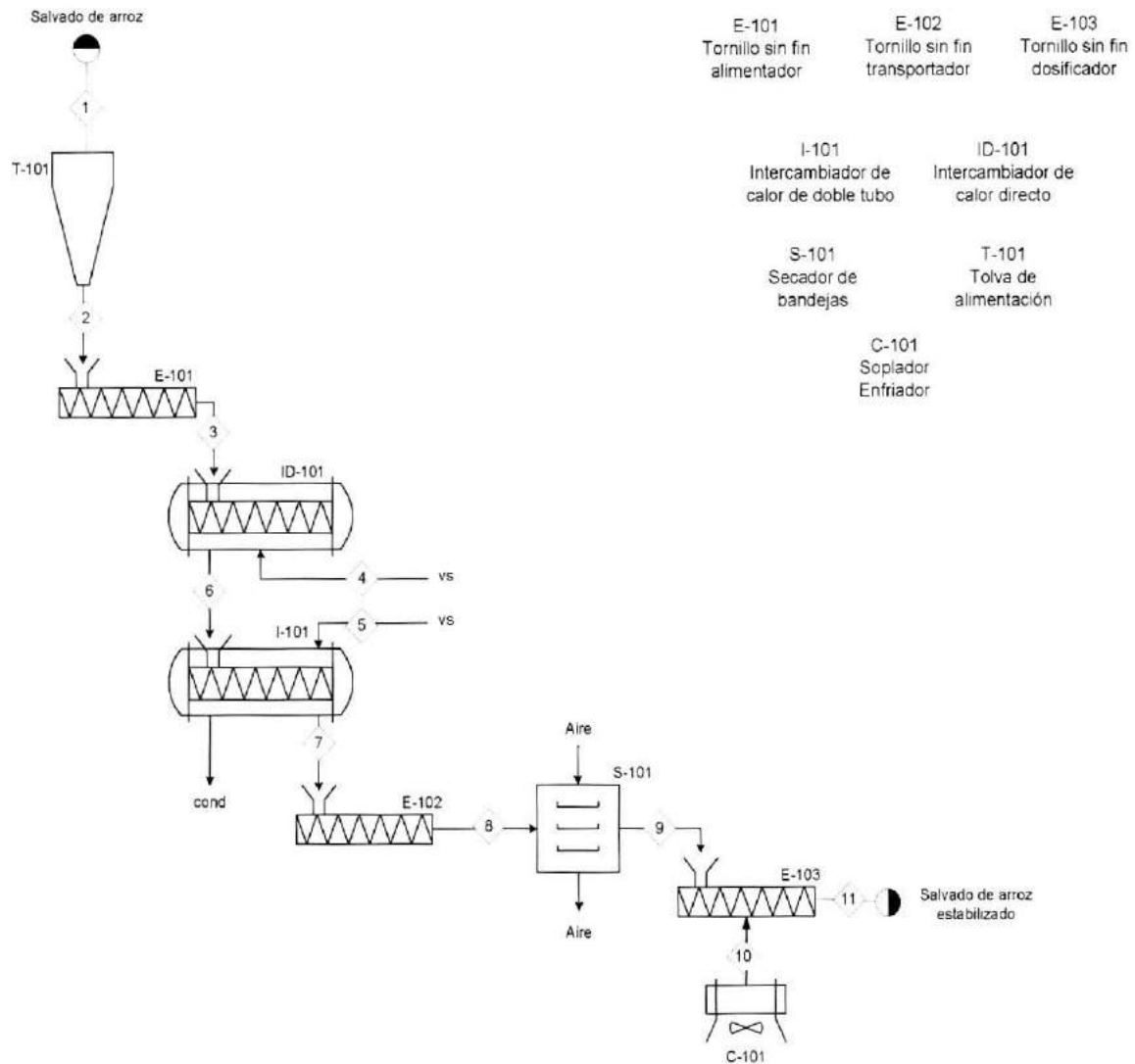
Gráfica 69. Datos técnicos caldera vertical (Calderas Continental Ltda).

Diagrama de bloques

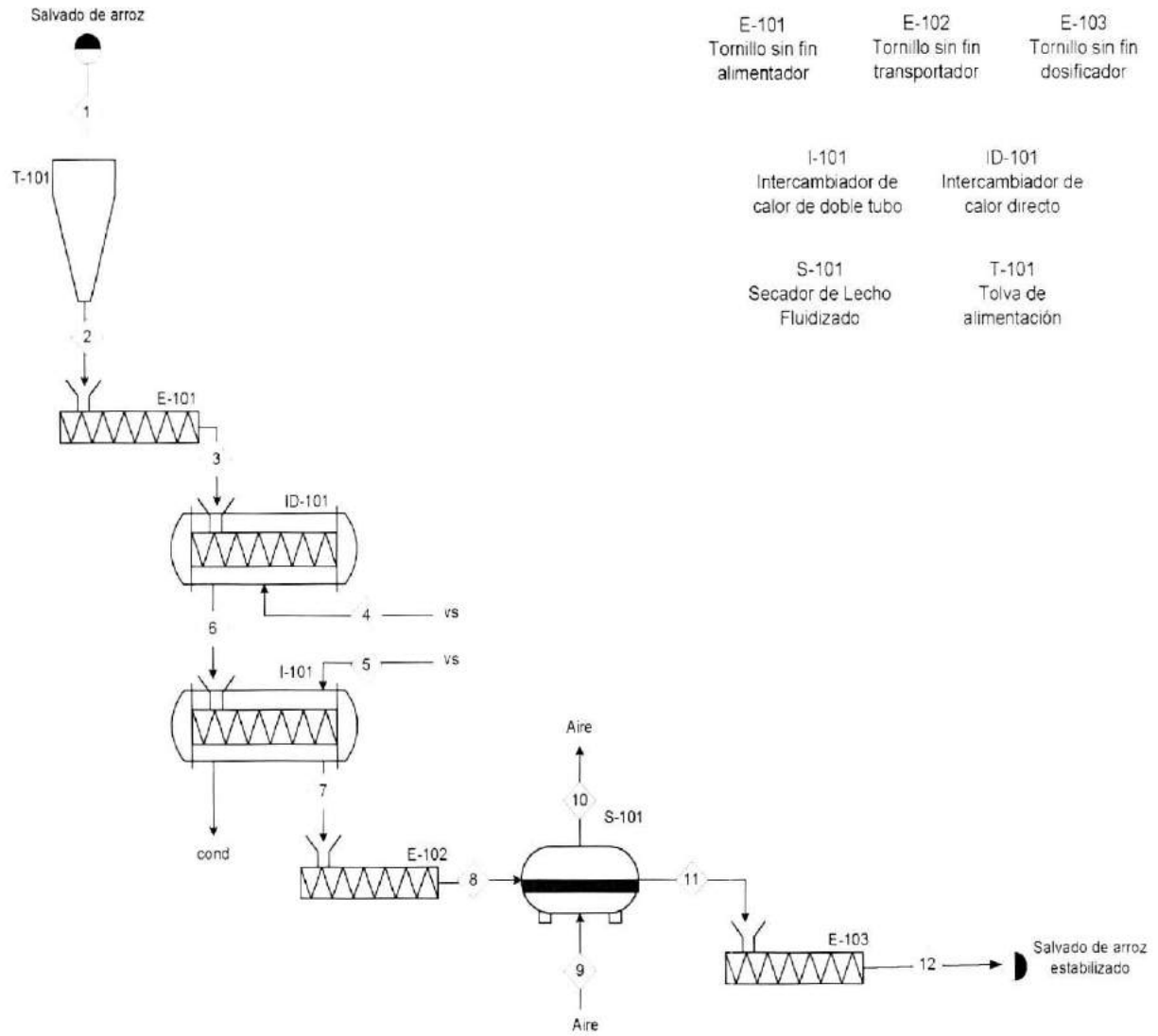
Como se mencionó anteriormente, la materia prima de la que se parte son 1000 kg/h de salvado de arroz con un 11% de humedad. A continuación se adjunta el diagrama de bloques donde se muestran las principales operaciones llevadas a cabo en el proceso, especificando los balances de masa involucrados para cada parte.



Gráfica 70. Diagrama de bloques para la estabilización de SA.



Gráfica 71. Diagrama de flujo del proceso para la estabilización de SA (opción 1).



Gráfica 72. Diagrama de flujo del proceso para la estabilización de SA (opción 2).

Tabla 102. Información de corrientes del proceso y utilidades (opción 1).

<i>Corriente /Parámetro</i>	1	2	3	4	5
Temperatura (°C)	30	30	30	121	121
Presión (bar)	0,97	0,97	0,97	2,05	2,05
Flujo másico total de salvado(kg/h)	1000	1000	1000		
Agua (kg/h)	110	110	110		
Flujo de salvado seco (kg/h)	890	890	890		
Humedad (kg agua/kg solido húmedo)	0,11	0,11	0,11		
Aire (kg/h)					
Vapor saturado (kg/h)				98,1	6,88

<i>Corriente /Parámetro</i>	6	7	8	10	11
Temperatura (°C)	121	121	121	51	
Presión (°C)	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97
Flujo másico total (kg/h)	1098,1	1098,1	1098,1	978,02	978,02
Agua (kg/h)	208,1	208,1	208,1	88,02	88,02
Flujo de salvado seco (kg/h)	890	890	890	890	890
Humedad (kg agua/kg solido húmedo)	0,19	0,19	0,19	0,09	0,09
Aire (kg/h)					
Vapor saturado (kg/h)					

Tabla 103. Equipos y especificaciones requeridas (opción 1).

TIPO DE EQUIPO	ESPECIFICACIONES REQUERIDAS
Tornillo alimentador sin fin	Longitud 1.22 m, diámetro 6 ", paso 6 ", espesor 1/4 " motor 0,33 Hp-25 rpm, Acero inoxidable
Unidad inactivadora 1 * Tornillo sin fin transportador * Intercambiador de calor	Longitud 3,6 m, diámetro 9,45 ", paso 4,73", espesor 1/4 ", motor 0,15 Hp - 15 rpm, Acero inoxidable Tipo: doble tubo, diámetro tubo vapor 2", diámetro carcasa 240 mm Temperatura 121 °C, Presión 15 psig, Acero inoxidable
Unidad inactivadora 2 * Tornillo sin fin transportador * Intercambiador de calor	Longitud 3,6 m, diámetro 9,45 ", paso 4,73", espesor 1/4 ", motor 0,15 Hp - 15 rpm, acero inoxidable Tipo: directo, carcasa tubular 250 mm, diámetro camisa 14", espesor camisa 4mm, Temperatura 121 °C, Presión 15 psig, Acero inoxidable
Secador	Tipo: bandejas (10), Temperatura 40°C, presión 15 psig, potencia 30 KW, Acero inoxidable

Utilidades	
Vs	Vapor de baja presión: 15 psig (sat)
Cond	Condensado
Aire	Aire caliente: 40 °C Aire ambiente 30 °C

Tabla 104. Información de corrientes del proceso y utilidades (opción 2).

CORRIENTE /PARÁMETRO	1	2	3	4	5	6
Temperatura (°C)	30	30	30	121	121	121
Presión (bar)	0.97	0.97	0.97	2.05	2.05	0.97
Flujo másico total de salvado(Kg/h)	1000	1000	1000			1098.1
Agua (Kg/h)	110	110	110			208.1
Flujo de salvado seco (Kg/h)	890	890	890			890
Humedad (Kg agua/Kg sólido húmedo)	0.11	0.11	0.11			0.19
Aire (Kg/h)						
Vapor saturado (Kg/h)				98.1	6.88	

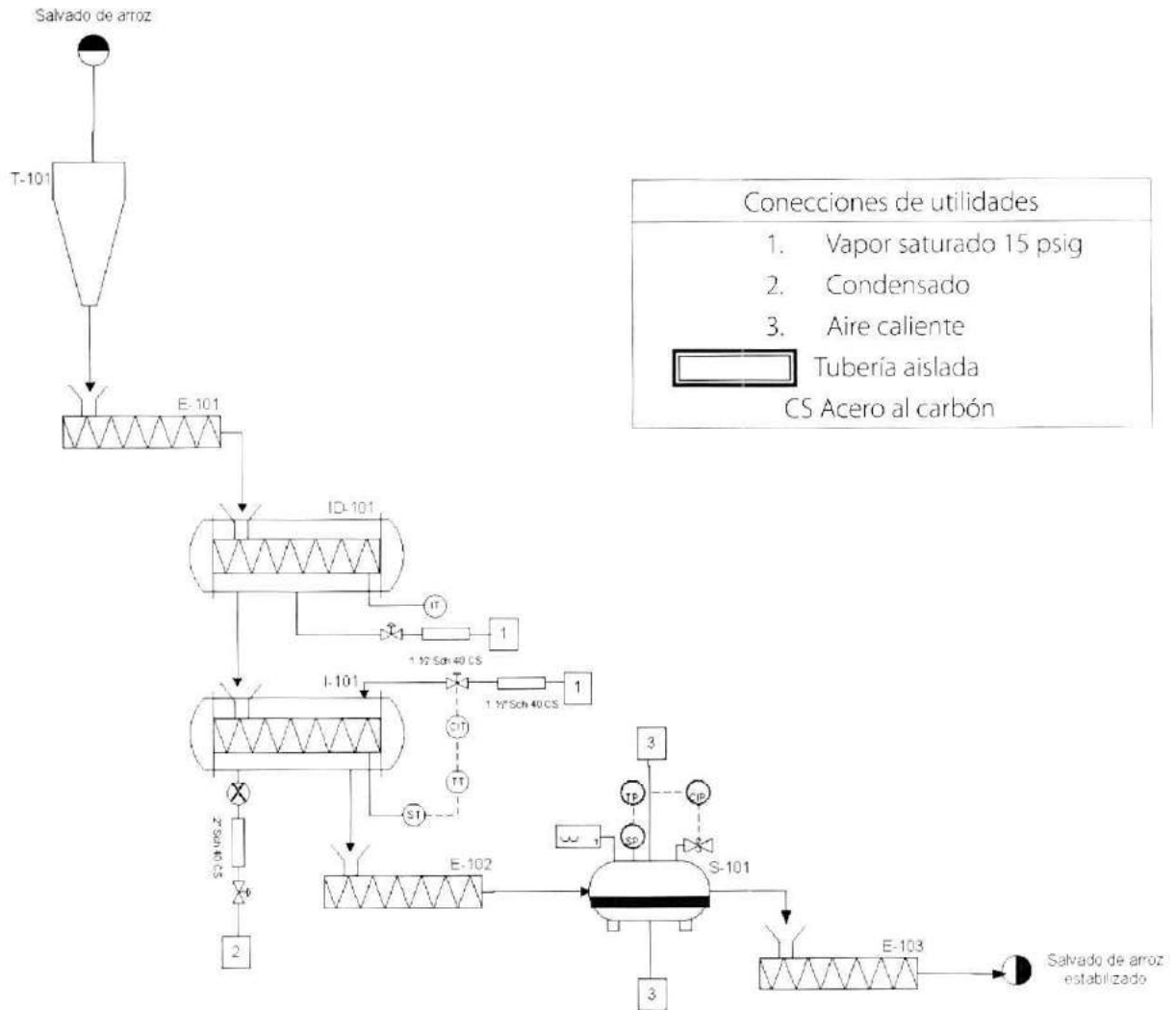
CORRIENTE /PARÁMETRO	7	8	9	10	11	12
Temperatura (°C)	121	121	60	51	32	30
Presión (°C)	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97
Flujo másico total (kg/h)	1098.1	1098.1			978.02	978.02
Agua (kg/h)	208.1	208.1			88.02	88.02
Flujo de salvado seco (kg/h)	890	890			890	890
Humedad (kg agua/kg sólido húmedo)	0.19	0.19	0.008	0.01	0.09	0.09
Aire (kg/h)			22410	22410		
Vapor saturado (kg/h)						

Tabla 105. Equipos y especificaciones requeridas (opción 2).

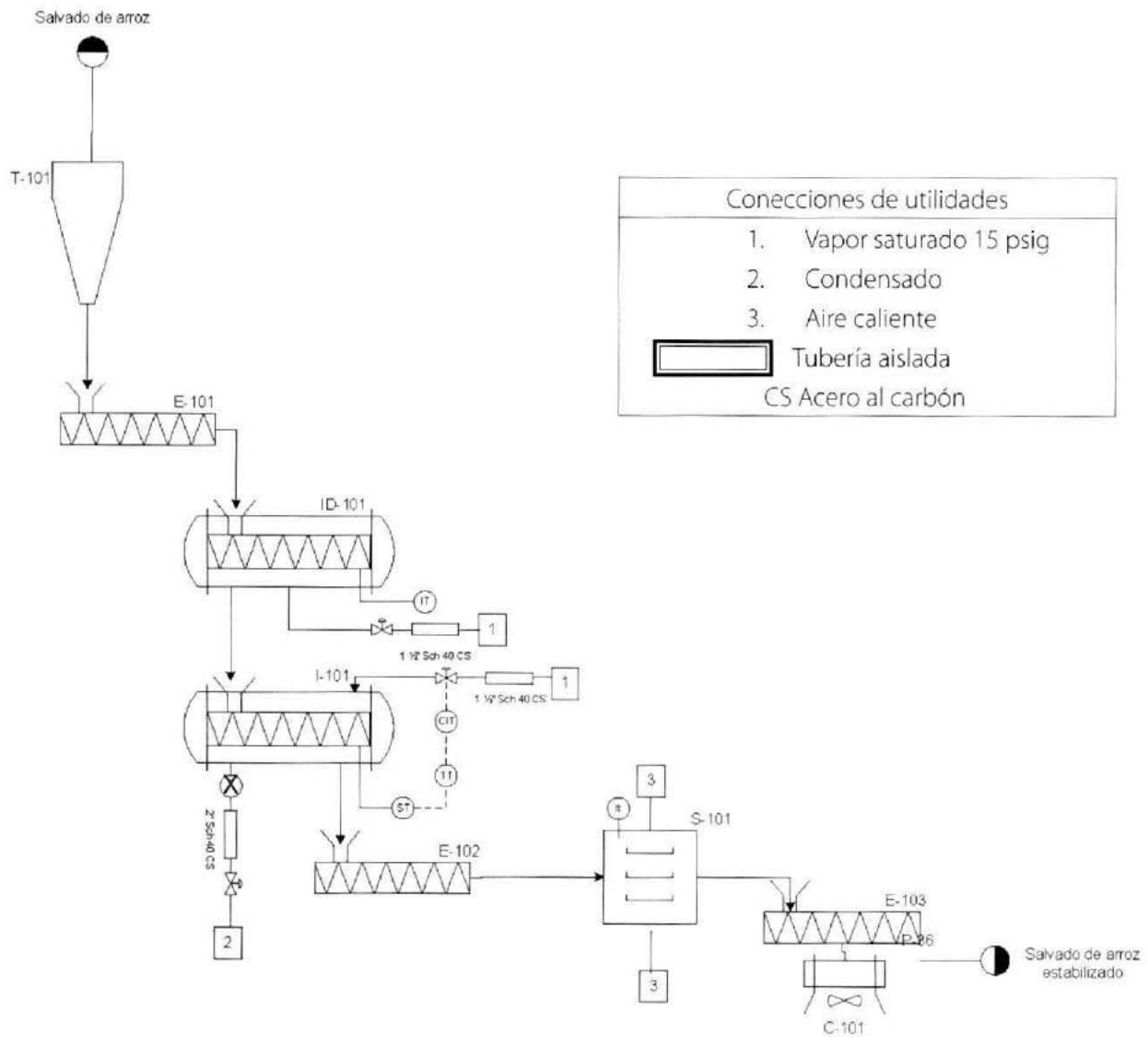
TIPO DE EQUIPO	ESPECIFICACIONES REQUERIDAS
Tornillo sin fin alimentador	Longitud 1,22 m, diámetro 6 ", paso 6 ", espesor 1/4 " motor 0,33 HP-25 rpm, Acero inoxidable
Unidad inactivadora 1	
* Tornillo sin fin transportador	Longitud 3,6 m, diámetro 9,45 ", paso 4,73", espesor 1/4 " motor 0,15 Hp - 15 rpm, Acero inoxidable
* Intercambiador de calor	Tipo: doble tubo, diámetro tubo vapor 2", diámetro carcaza 240 mm Temperatura 121 °C, presión 15 psig, Acero inoxidable

<p>Unidad inactivadora 2</p> <p>* Tornillo sin fin transportador</p> <p>* Intercambiador de calor</p>	<p>Longitud 3,6 m, diámetro 9,45 ", paso 4,73", espesor 1/4 " motor 0,15 Hp - 15 rpm, Acero inoxidable</p> <p>Tipo: directo, carcasa tubular 250 mm, diámetro camisa 14", espesor camisa 4mm, temperatura 121 °C, presión 15 psig, Acero inoxidable</p>
<p>Secador</p>	<p>Tipo: Lecho fluidizado, temperatura 60 °C, distribuidor ordinario 1 psig, velocidad operación 3,4 M/S, umf 0,25 M/S, lecho 0,05M, área 4,57 m² base rectangular 2,34 X 0,78 m, Acero inoxidable</p>

UTILIDADES	
Vs	Vapor de baja presión: 15 psig (sat)
Cond	Condensado
Aire	Aire caliente: 40 °C Aire ambiente: 30 °C



Gráfica 73. Diagramas de instrumentación y tubería (P&ID) para la estabilización de SA (opción 1).



Gráfica 74. Diagramas de instrumentación y tubería (P&ID) para la estabilización de SA (opción 2).

Referencias bibliográficas

- Amutio, G., Barber, S., Camacho, J. M., Fito, P. J., & Flors, A. Procedimiento de estabilización de subproductos de la elaboración del arroz y de otros cereales, en lecho fluidificado. Madrid: Patronato de Investigación Científica y Técnica "Juan de la Cierva" del Consejo Superior de Investigaciones Científicas. (1972).
- Amutio, G., Barber, S., Camacho, J. M., Fito, P. J., & Flors, A. Procedimiento de estabilización del salvado. Madrid: Oficina Española de Patentes y Marcas. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. (1993).
- Barber S, B. d. *El SA: una materia prima subutilizada*. Viena: Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI). (1987).
- Juliano, B. *Rice: chemistry and technology*. St. Paul, Minn., USA: American Association of Cereal Chemists. (1985).
- Guzmán, J. "Estabilización del SA Colombiano para evaluar la conservación de ácidos grasos insaturados y antioxidantes (tocoferoles y tocotrienoles)". Bogotá: Universidad Jorge Tadeo Lozano. (2010).
- Ovalle, H. "Evaluación del comportamiento funcional del SA (*oryza sativa*) de acuerdo a diferentes etapas de pulido industrial y origen de este". Bogotá: Universidad Jorge Tadeo Lozano. (2009).
- López, L. "Estudio del efecto de la variedad de arroz y la etapa de pulido en la calidad nutricional del SA". Bogotá: Universidad Jorge Tadeo Lozano. (2009).
- Sreenarayanan, V., & Chattopadhyay, P. "Specific Heat of Rice Bran". *Agricultural Wastes*, 16. 217-224. (1986).
- Law, Ch. & Mujumdar, A. "Fluidized Bed Dryers". En *Handbook of Industrial Drying*. Mujumdar, A. USA: Taylor & Francis. (2007). 173-201.
- Mccabe, W. *Unit Operations Of Chemical Engineering*. USA: Mcgraw-HILL. (2005).
- Himmelblau, D. *Principios Básicos y cálculos en Ingeniería Química*. México: Prentice Hall Hispanoamericana. (1997).
- Martin. *Catálogo General de Diseño y Construcción. Sección H-33 a H-35*. (2009).
- Miravete, A., & Larrodé, E. *Transportadores y Elevadores*. Barcelona, España.: Editorial Reverté, SA (1996).
- Gusmeroli, D. *Maquinas y Equipos Industriales. Maquinas de elevacion y transporte*. Resistencia, Chaco. Argentina: Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional Resistencia. (2009).
- Sinfines FAS. Fecha de consulta: 24 de enero de 2010. Disponible en: <http://www.sinfinesfas.com.ar>

Calderas Continental Ltda. Fecha de consulta: 24 de enero de 2010. Disponible en <http://www.calderascontinental.com>

Vibrasec SA Fecha de consulta: 1 de abril de 2010. Disponible en: <http://www.vibrasec.com>

Barreira, B. Estudio hidrodinámico de un Lecho Fluidizado. Madrid: Universidad Carlos III de Madrid. (2007).

Riveros, J. Secador Convectivo en Lecho Fijo y Fluidizado para materiales granulados. Bogotá: Universidad de Los Andes. (2007).

Perry, R. " Fluidized Bed Systems". En Manual del Ingeniero Químico. Perry. R. Madrid: Mac Graw Hill. (2001).