



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTÚDIOS SUPERIORES CUAUTILÁN

**PROCESO DE ELABORACIÓN DE UN POSTRE DE ARROZ
(*Oriza sativa*) CON LECHE INSTANTÁNEO**

TESIS
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO EN ALIMENTOS

PRESENTA
LEONARDO MOJICA TORRES

ASESOR : DR. ENRIQUE MARTÍNEZ MANRIQUE

COASESORA: I.A. VERÓNICA JIMÉNEZ VERA

CUAUTILÁN IZCALLI, EDO. MÉXICO. 2013



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.





**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES**

U.N.A.M.
ASUNTO: VOTO APROBATORIO
SUPERIORES CUAUTITLÁN

DRA. SUEMI RODRÍGUEZ ROMO
DIRECTORA DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE



ATN: L.A. ARACELI HERRERA HERNÁNDEZ
Jefa del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el Art. 28 del Reglamento de Exámenes Profesionales nos permitimos comunicar a usted que revisamos la: TESIS

Proceso de elaboración de un postre de arroz (Oriza sativa) con leche instantaneo

Que presenta el pasante: Leonardo Mojica Torres

Con número de cuenta: 408007524 para obtener el Título de: Ingeniero en Alimentos

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el **EXAMEN PROFESIONAL** correspondiente, otorgamos nuestro **VOTO APROBATORIO**.

ATENTAMENTE

“POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU”

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 03 de abril de 2013.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	Dra. María Elena Vargas Ugalde	
VOCAL	IA. Patricia Muñoz Aguilar	
SECRETARIO	Dr. Enrique Martínez Marique	
1er SUPLENTE	IA. Miriam Edith Fuentes Romero	
2do SUPLENTE	IA. Alberto Solís Díaz	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 120).

HHA/pm





A Dios.

Por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud, sabiduría e iluminación para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mis padres.

Por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, por sus valores que me han permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor.

A mis hermanos.

Por sus palabras de aliento y la motivación constante, por haberme apoyado en todo momento, los quiero mucho.

A mis maestros.

Dr. Enrique Martínez Manrique y Ing. en Alimentos Verónica Jiménez Vera por su apoyo en la realización de este proyecto.

A mis amigos.

Que directa o indirectamente fueron un apoyo y empuje para continuar en esta etapa hasta el final.

Al apoyo brindado por el proyecto papime (pe200413) y pacive (doc-19) para la realización de este trabajo.







ÍNDICE

	Pág.
Resumen	v
Introducción.....	vii
1. Antecedentes.....	11
1.1. Origen del arroz	11
1.2. Clasificación taxonómica	13
1.3. Descripción botánica	14
1.3.1. La semilla	15
1.4. Calidad culinaria	17
1.4.1. El almidón	17
1.5. Composición química	18
1.6. Arroz con leche	21
1.6.1. Proceso de elaboración	21
1.7. Aspectos generales de la deshidratación de alimentos	22
1.7.1. Contenido de agua	23
1.7.2. Isotermas de sorción de agua	26
1.7.3. Determinación de datos de equilibrio.....	27
1.7.4. Aplicaciones de las isotermas de sorción	29
1.7.5. Clasificación de deshidratadores.....	29
1.7.6. Equipo utilizado para la deshidratación	30
1.8. Mecanismos de deshidratación de alimentos	31
1.9. Análisis sensorial	36
1.9.1. Tipo de pruebas sensoriales.....	36
1.9.2. Pruebas hedónicas.....	37
1.9.3. Escalas Hedónicas	37
1.10 Envasado de productos deshidratados	39





	pág.
2. Materiales y Métodos	45
2.1. Objetivos	45
2.1.1. Objetivo general	45
2.1.2. Objetivos particulares.....	45
2.2. Cuadro metodológico	46
2.3. Actividades preliminares	47
2.3.1. Prueba de cocción a tres marcas diferentes de arroz.....	47
2.3.2. Caracterización de una receta cacera de arroz con leche.....	48
2.3.3. Determinación de humedad del arroz con leche fresco.....	49
2.4. Proceso de deshidratación de arroz con leche.....	49
2.5. Costo de producción	50
2.6. Evaluación sensorial.....	51
2.6.1. Prueba de nivel de agrado.....	51
2.7. Vida de anaquel.....	52
2.7.1. Determinación de datos de equilibrio de adsorción de agua	53
2.7.2. Modelación de adsorción de agua.....	53
2.7.3. Predicción del tiempo de empaque.....	55
2.7.4. Diseño Experimental.....	55
3. Análisis y resultados	59
3.1. Actividades preliminares.....	59
3.1.1. Prueba de cocción a tres marcas diferentes de arroz.....	59
3.1.2. Caracterización de una receta cacera de arroz con leche.....	60
3.1.3. Determinación de humedad del arroz con leche fresco	61
3.2. Determinación de condiciones de secado.....	62
3.2.1. Pruebas de rehidratación	65
3.3. Costo energético.....	66
3.4. Evaluación sensorial	68
3.5. Estimación de la vida de anaquel	69
Conclusiones	75
Recomendaciones.....	76
Referencias	79
Anexos	85





ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Planta de Arroz	15
Figura 2: Constitución del pericarpio	16
Figura 3: Configuración del agua en un alimento	23
Figura 4: Isotermas de sorción del agua	27
Figura 5: Curvas típicas de deshidratación de alimentos	32
Figura 6a: Mecanismos de eliminación de agua en tejidos animal y vegetal	34
Figura 6b: Mecanismos de eliminación de agua en tejidos animal y vegetal	35
Figura 7: Aspecto físico final de productos deshidratados	35
Figura 8: Ejemplo de escala hedónica de 9 puntos	38
Figura 9: Evaluación de la calidad culinaria de tres marcas diferentes de arroz	59
Figura 10: Diagrama de proceso para la elaboración de arroz con leche.....	61
Figura 11: Placa de arroz con leche expuesta a 150°C durante 10 min.....	62
Figura 12: Diagrama de proceso de elaboración de arroz con leche.....	64
Figura 13: Porcentaje de absorción del arroz rehidratado secado a tres diferentes tiempos	65
Figura 14: Conexión en paralelo del horno con multímetro	66
Figura 15: Comparativo de las curvas de sorción experimentales y calculadas con el modelo de G.A.B a diferentes temperaturas	69
Figura 16: Comparativo de las curvas de sorción experimentales y calculadas con el modelo de Peleg a diferentes temperaturas.....	70





ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Taxonomía del Arroz.....	14
Cuadro 2: Composición química del arroz	19
Cuadro 3: Aporte energético por elementos.....	20
Cuadro 4: Receta de arroz con leche casero	48
Cuadro 5: Formulación para la elaboración de Arroz con leche.....	60
Cuadro 6: Porcentaje de humedad de arroz con leche fresco	61
Cuadro 7: Humedad final a 110°C durante tres tiempos diferentes	62
Cuadro 8: Humedad final a 120°C durante tres tiempos diferentes	63
Cuadro 9: Humedad final a 60°C durante tres tiempos diferentes	63
Cuadro 10: Registro del consumo de energía durante el proceso de deshidratación de arroz con leche	66
Cuadro 11: Costo de consumo energético durante el proceso de deshidratación de arroz con leche	67
Cuadro 12: Comparación de costos de Proceso de Secado de arroz con leche con diferentes productos	67
Cuadro 13: Prueba de Aceptación por el consumidor de arroz con leche deshidratado	68
Cuadro 14: Datos de humedad en equilibrio a dos diferentes temperaturas para una muestra de arroz con leche deshidratado.....	69
Cuadro 15: Parámetros de sorción del modelo de G.A.B. para el arroz con leche deshidratado.....	70
Cuadro 16: Parámetros de sorción del modelo Peleg para el arroz con leche deshidratado.....	71
Cuadro 17: Vida útil a condiciones de almacenamiento extremas del arroz con leche deshidratado.....	71





Resumen

El arroz proporciona el 20 por ciento del aporte de energía alimentaria del mundo, es también una buena fuente de vitamina B y fibra alimenticia, aunque por sí mismo, no puede proporcionar todos los nutrientes necesarios para una alimentación adecuada, por ello es recomendable consumirlo en combinación con otro alimento para mejorar su calidad nutrimental.

El arroz con leche constituye un alimento con mejor calidad nutrimental que el arroz solo. Ya que aporta 108 kcal, 3.4 g de proteína, vitamina A, vitamina D, vitaminas del complejo B, calcio, potasio y magnesio y es una manera dulce y deliciosa de obtener todas las bondades del arroz. Sin embargo, el proceso de elaboración es prolongado y esto ha provocado una disminución en su consumo, debido al ritmo de vida tan acelerado que se tienen en los tiempos actuales. Es por eso que se propuso elaborar arroz con leche instantáneo con el objetivo de evaluar el proceso de deshidratación para determinar las condiciones de proceso (tiempo y temperatura) más favorables, una fecha de consumo preferente y su grado de aceptación por el consumidor. Para lograr este objetivo, primero se seleccionó la marca de arroz con las mejores características de calidad culinaria evaluando las marcas San Lázaro, Valle verde y Soberano.

Se elaboró el postre de arroz con leche y se deshidrató en una placa de 6 cm de largo 8 cm de ancho y 0.020 cm de espesor dividiendo el proceso en dos fases; en la primera fase se realizaron pruebas con tres tiempos y tres temperaturas diferentes y dentro de la segunda fase se mantuvo constante una temperatura de 60°C y se probaron tres tiempos diferentes.

Con las mejores condiciones de proceso se monitoreó el gasto energético durante el proceso de deshidratación mediante un amperímetro de gancho. Se construyeron dos isotermas de adsorción a 25 y 35°C mediante el método Isopiéctico para inferir en su tiempo de vida mediante el comportamiento de migración de agua. Para finalizar la investigación se realizó una prueba sensorial de nivel de agrado del producto final rehidratado.





Los resultados indicaron que el mejor arroz para la elaboración de arroz con leche fue proporcionado por la marca San Lazaro®. Las mejores condiciones de secado fueron; para la primera fase 15min y 110°C y durante la segunda fase el mejor tiempo de proceso fue de 60 min. El gasto energético requerido para el proceso de secado resulto de 2.6 kWh que en pesos representa un costo de \$ 2.4 por lamina de arroz deshidratada y de \$169 por kg de producto.

Los cálculos realizados para inferir la vida de anaquel indicaron que el producto tiene una vida útil de 17 meses en condiciones de almacenamiento de 25°C y 90%HR y en la evaluación sensorial obtuvo una calificación aprobatoria de 8.99 en una escala de 1 a 10 y el 92% de aceptación, es decir, que el producto fue ampliamente aceptado por los consumidores.





Introducción

El arroz es el alimento básico predominante para 17 países de Asia y el Pacífico, nueve países de América del Norte y del Sur y ocho países de África (FAO, 2004). La ONU ha reconocido al arroz como el alimento más popular del mundo.

El arroz proporciona el 20 % del aporte de energía alimentaria del mundo, es también una buena fuente de vitaminas B y fibra alimenticia (FAO, 2004), contiene 119 kcal por porción, aporta 2.69 g de proteínas y 400 mg de fibra (Verdú, 2009). Este grano no contiene colesterol ni sodio, es bajo en grasas, no es alergénico, ni contiene gluten, es amigable en la digestión, no se acumula como exceso en el cuerpo, es sano, nutritivo y fácil de preparar (SAGARPA, 2010).

El arroz debe estar presente varias veces por semana en una dieta equilibrada, sea como plato principal o como guarnición. También puede tomarse como postre. A pesar de esta calidad, el arroz por sí mismo, no puede proporcionar todos los nutrimentos necesarios para una alimentación adecuada (FAO, 2004), por ello es recomendable consumirlo en combinación con otro alimento para mejorar su calidad nutrimental.

Es por eso que el arroz con leche constituye un alimento de mejor calidad nutrimental, que aporta 108 kcal, 3.4 g de proteína por cada 100 g (Verdú, 2009) y una manera dulce y deliciosa de obtener todas las bondades del arroz, además puede disfrutarse en cualquier época del año, como postre en las comidas o simplemente como una deliciosa merienda. Pero el proceso de elaboración es prolongado, casi 45 minutos (Granados, 2003), lo cual no es compatible con los estilos de vida modernos, por lo tanto, se ha limitado la elaboración cotidiana de este nutritivo platillo, por lo que recortar los tiempos de procesamiento para el consumidor es un factor muy apreciado y da sustento a la existencia de productos de cocción rápida o instantáneos los cuales son cada vez más populares (Prasert, 2009).





Por eso, en el presente trabajo se plantea elaborar arroz con leche deshidratado para obtener un producto de cocción rápida, con una vida de anaquel larga y buena calidad sensorial.

Para cumplir con este objetivo, primero se seleccionó la marca de arroz más adecuada para la elaboración del arroz con leche instantáneo, mediante pruebas de calidad culinaria, las cuales indican el Porcentaje de Absorción y Porcentaje de Incremento de Volumen.

El proceso de deshidratación se llevó a cabo en dos fases en la primera fase se realizaron pruebas con tres tiempos (10, 15 y 20 min) y tres temperaturas (110, 120, y 150 °C) durante la segunda fase se mantendrá constante una temperatura de 60 °C y se probarán tres tiempos (60, 90 y 120 min).

Se monitoreó el proceso de deshidratación con un amperímetro de gancho para obtener el gasto energético y el costo de proceso mediante la tarifa vigente de Comisión Federal de Electricidad.

Para conocer la vida útil de este producto se construyeron dos curvas de adsorción a 25 y 35 °C las cuales se modelaron con las ecuaciones de G.A.B y Peleg, las cuales, han demostrado tener un ajuste para una gran gama de alimentos (Sahin y Gülüm, 2009)

Se utilizó la ecuación propuesta por Labuza y Contreas (Sharma, 2003) para la predicción de la vida de anaquel.

Por último se realizó una prueba sensorial de nivel de agrado para conocer la aceptación del arroz con leche rehidratado por el consumidor final.





ANTECEDENTES



ARROZ CON LECHE INSTANTÁNEO





1. Antecedentes

Numerosas leyendas, ritos y ceremonias reflejan la antigüedad e importancia del arroz como alimento básico en muchos países asiáticos. Según una leyenda Balinesa (Archipiélago Indonesio) el señor Visnú, dios masculino de la fertilidad y del agua, bajo a la tierra para proporcionar mejores alimentos a los hombres, que solo tenían jugo de caña de azúcar para comer. Visnú hizo que la madre tierra diera a luz al arroz y entonces peleó con hidra, señor de los cielos, para obligarlo a que enseñara a los hombres a cultivar arroz. De esta manera, según la leyenda, nació el arroz, fuente de vida y riqueza, obsequio de los dioses, fruto de la unión de las fuerzas divinas de la creación representadas por la tierra y el agua. En Japón tenía un carácter sagrado, rivalizando con el emperador. Este plantaba granos de arroz en sus jardines de su palacio, en ceremonia solemne, cada año. Esta veneración japonesa por el arroz tiene sus orígenes en la mitología en los albores de la historia. En la antigüedad, en el Japón, el arroz era considerado el alimento de los dioses y de los samuráis. En muchos otros países asiáticos existen igualmente numerosas leyendas y ceremonias, donde el arroz es tratado con reverencia y respeto y su cultivo es precedido por elaborado ritual. Aunque esto haya cambiado en los tiempos actuales, el arroz continúa siendo fuente de vida para la mayoría de las regiones más pobladas del mundo (López, 1991).

1.1 Origen del arroz.

El origen del cultivo del arroz se sitúan en el Asia monzónica. En esta zona el arroz representa, prácticamente, el único alimento y su principal producción agrícola. Aunque es el segundo cereal en producción del mundo, después del trigo, tiene mayor importancia por la superficie cultivada y por la cantidad de población que depende de su cosecha. El arroz proporciona más calorías por hectárea que cualquier otro cereal y con los rendimientos medios mundiales una hectárea de arroz puede sostener a 5.7 personas al año frente a las 5.3 del maíz y 4.1 del trigo. El 40 % de la población mundial utiliza el arroz como su





principal fuente de calorías. El consumo en los países asiáticos es de 100 kg por persona anualmente. Si no fuese por el arroz nunca hubiese tenido lugar el incremento sin precedentes de la población en las bastas regiones de las tierras húmedas de Asia (López, 1991).

La antigüedad del cultivo del arroz en las regiones húmedas de Asia tropical y sub tropical puede ser casi de 10,000 años. Se supone que fue en la India donde primero se inicio el cultivo debido a la abundancia de arroces silvestres. Se cree que el método de cultivo de la compactación o cementación y el trasplante fue desarrollado por primera vez en China, difundiéndose hacia el sureste de Asia. En China el cultivo en tierras bajas precedió al cultivo en tierras altas, principalmente en las cuencas llanas y bajas de los ríos y en zonas de los deltas, que se inundan a distintos grados de profundidad durante la estación monzónica. Los métodos de siembra progresaron desde el cultivo nómada hasta la siembra directa en terrenos permanentes y luego al trasplante en tierras inundables (López, 1991).

El cultivo de arroz en Asia pudo, no obstante, haberse iniciado independientemente y casi al mismo tiempo en muchas regiones. Probablemente existieron varias rutas de introducción de los arroces asiáticos a otras partes del mundo. El sur de Asia fue la cuna principal de las variedades *Indica* encontradas después en la antigua Persia y en varias regiones de África, y el tipo *Japónica* se extendió desde China a Corea y Japón (INIAP, 2007).

La difusión del arroz hacia el Asia occidental y la Cuenca Mediterránea pudo tener lugar bajo el imperio persa. En la época de Alejandro Magno los griegos descubrieron el arroz durante la invasión de la India e introdujeron su cultivo en Grecia. Esta dispersión del arroz hacia el medio Oriente, norte de África y después a Europa se inicio unos 1,000 años a. de C. Sin embargo la expansión del cultivo de arroz llevada acabo por los árabes fue mucho mas importante y su introducción mas eficaz. Desde el siglo VIII hasta el X lo introdujeron en el norte de África y en el Mediterráneo, especialmente en España. Los portugueses por la ruta marítima de las Indias, descubierta por Vasco de Gama, introdujeron el arroz en Portugal entre finales del siglo XV y principios del siglo XVI. Desde España y Portugal se introdujo el arroz en la actual Italia y en el continente Americano (López, 1991).





Como resultado de la gran época de exploración del occidente con fines de explotación de nuevas tierras, la especie *O. sativa L.* fue introducida al Nuevo Mundo por los colonizadores europeos. En México el primer reporte que se conoce de la presencia del grano de arroz data del año 1521, inmediatamente después de la caída de Tenochtitlán, según relata Andrés de Tapia, citado por García (1866), capitán del ejército de Hernán Cortés; sin embargo, no se conoce con precisión el año ni el lugar en que se cultivó arroz por primera vez en nuestro país. Desde luego que este grano llegó a nuestro país por la ruta del Atlántico (INAFAP, 2000).

La segunda ruta de entrada del arroz a nuestro país se dio a través del Océano Pacífico en alguno de los viajes de las embarcaciones conocidas popularmente como Nao de Manila o Nao de China, las cuales viajaban de Manila, Filipinas al puerto de Acapulco y de aquí a algunos puertos de Centro y Sudamérica, especialmente a las costas peruanas. Se presume que esto ocurrió a fines del siglo XVI, ya que la construcción de la flota de galeones, ordenada por el rey Felipe II para la conquista de las islas Filipinas, se concluyó en 1564 (INAFAP, 2000).

En Morelos el arroz se cultivó por primera vez en 1836, en el municipio de Jojutla, con semilla traída por un grupo de pobladores encabezados por Don Ricardo Sánchez, quienes lo adquirieron en las cercanías de Acapulco; en 1838 se trajeron semillas de Veracruz y fue tan buena su adaptación que a partir de entonces su cultivo se extendió a otras regiones de la República Mexicana (INAFAP, 2000).

1.2 Clasificación Taxonómica.

El arroz pertenece al orden de las *Poales* (= Glumiflorales), al que pertenece una única familia, las *Poaceae* (= *Gramineae*). Su clasificación completa se encuentra en el Cuadro 1.

En la familia *Poaceae*, encuadraríamos a los arroces dentro de la subfamilia de las *Oryzoideae* perteneciendo tanto los arroces cultivados como los no cultivados al género *Oryza* (que en griego significa “oriental”) del que se han descrito más de una veintena de especies.





Cuadro 1. Taxonomía del Arroz

Taxonomía de <i>Oryza sativa</i> L.	
Reino	Vegetal
Sub-reino	<i>Fanerógamas</i>
División	<i>Tracheophytas</i>
Sub-división	<i>Pteropsidae</i>
Clase	<i>Angiospermas</i>
Sub-clase	<i>Moconotiledóneas</i>
Familia	<i>Gramineae (Poaceae)</i>
Sub-familia	<i>Poacoideaceae</i>
Tribu	<i>Oriceae</i>
Género	<i>Oryza</i>
Especie	<i>sativa</i> L.
Razas eco geográficas	<i>Indica</i>
	<i>Japónica (Templada y Tropical)</i>

Fuente: INAFAP, 2000

De las que sólo dos de éstas son utilizadas en la alimentación humana: *O. sativa* L., denominada arroz asiático, que se cultiva actualmente en más de 100 países del mundo, y *O. galvérrima* conocida como arroz africano, la cual se siembra en algunas zonas de África Occidental. Ambas especies son diploides ($2n=24$) con el mismo genomio (AA) y las dos pertenecen al complejo sativa que en latín significa “sembrado” o “cultivado”, las restantes especies del género *Oryza* son silvestres y están distribuidas en los trópicos (Llull, 1995).

1.3 Descripción botánica.

Las características botánicas del arroz son similares a las de los otros cereales cultivados, aunque con lógicas particularidades derivadas fundamentalmente de su adaptación a desarrollarse en terrenos saturados de agua y a su procedencia de zonas con climas cálidos (Llull, 1995).





Figura 1. Planta de Arroz

Fuente: Phillip, 2006

El arroz es una gramínea anual, de tallos redondos y huecos compuestos por nudos y entrenudos, hojas de lámina plana unidas al tallo por la vaina y su inflorescencia es en panícula (Figura 1). El tamaño de la planta varía de 0.4m (enanas) hasta más de 7.0m (flotantes) (CIAT, 2005).

Para efectos de esta descripción los órganos de la planta de arroz se han clasificado en dos grupos:

- A) Órganos vegetativos: raíces, tallos y hojas.
- B) Órganos reproductores: flores y semillas.

1.3.1 La Semilla.

La semilla de arroz es un ovario maduro, seco e indehisciente. Consta de la cáscara formada por la lemma y la palea con sus estructuras asociadas, lemmas estériles, la raquilla y la arista; el embrión, situado en el lado ventral de la semilla cerca a la lemma, y el endospermo, que provee alimento al embrión durante la germinación.





Debajo de la lemma y la palea hay tres capas de células que constituyen el pericarpio; debajo de éstas se encuentran dos capas, el tegumento y la aleurona (Figura 2). El embrión consta de la plúmula u hojas embrionarias y la radícula o raíz embrionaria primaria. La plúmula está cubierta por el coleóptilo, y la radícula está envuelta por la coleorriza.

El grano de arroz descascarado es un cariopside; se conoce con el nombre de arroz integral, y aun conserva el pericarpio de color marrón rojizo o púrpura.

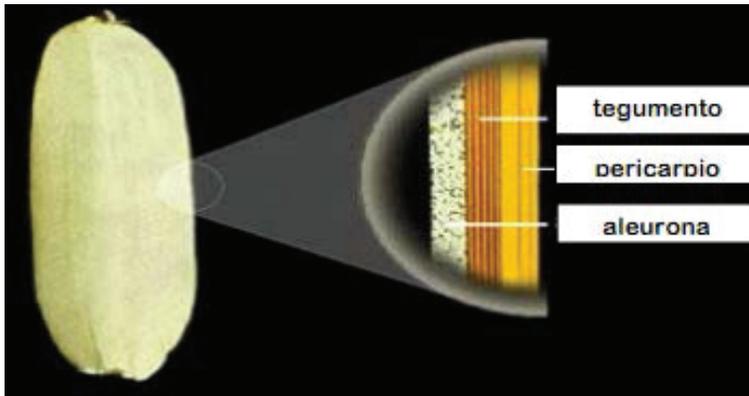


Figura 2. Constitución del pericarpio

Fuente: CIAT, 2005

Los denominados arroces rojos tienen el pericarpio de este color y algunos también el tegumento. En las variedades con endospermo glutinoso o ceroso la fracción almidonosa está compuesta íntegramente por amilopectina y pigmentos, que toman coloración marrón rojiza en presencia de lugol (yodo y yoduro de potasio). En los tipos comunes de endospermo no ceroso o no glutinoso la fracción almidonosa contiene amilosa más amilopectina, y se torna azul oscuro con lugol.

Los granos de arroz pueden clasificarse según su longitud en:

- Extra largo (EL) 7,6 mm o más
- Largo (L) 7,5 mm a 6,6 mm
- Medio (M) 6,5 mm a 5,6 mm
- Corto (C) 5,5 mm o menos





1.4 Calidad culinaria.

La calidad culinaria del arroz se refiere al comportamiento esperado del grano luego de ser cocinado, dicho comportamiento está relacionado con la cantidad de almidón presente en el arroz. Esta definición general debe ser acotada para cada hábito cultural. El atributo paradigmático es la consistencia del arroz después de cocido, en la comida oriental se prefiere blando y pegajoso mientras que, en general, en occidente se elige el arroz consistente y seco (Livore, 2004).

1.4.1 El almidón.

El almidón es un polisacárido vegetal que se almacena en las raíces, tubérculos y semillas de las plantas. Está en el endospermo de todos los granos. El almidón se puede hidrolizar a glucosa y proporcionar al hombre la energía y la glucosa que son necesarias para que el cerebro y el sistema nervioso central funcionen.

Este polisacárido está constituido por dos moléculas, amilosa y amilopectina, y ambas partes están conectadas por uniones glicosídicas.

Las moléculas de amilosa suponen aproximadamente la cuarta parte del almidón. La amilosa es una cadena lineal compuesta de miles de unidades de glucosa con uniones entre el carbón 1 y el carbón 4 de las unidades de glucosa y, por lo tanto, constituida por uniones glicosídicas α -1,4. La amilosa forma una red tridimensional cuando se asocian las moléculas al enfriarse y es la responsable de la gelificación.

Las moléculas de amilopectina suponen aproximadamente tres cuartos de los polímeros en un granulo de almidón. Las cadenas de glucosa de la amilopectina contienen uniones α -1,4 con ramificaciones α -1,6 cada 15-30 unidades de glucosa de la cadena, los almidones con un porcentaje alto de amilopectina espesaran pero no formaran un gel ya que las moléculas de amilopectina no se asocian y forman enlaces químicos (Vaclavick y Christian, 2002).

El almidón es el principal componente del arroz y representa aproximadamente el 90% de su peso seco (CIAT, 1989).





La relación entre la amilosa y la amilopectina determina algunas propiedades importantes del arroz durante y después de la cocción. Según el porcentaje de amilosa que poseen, se pueden clasificar en:

- Alto contenido de amilosa: $>26\%$
- Contenido intermedio de amilosa: 23-25%
- Bajo contenido de amilosa: $< 22\%$ (Livore, 2004).

Las variedades de arroz con bajo contenido de amilosa (característica de la variedad japónica) son húmedas, pegajosas y de apariencia brillante después de cocidos los granos fácilmente se desintegran cuando se cocinan demasiado. Los arroces con alto contenido de amilosa quedan secos y sueltos al cocinarse, pero los granos se endurecen al enfriarse. Los tipos intermedios tienen las mismas características de los tipos altos en amilosa, pero retienen una textura suave cuando se enfrían, son preferidos por la mayoría de los consumidores de América Latina y de gran aceptación en el mercado mundial. La mayoría de las variedades indica tienen amilosa intermedia o alta (CIAT, 1989).

1.5 Composición química.

Por su importancia mundial entre los cereales, el arroz ocupa el segundo lugar —el primero corresponde al trigo— y constituye la base del régimen alimenticio de casi la mitad de la población del globo. El grano descascarillado, más o menos blanqueado, entero o partido, se consume una vez cocido.

El valor nutritivo del arroz depende de la variedad, las modalidades de cultivo y en mayor o menor grado de industrialización a que se le somete; hay que tener presente, además, que las diversas partes del grano poseen valores nutritivos muy diferentes.

El valor nutritivo del grano está evidentemente determinado por su composición química (Tocagni, 1980).

Las composición química que se presenta en el Cuadro 2 han sido establecidas con relación a la materia seca para poderlas comparar entre si; el porcentaje de humedad varía con las circunstancias y las modalidades de industrialización del arroz.





En el curso de los tratamientos que sufre este cereal, se comprueba una desaparición casi completa de los lípidos, debida a la eliminación de la capa exterior de la carióspside en forma de salvados de blanqueo.

Paralelamente y aunque en cantidad menos importante debido al blanqueado, el contenido en proteínas disminuye, como también el de ceniza, por el hecho de la extracción de sílice y de compuestos fosforados junto con el salvado, y el de celulosa.

Cuadro 2. Composición química del arroz

	Arroz integral	Arroz blanco
Carbohidratos %	88	91
Proteínas %	8.5	7.6
Lípidos (grasa bruta%)	2.2	0.5
Cenizas %	1.4	0.6
Fibra bruta %	1	0.3
Silicio (mg/100g)	50	45
Calcio (mg/100g)	36	27
Fosforo (mg/100g)	251	106
Hierro (mg/100g)	1.8	0.9
Sodio (mg/100g)	10	6
Potasio (mg/100g)	243	105
Tiamina (mg/100g)	0.4	0.08
Riboflavina (mg/100g)	0.05	0.03
Niacina (mg/100g)	5	2

Fuente: Dendy, 2001

Teniendo presente la humedad del grano, el valor energético del arroz varía entre 350 y 360 calorías por cada 100 g este valor energético es de una equivalencia muy próxima a la del trigo. La aportación energética de los elementos glúcidos, lípidos y próticos, debe de representar del 15 al 20% para lípidos y del 73 al 76% para los glúcidos. En el arroz, esta proporción varía con el grado de industrialización ver Cuadro 3 (Tocagni, 1980).



Cuadro 3. Aporte energético por elementos

	Prótidos	Lípidos	Glúcidos
Arroz descascarillado	8.7%	4.9%	86.4%
Arroz blanqueado	8.1%	1.3%	90.6%

Fuente: Tocagni, 1980

Existen variedades de arroz con un contenido de proteínas del 6 al 14%, pero normalmente contiene alrededor del 7 al 9% de proteínas. Como en el caso del resto de los cereales, la proteína es deficiente en lisina y triptófano, pero en comparación con los otros cereales, la proteína del arroz es altamente digestible (98%) (Dendy, 2001).

Los lípidos del arroz contienen diversos ácidos grasos como: Ac. Lignocérico, Ac. aráquico, Ac. mirístico, Ac. esteárico, Ac. palmítico, Ac. Linoleico y Ac. Oleico. La relación Ac. Saturados y no saturados se establece en 17/83 y es mas baja que en el aceite de cacahuete el cual tienen una relación de 20/80 (Tocagni, 1980).

El grano de arroz contiene una extensa gama de vitaminas que pertenecen tanto al grupo de las liposolubles como de las hidrosolubles. Estas vitaminas se encuentran principalmente en las capas periféricas de la cariósida, lo que explica la importante pérdida de vitaminas que produce el blanqueo. La vitamina E (tocoferol) es la única considerable en la cariósida del arroz y notablemente en las materias grasas del germen: 30 μ por gramo de arroz descascarillado (Tocagni, 1980).

Debido a que el arroz, debe de estar presente varias veces por semana en una dieta equilibrada, es importante complementar su aporte nutricional, ya que este grano por sí mismo, no puede proporcionar todos los nutrientes necesarios para una alimentación adecuada (FAO, 2004), es por ello que se pretende complementar este valioso alimento con los nutrientes de la leche.

La leche es una fuente muy valiosa de proteínas vitaminas y minerales, debido a su alto valor nutricional es un alimento balanceado, además de proporcionar prácticamente todos los nutrimentos necesarios para el hombre (Badui, 2006).





Las proteínas de la leche son superiores ya que contienen todos los aminoácidos esenciales y además poseen cantidades de otros aminoácidos que se encuentran en cantidades pequeñas en las proteínas vegetales (Jukins y Keener, 1976), como es el caso del arroz que tiene deficiencia en lisina y triptófano.

En cuanto a vitaminas la leche contienen las vitaminas liposolubles A, D, E y K las cuales se encuentran interaccionando con los glóbulos de grasa (Badui, 2006), de las cuales en el arroz solo encontramos la vitamina E como ya se había mencionado con anterioridad.

De entre los minerales la leche aporta iones de calcio, potasio y sodio que se presentan en forma de citratos, fosfatos y cloruros.

Todos los nutrientes de la leche y del arroz se pueden encontrar en un platillo colonial muy popular conocido como “pudding de arroz”, “dulce de arroz” o simplemente “arroz con leche”.

1.6 Arroz con leche.

El arroz con leche fue traído a América por los Conquistadores, en todas las colonias desde la tierra de los mayas hasta la de los quichuas. Los españoles a su vez, lo habían asimilado de los árabes. Estos llevaron a la península ibérica el arroz, el azúcar, las especias y una gran cultura (Granados, 2003).

El arroz con leche constituye un alimento que aporta 108 kcal, 3.4 g de proteína, 15µg de vitamina A, 0.1µg de vitamina D, 0.13 mg de vitamina B2, 0.24µg de vitamina B12, 105mg de calcio, 138mg de potasio y 14mg de magnesio por cada 100g (Verdú, 2009) y una manera dulce y deliciosa de obtener todas las bondades del arroz. Es uno de los postres caseros ideal para preparar en casa y puede disfrutarse en cualquier época del año, como postre en las comidas o simplemente como una deliciosa merienda.

1.6.1 Proceso de elaboración.

La elaboración del arroz con leche no es muy estricta, si bien los ingredientes que la componen son casi siempre comunes: el arroz, la leche, el azúcar, la cáscara del limón o naranja, la canela en rama o en polvo. Otros ingredientes como clara de huevo, crema de leche, manteca, la vainilla, pasas,





nueces, le dan marca de origen, por ejemplo, con agua de rosa si es andaluz, por no hablar del asturiano con yemas, manteca, crema de leche, licor. Y en Costa Rica, Panamá o Perú le pone su sello distintivos al arroz con leche (Granados, 2003).

Esencialmente consiste en cocer el arroz con agua hasta que este suave, agregar la leche, canela y demás ingredientes, cocer hasta obtener la consistencia deseada generalmente cremoso sin embargo este proceso dura alrededor de 45min., que es un tiempo prolongado, sobre todo si se consideran los estilos de vida modernos, lo cual a limitado su elaboración cotidiana de este nutritivo platillo. Por lo cual la idea de recortar los tiempos de procesamiento para el consumidor es un factor muy apreciado y da sustento a la razón de existencia de productos de cocción rápida o instantáneos los cuales son cada vez mas populares.

El procedimiento general para la producción de la mayoría de los arroces instantáneos involucra los pasos básicos de remojo en agua, cocción y secado, se ha demostrado que variaciones en estos procedimientos tienen efectos significativos sobre el tiempo de cocción y la calidad sensorial de los productos finales (Guerra, 2009).

Ya que no se trata de arroz solo, sino de un postre elaborado, es muy importante el proceso de secado el cual nos proporcionara la característica de instantáneo, además de que es uno de los métodos más antiguos de conservación de los alimentos.

1.7 Aspectos generales de la deshidratación de alimentos.

El secado es la aplicación de calor en condiciones controladas para eliminar el agua de los alimentos. Cuyo propósito es aumentar su vida de anaquel mediante la reducción de la actividad de agua, lo que inhibe el crecimiento microbiológico y la actividad de las enzimas. La reducción del peso y el volumen en el secado también reduce los costos de transporte y almacenamiento y, para algunos tipos de alimentos, proporciona mayor variedad y conveniencia para el consumidor. Sin embargo, la deshidratación no solo afecta el contenido de agua del producto sino también altera otras propiedades físicas y químicas como la calidad nutritiva, el sabor, su textura, viscosidad, dureza y aroma (Sharman *et al.*, 2003).





El secado y la deshidratación se usan como sinónimos frecuentemente pero se define al secado de alimentos el remover la humedad al 15-20% y la deshidratación removerla al 3-5%, en este caso se utilizarán los términos indistintamente.

Un aspecto fundamental en la conservación de los alimentos es conocer como esta ligada el agua en los alimentos más que la cantidad de agua que realmente contiene.

1.7.1 Contenido de agua.

El agua contenida en un alimento interacciona con los diferentes constituyentes del mismo, de una manera compleja y heterogénea. Se considera que el agua contenida en los alimentos se encuentra adsorbida en capas y puede clasificarse en tres tipos de agua (Figura 3).

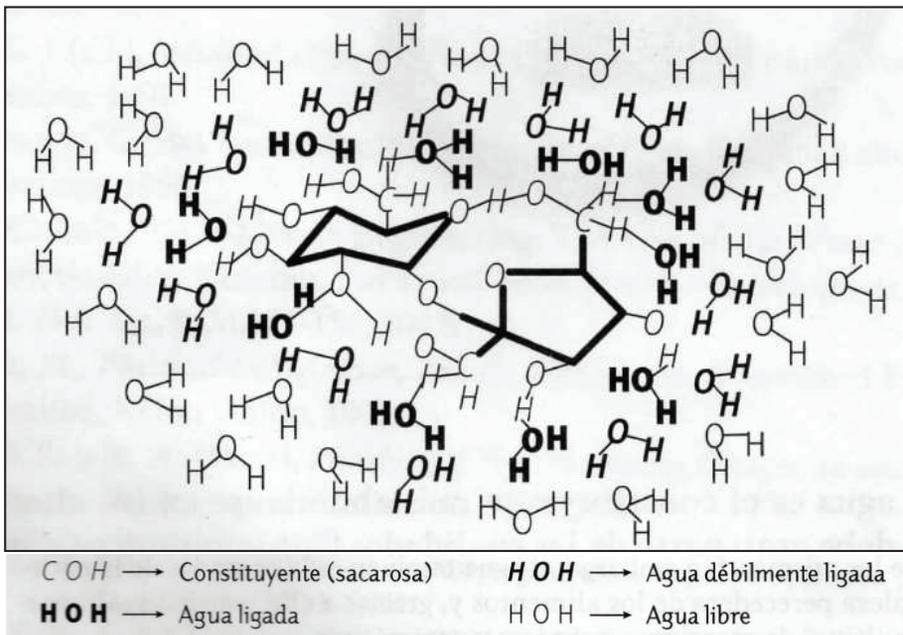


Figura 3. Configuración del agua en un alimento

Fuente: Colina, 2010



- Agua ligada. Las moléculas de agua están unidas a grupos iónicos, tales como grupos carboxílicos y grupos amino. Este tipo de agua posee menor presión de vapor, movilidad y punto de congelación en relación con el agua pura. Puede considerarse como la adsorción de una mono capa de agua sobre los solutos.
- Agua débilmente ligada. Las moléculas de agua se encuentran unidas por puentes de hidrógeno a grupos hidroxílicos y amino, así como a otras moléculas de agua en múltiples capas adyacentes a los solutos.
- Agua libre. Las moléculas de agua se mantienen en el alimento por los constituyentes solubles y componentes estructurales. Es agua retenida físicamente por las membranas celulares, además de que se comporta como agua pura (Martínez *et al*, 1998).

El tipo de agua que se encuentra en un alimento, así como la fuerza con la que estén unidas las “capas de agua” depende de los componentes del alimento (proteínas, carbohidratos, grasas, sales, ácidos orgánicos) y la forma en la que el agua se une a dichos componentes (solución, suspensión coloidal, emulsión) (Colina, 2010).

En tejidos animales y vegetales, el comportamiento del agua dependerá además de si se mantiene o no la estructura celular original. El agua intracelular puede comportarse como débilmente ligada cuando la célula se encuentra íntegra, pero puede ser agua libre cuando ésta se desintegra, por ejemplo, durante el procesamiento.

Debido a esto, el contenido de agua libre del jugo de manzana es mayor que el de las rebanadas de manzana. Esto explica también por qué la humedad final de un orejón de manzana está entre 8 y 12%, mientras que la del jugo de manzana deshidratado (en polvo) se halla entre 2 y 3 %, aunque ambos productos deshidratados presentan una misma actividad de agua (Colina, 2010).





El contenido de humedad de un alimento es la cantidad de agua total que contiene y que puede expresarse de tres diferentes formas:

• **Porcentaje de humedad.** Es la forma más común de expresar el contenido de humedad de un alimento y puede calcularse con la siguiente expresión:

$$\text{Porcentaje de Humedad} = \frac{\text{Masa de agua de un producto (kg)}}{\text{Masa total del producto húmedo (kg)}} \times 100 \quad \dots\dots (1)$$

Contenido de humedad en base húmed (W_{bh}). Que puede determinarse mediante la expresión:

$$W_{bh} = \frac{\text{Masa de agua de un producto (kg de agua)}}{\text{Masa total del producto húmedo (kg del producto húmedo)}} \times 100 \quad \dots\dots (2)$$

Contenido de humedad en base seca (W). Esta forma de expresar el contenido de humedad de un alimento es la que se utiliza en la construcción de las curvas de secado, así como en los cálculos del tiempo y velocidad de deshidratación y puede determinarse mediante la siguiente expresión:

$$W = \frac{\text{Masa de agua de un producto (kg de agua)}}{\text{Masa de sólidos secos del producto (kg de sólidos secos)}} \times 100 \quad \dots\dots (3)$$

(Orrego, 2003)

Actividad de agua (a_w)

El término actividad de agua (a_w) determina el grado de interacción del agua con los demás constituyentes de un alimento y es una medida indirecta del agua disponible para realizar las diferentes reacciones químicas y bioquímicas que pueden suscitarse en dicho alimento. En otras palabras, es una medida del agua libre de dicho alimento.

La a_w puede determinarse mediante la relación entre la presión de vapor de agua contenida en un alimento a una temperatura dada y la presión de vapor de agua pura a la misma temperatura (Martínez *et al*, 1998).

$$a_w = \frac{P}{P_0} \quad \dots\dots (4)$$





Donde:

a_w = actividad de agua.

P = presión de vapor del agua de un alimento a una temperatura dada.

P_0 = presión de vapor del agua pura a la misma temperatura.

Humedad crítica del producto (W_c). Corresponde al contenido de humedad del producto cuando se ha eliminado prácticamente toda su agua libre y sólo le resta agua débilmente ligada y agua ligada. Es importante, en virtud de que establece el final de la etapa de velocidad constante y el inicio de la etapa de velocidad decreciente.

La humedad crítica de los alimentos normalmente se encuentra entre 15 y 45 %, pero depende mucho de factores como:

- Composición química (presencia de componentes hidrofílicos, como polisacáridos, proteínas, etc.).
- Integridad de los tejidos.
- Para frutas y verduras: variedad y estado de madurez.
- Para carne y pollo: raza, edad, alimentación, lugar de crianza.

Por lo que debe determinarse experimentalmente para cada caso en particular (Colina, 2010).

1.7.2 Isotermas de sorción de agua.

La isoterma de sorción de agua relaciona, a una temperatura constante, el contenido de humedad en equilibrio (kg agua/kg de materia seca) con la actividad de agua en el producto, en un intervalo dado de humedad o actividad. Es interesante recordar que en el equilibrio la actividad del agua es igual a la humedad relativa del aire que rodea al producto a una temperatura determinada. Por lo tanto, la a_w se puede expresar como humedad relativa de equilibrio. Los términos adsorción-desorción tienen que ver con la forma en que se llevó a cabo la experimentación (partiendo de producto seco o de producto húmedo, respectivamente) para la determinación de las relaciones de equilibrio (Valcárcel y Gómez, 1988).





La isoterma de sorción de agua es una forma adecuada de analizar el grado de interacción del agua con el sustrato.

Normalmente se puede dividir en tres intervalos en función de la a_w : agua fuertemente ligada correspondiente a una a_w de 0.2 -0.3 o inferior (zona A), agua moderadamente ligada en un intervalo de a_w 0.3-0.7 (Zona B) y agua poco ligada correspondiente a una a_w de 0.7-0.8 y superior (Zona C) (Figura 4) (Bello, 2000).

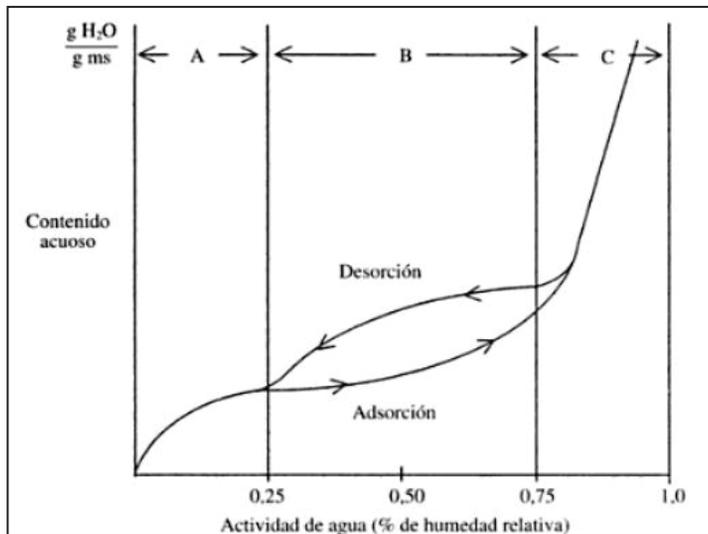


Figura 4. Isotermas de sorción del agua.

Fuente: Bello, 2000

1.7.3. Determinación de datos de equilibrio.

Los datos de equilibrio se pueden determinar utilizando dos técnicas diferentes:

- Técnicas manométricas o higrométricas, basadas en la determinación directa de la presión del vapor de agua o la humedad relativa de la interfase de un sólido de contenido de humedad conocido.





- b) Técnicas gravimétricas, basadas en la determinación del contenido de humedad de la muestra después de que esta ha alcanzado el equilibrio con un aire de humedad relativa conocida también denominado equilibrio Isopiéstico

Estas últimas son las de uso más frecuente para la construcción de isotermas de un determinado producto.

Las técnicas gravimétricas consisten en colocar dentro de una cámara herméticamente cerrada una disolución saturada de una sal con a_w conocida. En el espacio libre que queda por encima de la disolución se origina un ambiente cuya humedad relativa en el equilibrio, a una temperatura determinada, será exactamente la a_w de la sal a esa misma temperatura.

Si en el interior de la cámara se coloca también la muestra, ésta irá ganando o perdiendo agua hasta quedar en equilibrio con el ambiente (peso constante) (Martínez *et al*, 1998).

Como equilibrio se considera el momento en que la diferencia de peso entre dos pesadas consecutivas es menor de 1 mg/g (Labuza *et al.*, 1985). La a_w de la muestra en ese momento será la de la sal, puesto que al estar saturada absorbe las variaciones de humedad de manera que la humedad relativa ambiente permanece constante. La humedad puede determinarse experimentalmente o calcularse conociendo la humedad inicial de la muestra así como los pesos inicial y final (Martínez *et al*, 1998).

El mismo procedimiento realizado con diferentes sales, de diferentes a_w , puede permitir obtener la isoterma completa del producto. Si lo que se pretende es construir la isoterma de adsorción, previamente habrá que secar completamente el producto, mientras que si se quiere la isoterma de desorción, habrá que humectarlo al máximo. El experimento puede ser realizado también con disoluciones acuosas de ácido sulfúrico de distintas densidades, que corresponden a una composición porcentual en cada caso. Sin embargo, en este caso, la desventaja es que la concentración de la disolución puede variar si ésta gana o pierde agua durante el equilibrio con el producto. En cambio, tiene la ventaja de que puede conseguirse cualquier presión de vapor y , por tanto, cualquier a_w (Prieto y Gordillo, 2006).





1.7.4. Aplicaciones de las isoterms de sorción.

Las isoterms de sorción tienen una utilidad con fines teóricos pero también con fines prácticos, pero en resumen engloban cuestiones tanto termodinámicas como relacionadas con investigaciones estructurales. Desde el punto de vista de la termodinámica, las isoterms permiten obtener información relacionada con la cantidad de agua ligada, a través de la determinación del contenido de humedad de la capa mono molecular, o con la fuerza con que está ligada esa agua, ya que posibilitan el cálculo de las entalpías de adsorción-desorción. Su aplicación en investigaciones estructurales de los sólidos se debe a que permiten determinar superficies específicas, relaciones entre volumen de poros y distribución de tamaños y abordar cuestiones relacionadas con la “cristalinidad”, que será función de la disponibilidad de las moléculas para organizarse formando cristales. Pero aparte de esta utilidad con fines teóricos, existen cuatro campos concretos de aplicación práctica de las isoterms relacionados con el procesado de alimentos, como son el secado, mezclado, envasado y almacenamiento (Martínez *et al.*, 1998).

1.7.5 Clasificación de deshidratadores.

Teniendo en consideración la forma en que se encuentra el agua en los alimentos se puede seleccionar el tipo de secador los cuales se pueden clasificar de diferentes formas.

Uno de los criterios de clasificación de los secadores se basa en la manera de transmitir el calor. La transferencia de calor puede ser por convección, conducción y radiación los distintos mecanismos de transporte del calor implicados en la deshidratación van a repercutir notablemente en la cinética del proceso y por tanto en los costos totales (Maupoey *et al.*, 2001).

De acuerdo con este criterio se distinguen los siguientes tipos de deshidratadores:

- **Deshidratador directos o convectivos** : Los cuales se caracterizan por utilizar gases calientes que entran en contacto directo con el sólido húmedo al que transmiten calor por convección fundamentalmente y que arrastran fuera del deshidratador los vapores producidos.





Los gases calientes pueden ser: Aire calentado por vapor de agua, gases inertes, vapor recalentado, aire calentado por radiación solar (Maupoey *et al.*, 2001).

- **Deshidratadores por conducción o indirectos:** Se caracterizan por que en ellos el calor es transmitido hacia el alimento mediante placas metálicas calientes del recipiente y por contacto directo entre las partículas calientes y frías del alimento (Colina, 2010).

La fuente de calor puede ser: vapor que condensa, agua caliente, gas de combustión y resistencias eléctricas (Maupoey *et al.*, 2001).

Los deshidratador indirectos son apropiados para la deshidratación a presiones reducidas y en atmosferas inertes, lo que les hace recomendables para productos termolábiles o fácilmente oxidables pudiendo utilizar métodos de agitación para asegurar una mejor transmisión de calor eliminar los gradientes de humedad en el producto (Maupoey *et al.*, 2001).

- **Deshidratadores por radiación:** Se basan en la transferencia de energía radiante para evaporar la humedad del producto. Esta energía se produce eléctricamente o por medio de refractarios únicamente calentados con gas. El costo de la energía necesaria para este método es de dos a cuatro veces mayor que el costo del combustible en los secadores descritos anteriormente (Maupoey *et al.*, 2001).

Los tipos de deshidratadores de interés en este estudio son los deshidratadores directos y es por ello que a continuación se les dará mayor énfasis.

1.7.6 Equipo utilizado para la deshidratación.

Los mecanismos por los que el calor se transfiere al alimento proporcionan como se ha visto anteriormente, un criterio de clasificación de los tipos de deshidratadores más utilizados actualmente. Los deshidratadores por aire caliente o convectivos son los más utilizados en la industria alimentaria (Maupoey *et al.*, 2001).

En los deshidratadores convectivos, el aire caliente es impulsado a través del deshidratador por medio de ventiladores. Las fuentes de energía para ca-





lentar el aire son muy variadas, entre ellas el gas natural ofrece mayor flexibilidad y una respuesta más rápida a menor costo, y también permite trabajar a temperaturas más altas. Sin embargo los requerimientos de seguridad son muy estrictos o rigurosos. El propano tiene características similares al gas natural pero es más caro.

La mayoría de los deshidratadores son calentados con vapor evitando así el contacto del producto que se está deshidratando con los productos procedentes de la combustión. Las temperaturas que se consiguen en este caso son limitadas (normalmente entorno a los 150 °C), sin embargo, presentan con frecuencia problemas de mantenimiento por obstrucción de las aletas del intercambiador de calor debido a la formación de depósitos.

La combustión directa de aceite se utiliza en ocasiones en los procesos industriales, pero no es aplicable al deshidratado de alimentos debido al riesgo de contaminación.

El calentamiento eléctrico rara vez se usa para la generación de aire caliente debido a su baja eficacia y elevado costo. Sin embargo en muchos casos para aumentar la eficacia se combinan sistemas de calefacción con el calentamiento por aire como es el caso de los deshidratadores eléctricos que utilizan el transporte de calor por radiación generando un calor seco mediante resistencias situadas en la pared interna superior e inferior del deshidratador, se promueven un sistema convectivo mediante un ventilador que realiza la distribución de aire caliente de manera uniforme.

1.8 Mecanismos de deshidratación de alimentos.

Al deshidratar un sólido húmedo con aire caliente, el aire aporta al producto tanto el calor sensible como el calor latente de evaporación, y también actúa como acarreador de la humedad que se está evaporando del sólido (Colina, 2010).

Cuando se coloca un producto sólido húmedo en contacto con una corriente de aire caliente y se mantienen constantes la temperatura, humedad, velocidad y dirección de flujo sobre el sólido de dicha corriente de aire, se logrará deshidratar el sólido (Colina, 2010).





Si el cambio en el contenido de humedad del producto (expresado en base seca: kg agua/kg de sólidos secos) se va registrando a intervalos pequeños de tiempo durante todo el proceso de deshidratación, pueden obtenerse, según el dato graficado, las curvas que se muestran en la Figura 5.

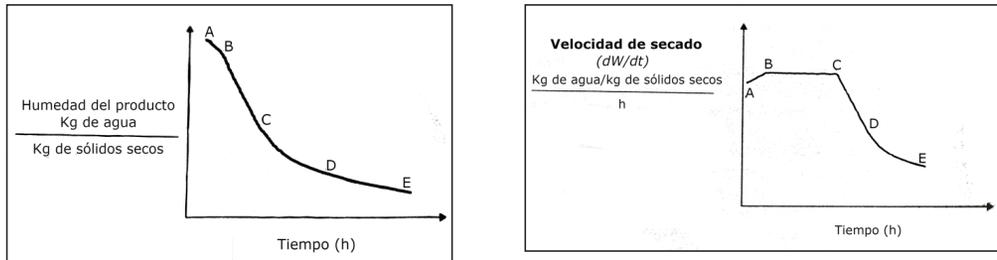


Figura 5. Curvas típicas de deshidratación de alimentos

Fuente: Colina, 2010.

En dichas curvas pueden distinguirse varias etapas del proceso de deshidratación:

Etapa A-B. Periodo de estabilización de las condiciones, es decir, la superficie del sólido se equilibra con el aire de secado y alcanza su temperatura de evaporación. Normalmente esta etapa suele despreciarse en el proceso total, aunque en algunos casos puede ser importante.

Etapa B-C. También llamada etapa de velocidad constante. En esta etapa lo que se evapora es el agua libre, que se elimina fácilmente, en tanto que la superficie del producto se mantiene saturada de agua, debido a que el movimiento del agua desde el interior del producto hasta la superficie ocurre a la misma velocidad que la de evaporación en la superficie. La deshidratación tiene lugar por el movimiento del vapor de agua, desde la superficie saturada del producto hacia la corriente del aire de secado (Orrego, 2003).

Durante esta etapa la velocidad de transferencia de masa se equilibra con la velocidad de transferencia de calor de forma que la temperatura en la superficie del producto se mantiene constante y corresponde a la temperatura de bulbo húmedo del aire de secado.

Etapas C-D y D-E. Debido a que muchas veces no se distinguen entre sí, se les consideraba como una sola etapa, llamada etapa de velocidad decreciente.





Conforme avanza la deshidratación se alcanza un punto en el que la velocidad de movimiento de la humedad desde el interior del producto hasta la superficie se reduce en grado tal, que la superficie del producto comienza a resecarse. Como lo que se elimina en esta etapa es agua débilmente ligada, el proceso es cada vez más lento y su velocidad depende del mecanismo del movimiento de la humedad dentro del sólido (capilaridad o difusión).

En la etapa de velocidad decreciente, la velocidad de transferencia de calor es mayor que la de masa, por lo que la temperatura en la superficie del producto se incrementa paulatinamente hasta acercarse a la temperatura de bulbo seco del aire de secado (Orrego, 2003).

El mecanismo de la deshidratación ha sido objeto de estudio durante muchos años. El movimiento de la humedad a través de una pieza de tejido animal o vegetal que se está deshidratando, con objeto de permitir su eliminación, es un fenómeno complejo que incluye fuerzas capilares, difusión del líquido debido a gradientes de concentración y difusión superficial, entre otros (Colina, 2010).

La naturaleza del material por ser deshidratado tiene una participación importante durante la deshidratación, debido a posibles cambios en sus propiedades físicas y químicas que pueden ocurrir durante el proceso y el efecto de estos cambios en la remoción del agua del producto (Colina, 2010).

Por lo general, la deshidratación de alimentos sólidos sigue una secuencia de eventos, que pueden resumirse de la siguiente manera:

- a) Los tejidos animales y vegetales poseen una estructura porosa con estrechos conductos llamados capilares. Al inicio de la deshidratación, cuando la estructura celular está intacta, el agua se desplaza a través de ellos hacia la superficie del sólido desde donde es eliminada. A este mecanismo de eliminación de agua se le denomina capilaridad.
- b) Conforme el agua se evapora de la superficie húmeda, el diámetro de los poros superficiales y de los capilares disminuye y los elementos estructurales sólidos se acercan o compactan por la influencia de la tensión superficial. Este efecto también se observa en las capas más profundas del alimento. El encogimiento del producto es proporcional al volumen de agua evaporada.





c) A medida que se elimina más agua, los elementos estructurales del producto sufren mayor deformación, estrujándose y provocando mayor encogimiento del producto, lo cual reduce los espacios libres o capilares. Entonces el agua empieza a desplazarse por difusión molecular hacia las partes con menor concentración de agua, en este caso, hacia la superficie (Colina, 2010).

La difusión de la humedad en alimentos sólidos involucra una serie de complejos fenómenos. La estimación de la difusividad másica del agua (D_m) en un determinado alimento y condiciones de deshidratación, generalmente se realiza de manera experimental, en virtud de que dicho valor depende de la estructura física del alimento, su contenido de humedad, la presencia de grasa, así como del método y temperatura de deshidratación (Orrego, 2003).

En la figura 6a y 6b se representan esquemáticamente los mecanismos de eliminación de agua de los tejidos animales y vegetales.

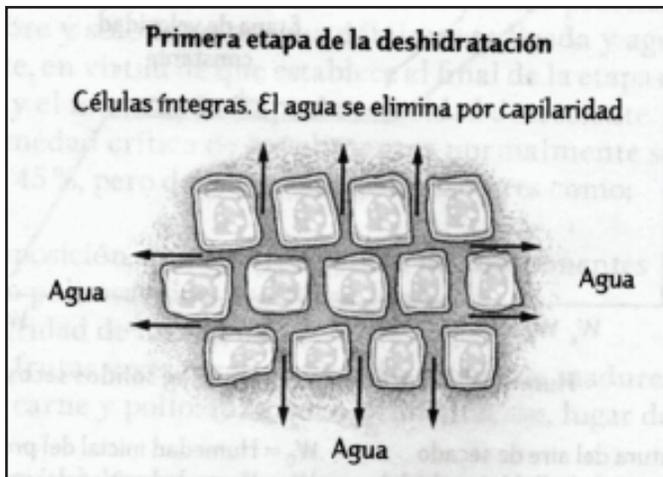


Figura 6a. Mecanismos de eliminación de agua en tejidos animal y vegetal.
Fuente: Colina, 2010



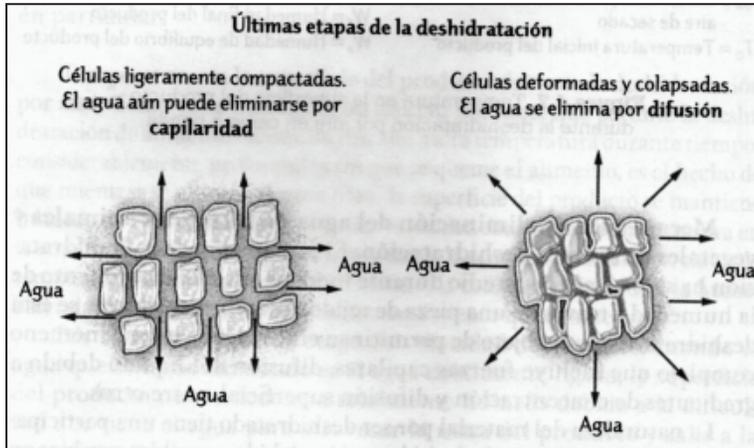


Figura 6b. Mecanismos de eliminación de agua en tejidos animal y vegetal.

Fuente: Colina, 2010

El aspecto físico final del producto deshidratado también se ve influido por el mecanismo de eliminación de agua, como se observa en la Figura 7.

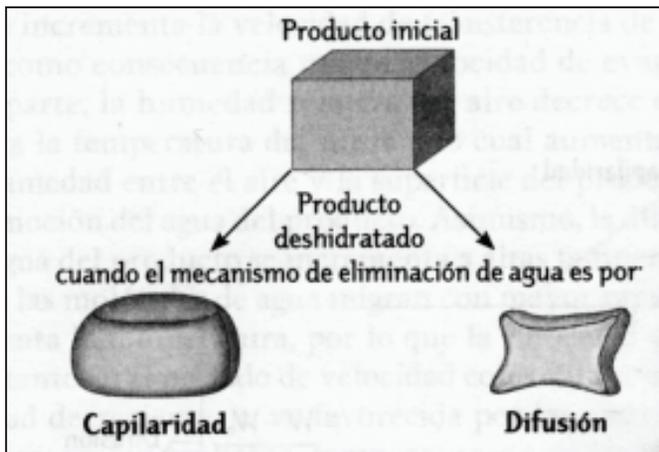


Figura 7. Aspecto físico final de productos deshidratados

Fuente: Colina, 2010





Como la eliminación de agua por capilaridad es más rápida que por difusión, debe intentarse cualquier acción que ayude a mantener la capilaridad durante todo el proceso de deshidratación. Algunas de estas acciones pueden ser:

- Seleccionar adecuadamente la temperatura del aire de secado, la cual no debe ser muy alta para impedir que se deshidrate la superficie, formando una costra que impida el paso del agua por eliminar, ni tampoco demasiado baja para evitar tiempos de deshidratación prolongados que contraigan al producto.
- Deshidratar piezas pequeñas y delgadas.
- Emplear previamente una deshidratación osmótica que disminuya el contenido inicial de agua del producto (Colina, 2010).

1.9. Análisis sensorial.

La evaluación sensorial de alimentos es de suma importancia en la investigación y el desarrollo de alimentos. El tipo de análisis sensorial dependerá del tipo de información requerida, y en este sentido, nos enfocaremos a las pruebas hedónicas; sin embargo es importante conocer las distintas pruebas sensoriales para la evaluación de alimentos.

1.9.1. Tipo de pruebas sensoriales.

Existen tres grupos dentro de las pruebas sensoriales las cuales son:

- Pruebas descriptivas.

Las pruebas descriptivas son aquellas que permiten describir, comparar y valorar las características de las muestras en función de categorías o tipos (patrones) definidos.

- Pruebas discriminativas.

Son las que permiten encontrar diferencias significativas entre las muestras o entre ellas y un patrón. Además deben de permitir cuantificar la diferencia significativa.





- Pruebas de consumidor o hedónicas.

Las pruebas hedónicas permiten clasificar las muestras con relación a la preferencia que sienten por ella o a su nivel de satisfacción.

1.9.2. Pruebas hedónicas.

Las pruebas hedónicas están indicadas especialmente para cuantificar la preferencia de los sujetos por un producto midiendo cuanto les gusta o les disgusta, es decir el grado de satisfacción.

Para llevar a cabo las medidas de aceptación se utilizan escalas hedónicas, con dichas escalas se mide el grado de placer o displacer que produce un alimento, estas pueden ser semánticas o gráficas (Ibáñez y Barcina, 2001).

1.9.3. Escalas Hedónicas.

Este tipo de escala es utilizada en las pruebas hedónicas, especialmente para la medida de la preferencia o la aceptación de un producto bajo la forma de escala de 9 puntos con los extremos en 1 (Extremadamente desagradable) y en 9 (Altamente agradable) y el punto neutro en 5 (ni agradable ni desagradable). El origen de esta escala esta en las investigaciones llevadas a cabo para evaluar la aceptabilidad de las comidas en instituciones militares (Sancho *et al.*, 1999).

Como se aprecia en la Figura 8, la escala hedónica es simple de describir e, igualmente fácil de usar. Esta última característica es la principal razón por la que se usa en la evaluación de la aceptación o rechazo de todo tipo de alimentos y, en general, de cualquier producto de consumo (Sancho *et al.*, 1999).

Para el tratamiento matemático de los datos, las respuestas pueden transformarse en valores numéricos: entre 1 para “altamente desagradable”, y 9, para “Altamente agradable”.

Para evaluar la aceptación del arroz con leche instantáneo se utilizara una escala hedónica con descriptores extremos en la escala los cuales puntualizan la característica de agrado (Gusta, Indiferente, Disgusta) de acuerdo a lo propuesto por Pedrero (1989).





Nombre y apellidos _____ Fecha _____

Por favor, pruebe todas y cada una de las muestras que se le han presentado y señale con una "X" el termino que mejor refleja la impresión global que le produce cada una de ellas.

Código del producto

Altamente agradable

Muy agradable

Moderadamente agradable

Ligeramente agradable

Ni agradable ni desagradable

Ligeramente desagradable

Moderadamente desagradable

Muy desagradable

Altamente desagradable

Figura 8. Ejemplo de escala hedónica de 9 puntos.
Fuente: Ibáñez y Barcina, 2001





1.10 Envasado de productos deshidratados.

Los alimentos deshidratados se envasan principalmente para protegerlos del medio ambiente con objeto de mantener sus características y extender su vida de almacenamiento. Asimismo, el envase facilita el manejo del producto, permite presentar al consumidor información necesaria sobre el producto y sirve como herramienta de mercadotecnia (Colina, 2010).

Para que un envase sea apropiado, debe ser capaz de:

- Proteger el producto de la contaminación por insectos, microorganismos o polvo.
- Proteger el producto de factores ambientales como luz, oxígeno y otros gases.
- Proteger el producto de daños mecánicos.
- Evitar que el producto absorba humedad.
- No interactuar con el alimento.
- Soportar el proceso de llenado, sellado, distribución y almacenamiento requeridos.
- Ser estético y funcional.
- Tener un costo moderado.
- Preferentemente, ser reciclable.

Entre los factores que mayor influencia ejercen en la conservación de la calidad de los productos deshidratados durante su almacenamiento se encuentran:

- a) **Presencia de oxígeno.** Las reacciones de oxidación frecuentemente ocasionan cambios indeseables en los alimentos deshidratados durante su almacenamiento. Una de las principales reacciones de deterioro es la rancidez oxidativa, debida a la peroxidación de grasas y aceites, la cual produce complejos cambios en el alimento. Además, muchas vitaminas, pigmentos y algunos aminoácidos y proteínas son sensibles al oxígeno. La velocidad de oxidación del producto varía desde luego con la concentración de oxígeno, pero también con el tipo de reacción, tipo de producto, temperatura y presencia de luz, entre otros factores.





- b) **Humedad.** Los productos deshidratados tienden a absorber humedad, lo que ocasiona pérdida en su calidad y puede, incluso, permitir el desarrollo de microorganismos y el desarrollo de reacciones químicas deteriorantes, sobre todo en presencia de oxígeno.
- c) **Trasmisión de luz.** La exposición prolongada de los productos deshidratados a la luz puede provocar reacciones indeseables, tales como destrucción de vitaminas (especialmente vitamina C y riboflavina, que son las más fotosensibles), degradación de pigmentos, originando ya sea pérdida del color o bien oscurecimiento del producto. La luz también es un catalizador de las reacciones de oxidación de grasas y aceites.
- d) **Daño mecánico.** Los alimentos sólidos deshidratados suelen ser bastante frágiles, en particular los productos liofilizados. El daño mecánico se origina por golpes o impactos durante el manejo y transporte del producto, así como fuerzas de compresión a las que puede estar sometido el producto durante su almacenamiento, debidas al apilamiento de productos.
- e) **Interacción con el envase.** Algunos de los diferentes tipos de materiales empleados para fabricar envases pueden reaccionar con el alimento envasado en ellos, especialmente cuando la vida de almacenamiento es larga. La disolución de componentes del envase en el alimento es mayor cuando el alimento posee agua y/o grasas, por lo que en los alimentos deshidratados esta transferencia de sustancias es limitada, aunque no imposible. El problema de la interacción del envase con el alimento puede ir, desde aspectos toxicológicos hasta de deterioro de nutrientes o simplemente la trasmisión de olores y sabores raros al producto.

En los alimentos deshidratados, la selección del material de envase está enfocada principalmente a los siguientes factores:

- **Protección contra el daño mecánico.** Los envases de materiales rígidos protegen los productos deshidratados de este tipo de daño.
- **Características de permeabilidad.** Los gases (como O_2 y CO_2) y el vapor de agua pueden difundirse a través de los materiales por difusión molecular. Las películas plásticas y otros materiales utilizados para el





envase de productos poseen diferentes permeabilidades a los gases y al vapor de agua, por lo que no cualquier material de envase puede utilizarse en productos deshidratados. El envase puede controlar de dos maneras la interacción de los alimentos con el oxígeno: la concentración de oxígeno presente en el interior del envase y la posibilidad de permeación del oxígeno externo hacia el interior del envase. Para eliminar el oxígeno en los envases de productos deshidratados puede utilizarse envasado al vacío, o bien, inyectar un gas que, por lo común es nitrógeno, debido a que es inerte y posee una baja solubilidad en las grasas y en agua. También puede utilizarse CO_2 para envases con atmósfera modificada. Como norma general, los envases para productos deshidratados deben evitar el contacto de ellos con la humedad y el oxígeno, y en los casos en los que se introduce un gas inerte para protección del producto, evitar que éste se pierda.

- **Trasmisión de la luz.** Cuando exista peligro de foto degradación en un producto deshidratado, el material de envase utilizado debe ser opaco o coloreado para eliminar la luz, en especial de longitudes de onda bajas (visible y ultravioleta) ya que tienen efecto catalizador más pronunciado.
- **Compatibilidad química.** El material de envase debe ser compatible con el producto con el que está en contacto. Tanto el vidrio como la mayoría de los envases flexibles son suficientemente inertes (Colina, 2010).

Con base en lo antes expuesto, en este trabajo se determinarán las condiciones de proceso (tiempo y temperatura) para el secado de arroz con leche y proporcionar en este el carácter de instantáneo.

Debido a que en dicho proceso se suministra energía es de gran interés tener conocimiento de cuanta energía se suministra y cual es el costo de la misma, es por ello que también se determinará el gasto energético para la producción a nivel laboratorio.

Una vez obtenido un producto deshidratado se estudiará el tiempo teórico que podría mantenerse en almacenamiento, para poder inferir en una fecha de consumo preferente por el consumidor se elaboraron curvas de adsorción.





Para lograr conocer la posible inserción del producto en el mercado es de suma importancia la opinión del consumidor es por ello que se realizará una prueba hedónica para conocer el nivel de agrado que tiene el arroz con leche una vez rehidratado.



MATERIALES Y MÉTODOS





ARROZ CON LECHE INSTANTÁNEO





2. Materiales y Métodos.

2.1. Objetivos.

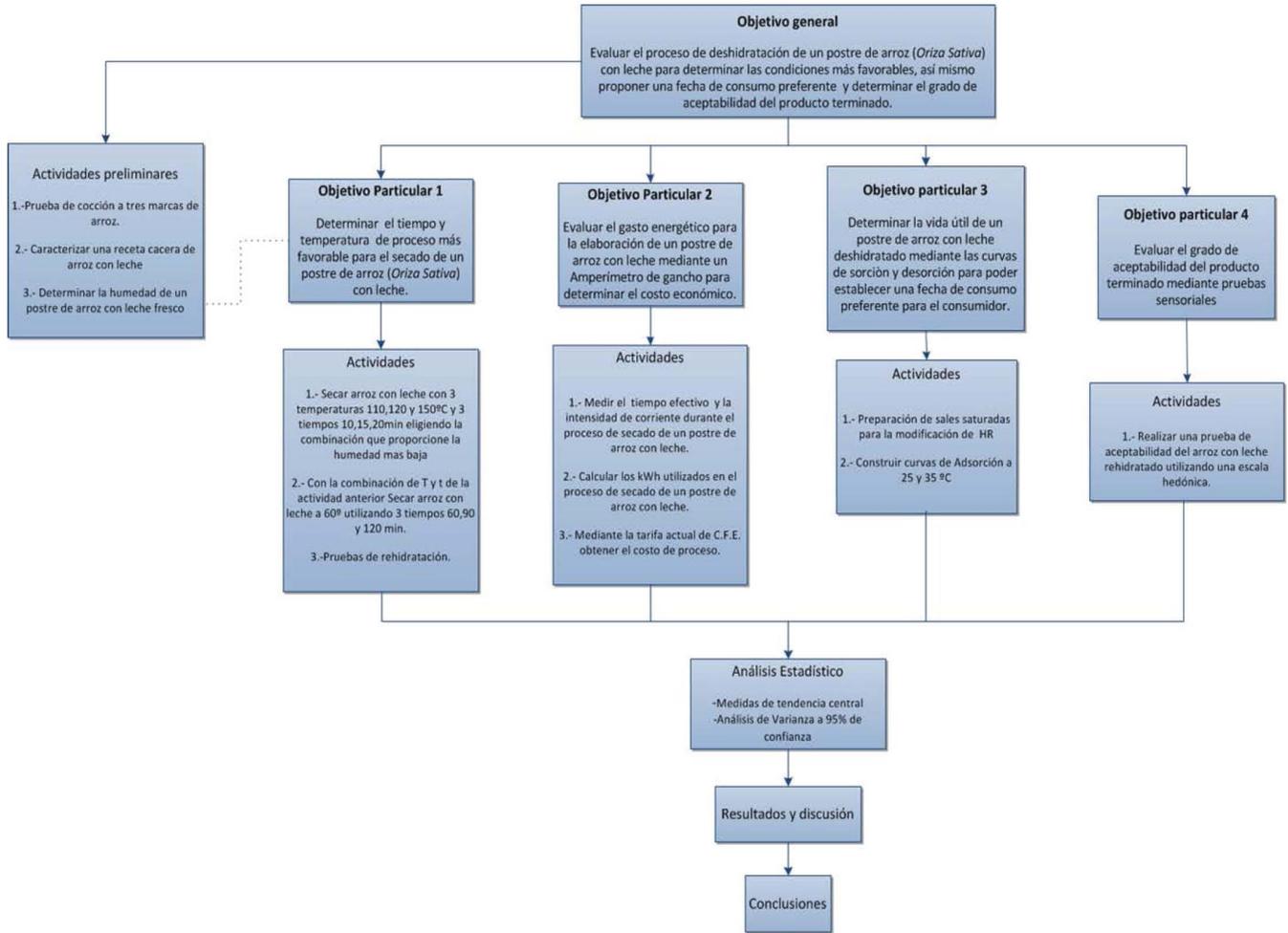
2.1.1. Objetivo general.

Evaluar el proceso de deshidratación de un postre de arroz (*Oriza sativa*) con leche para determinar las condiciones (de tiempo y temperatura) más favorables, una fecha de consumo preferente y su grado de aceptación por el consumidor.

2.1.2. Objetivos particulares.

- 1.-Determinar las mejores condiciones de proceso (tiempo y temperatura) para el secado de un postre de arroz (*Oriza sativa*) con leche.
- 2.-Evaluar el gasto energético en la elaboración de arroz con leche deshidratado mediante un amperímetro de gancho para la determinación del costo económico del proceso.
- 3.-Determinar la vida útil de arroz con leche deshidratado mediante las curvas de sorción y desorción para estimarse una fecha de consumo preferente para el consumidor.
- 4.-Evaluar el grado de aceptación del arroz con leche rehidratado mediante una prueba sensorial de nivel de agrado.





2.2. Cuadro metodológico.



2.3. Actividades preliminares.

Para la elaboración de arroz con leche se tomaron en consideración diversos parámetros como, la calidad culinaria del arroz a utilizar, la cual se determina con el porcentaje de absorción y porcentaje de incremento de volumen, el contenido de sólidos solubles presentes en la leche al inicio y final de la elaboración del producto así como la humedad del producto final ya que será la cantidad de agua a eliminar en el proceso de deshidratación.

2.3.1. Prueba de cocción a tres marcas diferentes de arroz.

Fundamento: La cocción del arroz produce esencialmente el hinchamiento de los gránulos de almidón del endospermo del mismo. Durante la cocción es deseable obtener una absorción de agua moderada (50-75%) y un porcentaje de incremento de volumen de moderado a alto (70-100%), para que el secado sea óptimo y la calidad del arroz de cocción rápida sea superior (Guerra, 2009).

- Procedimiento
- ✓ Se pesaron 40g de arroz y se midió su volumen en una probeta.
- ✓ Se midió el volumen necesario de agua potable para mantener una relación 1:10 con respecto al peso del arroz
- ✓ Se llevó a ebullición (92°C) el agua potable en un recipiente resistente al fuego grado alimenticio.
- ✓ Se vertió el arroz previamente pesado y se cocinó durante 25 min a temperatura de ebullición (92°C)
- ✓ Una vez transcurridos el tiempo de cocción se retiró del fuego y eliminó el agua excedente con ayuda de un colador.
- ✓ Se pesó nuevamente y midió su volumen.
- ✓ Se calculó el porcentaje de absorción de agua (%Abs) dividiendo la diferencia de peso de arroz crudo y cocido entre el peso inicial de arroz crudo y multiplicándolo por 100.
- ✓ Se calculó el incremento de volumen (%IV) de manera similar al porcentaje de absorción.





2.3.2. Caracterización de una receta cacera de arroz con leche.

- Procedimiento
- ✓ Se elaboró la receta cacera (ver Cuadro 4) siguiendo el procedimiento descrito en ella.
- ✓ Con ayuda de un refractómetro se midió los °Brix iniciales y finales de la cocción.
- ✓ Se determinaron la temperatura de proceso descrita en la receta (fuego medio) con ayuda de un termómetro.
- ✓ Mediante un cronómetro se determinó el tiempo de cocción necesario para obtener la consistencia deseada sensorialmente.
- ✓ Se realizó la prueba por triplicado y se obtuvo un análisis de medidas de tendencia central.

Cuadro 4. Receta de arroz con leche casero

Ingredientes:	Preparación:
✓ 1 taza de arroz	1. En una olla, colocar el arroz y el agua. Cocinar por 30 minutos a fuego medio o hasta que el arroz esté suave.
✓ 4 tazas de agua	2. Agregar la Leche Evaporada CARNETION y la Leche Condensada LA LECHERA, mezclar bien.
✓ 2 rajas de canela	3. Añadir las canela y ralladura de naranja dejar hervir a fuego medio, revolviendo de vez en cuando.
✓ 1 latas de Leche Evaporada CARNATION de 315g	4. Una vez reducido el líquido retirar del fuego.
✓ 1 lata de Leche Condensada LA LECHERA de 397g	5. Dejar enfriar y servir espolvoreado con canela en polvo
✓ Ralladura de naranja	





2.3.3. Determinación de humedad del arroz con leche fresco.

Fundamento: La humedad es tomada como la pérdida de peso al secado, usando un instrumento de humedad, el cual emplea una balanza de torsión sensible para pasar la muestra y una lámpara infrarroja para secar (NMX-F-1982)

- Procedimiento
- ✓ Se homogenizó la muestra en el mortero si era fresca, si la muestra era deshidratada se utilizó la licuadora.
- ✓ Se realizaron las pruebas en una termobalanza de la marca “OHAUS” modelo “MB200”.
- ✓ Se encendió la termobalanza asegurándose de utilizar un regulador de corriente.
- ✓ Una vez encendida la balanza y estabilizada la misma se colocó una pequeña lámina de papel filtro sobre el platillo de la balanza.
- ✓ Se taro la balanza y posteriormente se colocó 1 g de la muestra.
- ✓ Se programó el equipo con 20 min y 95°C.
- ✓ El porcentaje de humedad se obtuvo de forma directa en base seca (kg de agua /kg solidos secos).

2.4. Proceso de deshidratación de arroz con leche.

Uno de los propósitos del secado es aumentar la vida de anaquel de los alimentos mediante la reducción de la actividad de agua, lo que inhibe el crecimiento microbiológico y la actividad de las enzimas (Sharma, 2003).

En el arroz, el secado fue utilizado para brindar el carácter de instantaneo después de su cocción, para ello se utilizó un horno eléctrico marca Elite modelo ETO-180, el secado se llevó acabo mediante dos fases; en la primera de ellas se utilizaron temperaturas de 110,120 y 150 °C en combinación con tres diferentes tiempos 10, 15 y 20 min, durante la segunda fase, se utilizaron tiempos de 60, 90 y 120 min a 60 °C , para ello se pesaron 14 g de arroz con leche, se formó una placa de 6 cm de largo 8 cm de ancho y 0.020 cm de espesor en una charola grado alimenticio.





Para elegir la temperatura y el tiempo en la primera fase, se realizaron tres corridas a cada tiempo y cada temperatura, se analizó la humedad alcanzada al final mediante el método descrito en el apartado anterior y se realizó un análisis de medias con una $\alpha=0.01$ para determinar si existía diferencia significativa entre cada tiempo y temperatura.

Para la segunda fase se realizaron de nuevo corridas por triplicado a cada tiempo y se determinó la humedad final después de realizar las dos fases del secado.

Para inferir el daño causado por el tratamiento térmico se realizaron pruebas de rehidratación calculando el porcentaje de absorción (%Abs).

2.5. Costo de producción.

Fundamento: La rapidez con la que la energía eléctrica se convierte en otra forma de energía, como energía mecánica, calorífica o luminosa, se le llama Potencia eléctrica. La potencia eléctrica es igual al producto de la corriente por el voltaje:

$$\textit{Potencia} = \textit{Corriente} \times \textit{Voltaje} \quad \text{..... (5)}$$

Si el Voltaje se expresa en Volts y la corriente en Amperios, la potencia se expresa en Watts.

Entonces en forma dimensional:

$$\textit{Watts} = \textit{Amperios} \times \textit{Volts} \quad \text{..... (6)}$$

Esta relación es práctica para conocer el costo de la energía eléctrica que es de algunos centavos por kilowatt-hora (kWh), dependiendo del lugar. Un kilowatt equivale a 1000 watts, y un kWh representa la cantidad de energía consumida durante una hora a razón de 1 kilowatt (G.Hewitt, 2004).





- Procedimiento
- ✓ Se colocaron las pinzas del amperímetro en paralelo con el horno tostador.
- ✓ La perilla del amperímetro se colocó en la posición de Amperes en Corriente Alterna (\hat{A})
- ✓ Se dio inicio al proceso de secado.
- ✓ Se registró la lectura dada por el amperímetro cronometrando el tiempo que esta duraba.
- ✓ Se realizaron las lecturas tantas veces como fue necesario durante el proceso de secado.
- ✓ Se calculo la potencia eléctrica.
- ✓ Se calculó los kWh consumidos durante el proceso.
- ✓ Se obtuvo el costo mediante tarifas vigentes proporcionadas por C.F.E

2.6. Evaluación sensorial.

La evaluación sensorial se define como el método científico utilizado para evocar, medir, analizar e interpretar aquellas respuestas percibidas a través de los sentidos de la vista, gusto, olfato, tacto y oído (Stone y Sidel, 1993)

2.6.1. Prueba de nivel de agrado.

Fundamento: La prueba hedónica se utilizara para evaluar la aceptación o rechazo del producto terminado planteando una escala no estructurada o hedónica con descriptores extremos en la escala los cuales puntualizan la característica de agrado (Gusta, Indiferente, Disgusta) de acuerdo a lo propuesto por Pedrero y Pangborn (1989).

- Procedimiento
- a) Jueces
- ✓ Fueron 100 individuos elegidos al azar los cuales no tenían ninguna experiencia como catadores.
- ✓ No tenían ningún conocimiento sobre la problemática del estudio.





- ✓ Se les entregó una muestra de producto y una hoja de respuestas donde se indicó todas las instrucciones para el procedimiento (ver anexo 1).

b) Análisis de datos

- ✓ La escala hedónica se convirtió en numérica transformando a centímetros la distancia entre los dos extremos del continuo (se recomienda que esta distancia sea de 10 cm).
- ✓ Se midió el punto de respuesta indicado por el juez siendo esta medición la calificación del producto.

c) Análisis estadístico

- ✓ Se obtuvo el valor medio y desviación estándar esta última nos indicará la discrepancia entre los jueces con respecto a su opinión.

2.7. Vida de anaquel.

Es el periodo en el que un alimento mantiene características sensoriales y de seguridad aceptables para el consumidor, almacenado bajo condiciones óptimas preestablacidas (Bello, 2000).

Existen dos términos importantes que hay que resaltar con respecto al tiempo que puede permanecer un alimento en anaquel los cuales son:

- **Fecha de caducidad.** Se entiende como la fecha límite en que se considera que las características sanitarias y de calidad que debe reunir para su consumo un producto, almacenado en las condiciones sugeridas, se reducen o eliminan de tal manera que después de esta fecha no debe comercializarse ni consumirse.
- **Fecha de consumo preferente.** Fecha en que, bajo determinadas condiciones de almacenamiento, expira el periodo durante el cual el producto es comercializable y mantiene las cualidades específicas que se le atribuyen tácita o explícitamente, pero después de la cual el producto puede ser consumido (NOM-051, 2010).

La pérdida o ganancia de humedad es uno de los factores más importantes que controlan la vida de anaquel de los alimentos. El microclima dentro del envase es regulado por la presión de vapor de la humedad del alimento a la temperatura de almacenamiento (Sharma, 2003).





2.7.1. Determinación de datos de equilibrio de adsorción de agua.

Se elaboraron isotermas de adsorción mediante el método de equilibrio Isopiéstico estático a tres temperaturas diferentes 25 y 35 y un intervalo de humedades relativas de 10% al 75%. Se utilizaron las siguientes sustancias y soluciones saturadas de sales: Silica gel, Cloruro de Magnesio, Nitrato de Calcio, Nitrato de sodio y Cloruro de sodio para mantener humedades relativas de 10, 32, 50,64, y 75% respectivamente (Chaves, 2004).

Fundamento: El método Isopiéstico se basa en la determinación del contenido de humedad de la muestra, después de que esta ha alcanzado el equilibrio con un entorno gas de humedad relativa conocida (Martínez *et al.*, 1998).

- Procedimiento

- ✓ Se prepararon las soluciones saturadas de las sales mencionadas con anterioridad en el anexo 2 se muestra un cuadro con la relación soluto / solvente para cada temperatura y sal que se utilizaron.
- ✓ Se vertieron las sales en el fondo del recipiente hermético y colocó el fondo falso.
- ✓ Se pesaron $0.3g \pm 0.01$ de muestra de arroz instantáneo y se colocó en una caja Petri de peso conocido.
- ✓ Se colocó la muestra dentro del recipiente hermético y se mantuvo en la incubadora a la temperatura requerida
- ✓ Se permitió alcanzar el equilibrio durante 21 días.
- ✓ Una vez transcurrido el tiempo de equilibrio se determinó la humedad de la muestra y se reportó en base seca (Kg de agua/Kg de sólidos secos).

2.7.2. Modelación de adsorción de agua.

Las isotermas se ajustaron a dos ecuaciones citadas en la bibliografía (Sahin y Gülüm, 2009) de las cuales se ha demostrado que tienen un ajuste adecuado al comportamiento sigmoideal de los alimentos.





La primera de ellas es la ecuación del modelo de G.A.B. la cual es adecuada para muchos materiales en un amplio intervalo de actividades de agua (0-9 %HR). Este modelo se expresa como:

$$X_e = \frac{X_0 C K a_w}{(1 - K a_w)(1 - K a_w + C K a_w)} \quad \dots (7)$$

Donde:

X_0 = Es la humedad del producto correspondiente a la situación en que los puntos de adsorción primarios están saturados por moléculas de agua (humedad de la monocapa).

C = Es la constante de Guggenheim, característica del producto y relacionada con el calor de adsorción de la monocapa.

K = Es un factor de corrección relacionado con el calor de sorción de la multicapa. (Vega *et al.*, 2006)

La segunda ecuación pertenece al modelo de Peleg (1993) el cual muestra el mismo ajuste o mejor que el modelo de G.A.B. Es un modelo de cuatro parámetros descrito como:

$$X_e = C_1 a_w^{C_3} + C_2 a_w^{C_4} \quad \dots (8)$$

La evaluación de los parámetros de los modelos se llevaron a cabo mediante análisis de regresión no lineal de mínimos cuadrados empleando el programa informático Excel® versión 2010 a través de su función “Solve”. La calidad del ajuste se determinó mediante el porcentaje de error medio relativo (%E) que está dado por:

$$\%E = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \left[\frac{X_i^{cal} - X_i^{exp}}{X_i^{exp}} \right] \quad \dots (9)$$

Donde X_i^{cal} y X_i^{exp} son los valores de los contenidos de humedad de equilibrio calculados por el modelo y experimentales, respectivamente y n es el número de datos experimentales.





2.7.3. Predicción del tiempo de empaque.

Con base en las isotermas de adsorción de humedad es posible utilizar ecuaciones para estimar la ganancia o la pérdida de humedad retenida en una membrana semipermeable. Los investigadores Labuza y Contreas (Sharma, 2003) derivaron la ecuación:

$$\ln \Gamma = \ln \left(\frac{x_e - x_i}{x_e - x_t} \right) = \frac{B}{x} \frac{A}{W_s} \frac{P_0}{b} t \quad \dots (10)$$

Donde:

Γ = Cociente de humedad no cumplida; X_e = Contenido de humedad en equilibrio con la temperatura y humedad de almacenamiento; X_i = Corresponde a la humedad de un proceso de secado o al resultado de un proceso de mezclas; X_t = Corresponde a la humedad en equilibrio a las condiciones de proceso; B/x = permeabilidad del empaque (g de humedad/m² día mm de Hg); A = área del empaque (m²); W_s = peso de sólidos secos en el empaque (g); P = presión del agua pura a temperatura T (mm de Hg); b = pendiente de la isoterma basado en una aproximación de línea recta para simplificar las ecuaciones (g de agua/g de sólidos por unidad de a_w). (Sharma, 2003).

Para este trabajo se utilizarán las características de un envase conformado por Polipropileno-Evoh-Polietileno ya que forman una barrera al vapor de agua, gases y aromas y sería el que se propondría que usara el arroz con leche deshidratado. Es importante señalar que no se usó el empaque, solo se usaron los datos teóricos de sus características.

2.7.4. Diseño Experimental.

El experimento fue conducido como un diseño completamente al azar con tres repeticiones. Los datos se evaluaron mediante un análisis de varianza (ANOVA), utilizando el paquete estadístico Origin 6.0; la comparación de medias se efectuó mediante la prueba “t” de student. Se utilizó un nivel de significancia de $\alpha = 0.01$ para distinguir diferencias significativas entre los tratamientos.







ANÁLISIS Y RESULTADOS





ARROZ CON LECHE INSTANTÁNEO



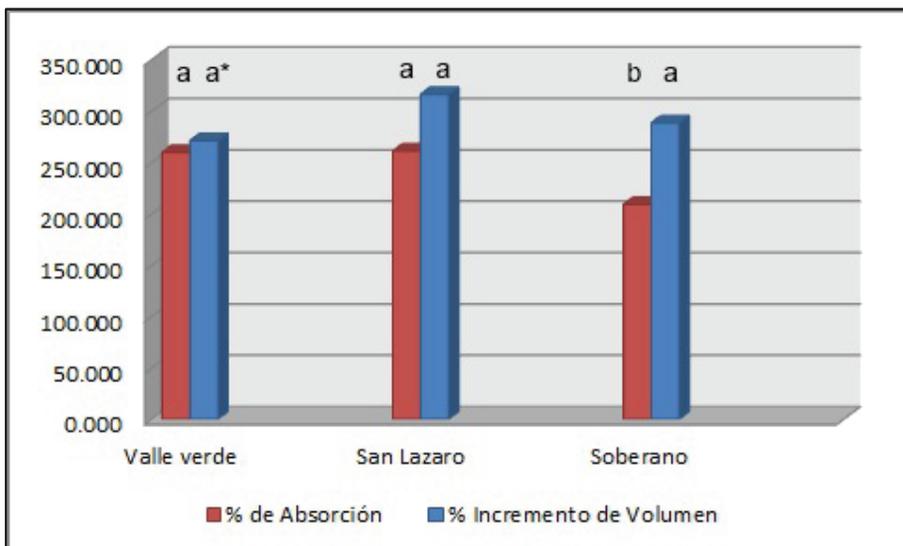


3. Resultados y discusión

3.1 Actividades preliminares.

3.1.1. Prueba de cocción a tres marcas diferentes de arroz.

Para la elaboración del arroz con leche se realizó una selección de la mejor marca comercial de arroz. Para llevar acabo esto, se realizaron pruebas de cocción a tres diferentes marcas de arroz: San Lázaro, Valle Verde y Soberano.



*Diferentes letras indican diferencia significativa con un $P \leq 0.01$

Figura 9. Evaluación de la calidad culinaria de tres marcas diferentes de arroz

Los resultados mostraron que la marca San Lázaro tuvo el mayor incremento de volumen (%IV) y porcentaje de absorción de agua (%Abs) de las tres marcas evaluadas (Figura 9), aunque no hubo diferencia estadísticamente



significativa ($P \leq 0.01$) en el %IV entre las tres marcas de arroz, en el %Abs no hubo diferencia significativa entre las marcas San Lázaro y Valle verde pero si con Soberano. Lo que se quería era un arroz con una absorción de agua y un porcentaje de incremento de volumen alto, para que el secado sea óptimo y la calidad del arroz de cocción rápida sea superior (Guerra, 2009). Esto se debe a que el contenido de agua en el grano de arroz es muy importante para la hidratación del almidón y su óptima gelatinización (Marshall *et al.*, 1990) logrando así evitar la ruptura del grano en el proceso de secado.

Por lo tanto, se eligió la marca San Lázaro como la mejor para la elaboración de arroz con leche, debido a que su valor absoluto en incremento de volumen y % absorción es mayor que las otras dos marcas, además esta marca tiene mayor presencia en el mercado local lo que facilitó su disponibilidad para el proyecto.

3.1.2. Caracterización de una receta cacera de arroz con leche.

Una vez seleccionada la marca de arroz que se usaría en este trabajo se elaboró el arroz con leche mediante el procedimiento descrito en el apartado 2.3.2 de metodología. Para lograr obtener lotes homogéneos y reproducibles de arroz con leche, se siguió la formulación descrita en el Cuadro 5. Los tiempos, temperaturas y concentración de sólidos solubles son descritos en el diagrama de proceso presentado en la Figura 10.

Cuadro 5. Formulación para la elaboración de Arroz con leche

Materia prima	Porcentaje
Arroz cóccido	46.52
Leche evaporada	24.89
Leche condensada	26.15
Canela	0.24
Ralladura de naranja	2.18



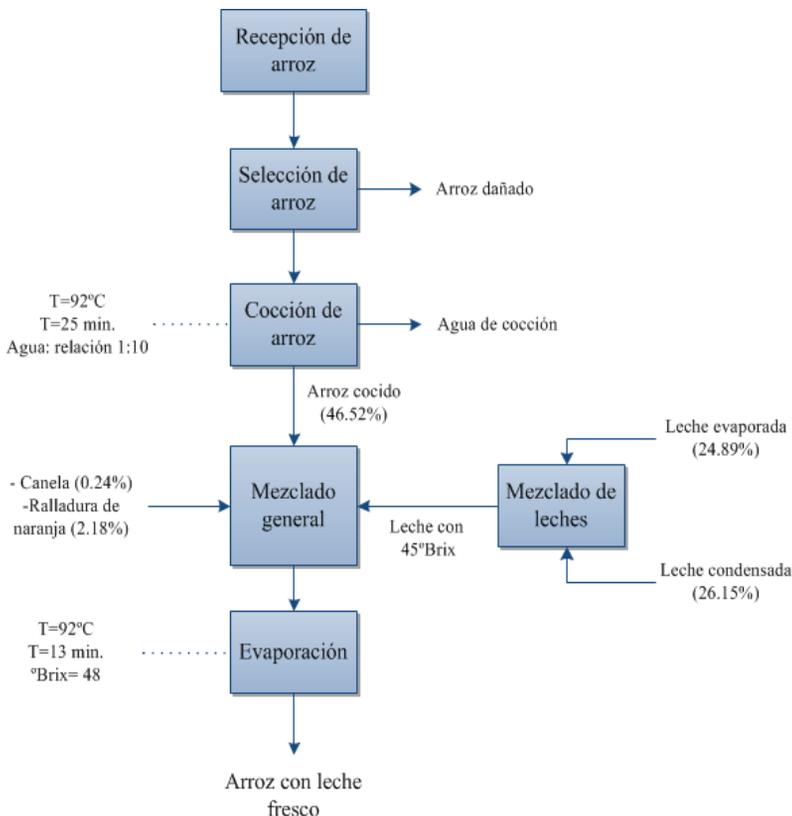


Figura 10: Diagrama de proceso para la elaboración de arroz con leche

3.1.3. Determinación de humedad del arroz con leche fresco.

Una vez obtenidos lotes homogéneos de arroz con leche fresco se determinó su humedad mediante el procedimiento descrito en el apartado 2.3.3., las pruebas realizadas por triplicado se presentan en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Porcentaje de humedad de arroz con leche fresco

% de humedad	Promedio	% CV
50		
46.5	47.33	4.99
45.5		





3.2. Determinación de condiciones de secado.

Para conocer las mejores condiciones de secado a utilizar en este trabajo se realizaron pruebas para la primera fase de secado con las condiciones descritas en el apartado 2.3. de metodología. De las temperaturas evaluadas, no fue posible trabajar con la temperatura de 150°C, debido a que se presentaron reacciones de caramelización (Figura 11) de los azúcares presentes en el arroz con leche, por lo tanto, esta temperatura se descartó del proceso de secado.



Figura 11. Placa de arroz con leche expuesta a 150°C durante 10 min.

Con respecto a las condiciones de temperatura restantes, se presentan a continuación las humedades obtenidas tras el proceso de secado para la temperatura de 110°C y 120°C dentro de los tres tiempos propuestos (Cuadros 7 y 8).

Cuadro 7. Humedad final a 110°C durante tres tiempos diferentes

Temperatura °C	110	110	110
Tiempo (min)	10	15	20
%Humedad	35 a*	31.67 b	29 b
δ n-1	1.00	0.58	1.00

* Diferentes letras indican diferencia significativa con un $P \leq 0.01$





En los tiempos de 15 y 20 min de secado a la temperatura de proceso de 110°C no hubo diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.01$) como se muestra en la Tabla 6.

Por otra parte los resultados de humedad mostrados en la tabla 7 para una temperatura de proceso de 120°C, indican que no existió diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.01$) entre ellos, por lo cual, el tiempo más favorable sería el menor.

Cuadro 8. Humedad final a 120°C durante tres tiempos diferentes

Temperatura °C	120	120	120
Tiempo (min)	10	15	20
%Humedad	33.33 a*	30.8 a	27.83 a
δ n-1	1.53	1.81	1.00

*Diferentes letras significa diferencia significativa con un $P \leq 0.01$

Realizando una comparación entre las dos temperaturas la humedad alcanzada a 15 min con una temperatura de 110°C es muy similar a la humedad alcanzada en el mismo tiempo con una temperatura de proceso de 120°C, por lo cual, las mejores condiciones en la primera fase de secado fueron una temperatura de 110°C y un tiempo de proceso de 15min, porque estas condiciones minimizan el daño en la estructura del alimento y permiten obtener un gasto energético menor.

Una vez establecidas las condiciones de la primera fase de secado se evaluó la segunda fase, en la que se probaron tiempos de 60, 90 y 120min con una temperatura constante de 60°C, partiendo desde la humedad alcanzada con las mejores condiciones de la primera fase y se obtuvieron los resultados de humedad mostrados en el Cuadro 9.

Cuadro 9. Humedad final a 60°C durante tres tiempos diferentes

Temperatura °C	60	60	60
Tiempo (min)	60	90	120
%Humedad	8.3 a*	8.2 a	8.1 a
δ n-1	.06	.04	.35

*Diferentes letras significa diferencia significativa con un $P \leq 0.01$



Dentro de los datos obtenidos de humedad en la segunda fase de secado no se encontró una diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.01$) entre los tres tiempos propuestos, por lo cual, se seleccionó el menor tiempo porque esto implicaría un menor daño al alimento y un gasto energético más bajo.

El proceso total para la elaboración de arroz con leche instantáneo es descrito en el diagrama de proceso presentado en la Figura 12.

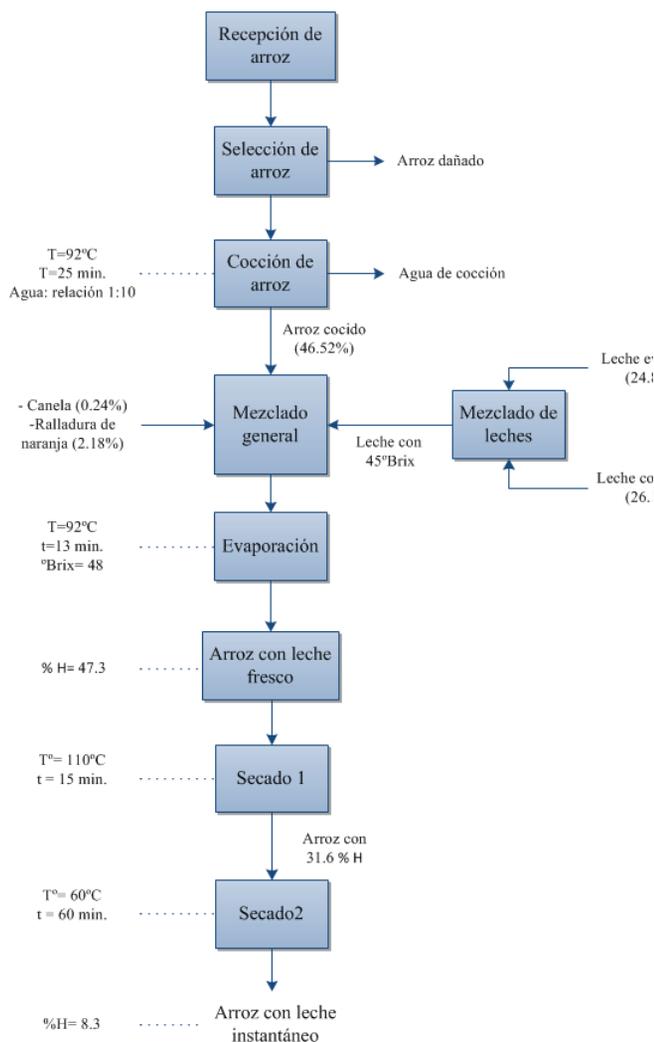


Figura 12. Diagrama de proceso de elaboración de arroz con leche instantáneo





3.2.1. Pruebas de rehidratación.

Con la finalidad de observar la influencia del tiempo de secado en el deterioro de la estructura del arroz, y tener un parámetro adicional de la calidad del arroz, se realizaron pruebas de rehidratación a cada uno de los productos finales después del secado a los diferentes tiempos propuestos para la segunda fase de secado, (en la primera fase se mantuvieron constantes las mejores condiciones antes mencionadas) determinándosele su porcentaje de absorción. Los resultados obtenidos se muestran en la Figura 13.

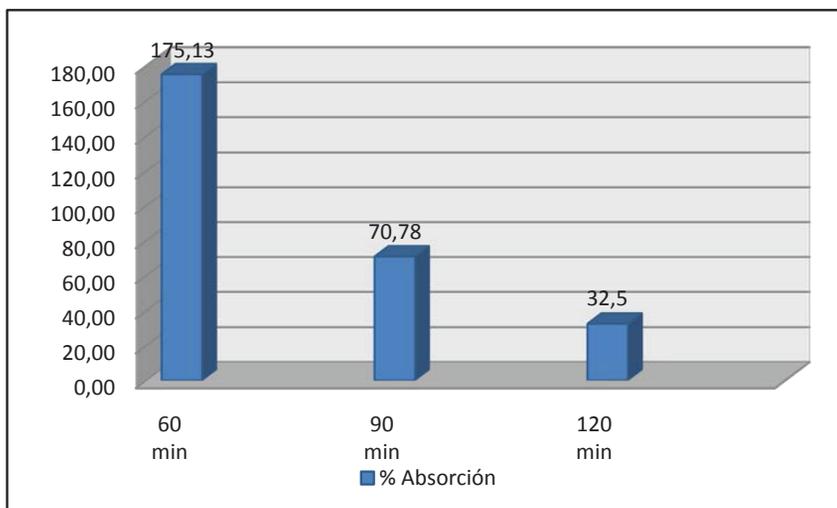


Figura 13. Porcentaje de absorción del arroz rehidratado secado a tres diferentes tiempos

Se observó que a mayor tiempo de secado se obtuvo un menor % de Absorción, esto posiblemente sea debido a la exposición prolongada a la temperatura, lo que provocó encogimiento de los tejidos y una pérdida irreversible de la estructura, en consecuencia cuando se hidrata de nuevo se absorbe menos agua (Reverte, 1984), esto representó un problema para obtener un producto con características sensoriales aceptables, por lo tanto, se confirmó la selección de 60 min como tiempo de proceso en la segunda fase de secado.

Entonces las mejores condiciones para el proceso de secado fueron: Durante la primera fase de secado 15 min de proceso a una temperatura de 110°C y en la segunda fase de secado una temperatura de 60°C y un tiempo de proceso de 60 min.





3.3 Costo energético.

Para determinar el gasto energético se realizaron cuatro corridas experimentales con las mejores condiciones seleccionadas en el apartado 3.2. A cada una de ellas se monitoreó la Intensidad eléctrica mediante un amperímetro de gancho en una conexión en paralelo con el horno (Figura 14).



Figura 14. Conexión en paralelo del horno con multímetro

Para cada corrida se realizó un registro de la intensidad de corriente en amperios y el tiempo de consumo a esa intensidad, el voltaje utilizado fue siempre constante a 126 Volts.

Con la información recabada de intensidad de corriente y voltaje se logró calcular la potencia requerida por el horno en Watts los cuales multiplicados por el tiempo en el cual se requirió esa potencia, indican los Watts-h consumidos durante el proceso (Cuadro 10).

Cuadro 10: Registro del consumo de energía durante el proceso de deshidratación de arroz con leche.

Intensidad (Amperios)	Tiempo (h)	kilo-Watts	kWh
10.8	0.0308	1.3608	0.0420
10.7	0.0053	1.3482	0.0071
10.6	0.0042	1.3356	0.0056
10.7	0.0069	1.3482	0.0094
10.7	0.0033	1.3482	0.0045
10.7	0.0047	1.3482	0.0064
Total	0.1008	21.42	2.1599





Se calculó el total de kilo-Watts-hora (kWh) requeridos para secar 14g de arroz y se obtuvo un promedio de todas las repeticiones con el cual se calculó el costo energético con base en tarifas proporcionadas por la C.F.E., dicho costo se muestra en la Cuadro 11.

Cuadro 11. Costo de consumo energético durante el proceso de deshidratación de arroz con leche

Tarifas		Consumo total (kWh)	Precio (MXN)
*Hasta 75 kWh	\$ 0.743	2.5267	\$ 1.877
*De 75 -140 kWh	\$ 0.903	---	---
*140 kWh	\$ 2.637	---	---
		I.V.A 16%	\$ 0.300
		DAP 10%	\$ 0.188
		Costo total del consumo Promedio	\$ 2.365

Con fines comparativos se realizó el cálculo del costo por kg de producto y se comparó el precio resultante con productos deshidratados como manzana, piña y durazno, dichos costos de secado fueron reportados por el ministerio de producción de Perú, la comparación se muestran en la Cuadro 12.

Cuadro 12. Comparación de costos de Proceso de Secado de arroz con leche con diferentes productos

Producto	Kg	Costo
Manzana	1	\$ 143.86
Piña	1	\$ 138.90
Durazno	1	\$ 143.86
Arroz con leche	1	\$ 168.96

Si bien el proceso de deshidratación de arroz con leche resultó ser más caro que los otros procesos, en promedio \$25 pesos más alto, hay que considerar que dichos procesos están cotizados en un deshidratador de convección por gas, los cuales se ha demostrado, son más económicos que el proceso en un horno eléctrico, debido a que el costo de la energía eléctrica es mayor que la del gas (Maupoey et al., 2001).



Sin embargo se logró mantener un costo competitivo tomando en cuenta que la producción de arroz con leche deshidratado se realizó a nivel laboratorio partiendo desde lotes de 14g y los costos con los que se comparó fueron tomados de producciones a nivel semi-industrial donde se manejan lotes de producción más grandes con lo cual se logra disminuir el costo de producción.

3.4 Evaluación sensorial.

Una vez obtenido el arroz con leche instantáneo o deshidratado se procedió a evaluarlo sensorialmente, dándolo a degustar a 100 personas, para que externaran su opinión sobre la aceptación de este producto rehidratado. Los resultados se muestran en la Cuadro 13.

Cuadro 13. Prueba de Aceptación por el consumidor de arroz con leche

Calificación Promedio	Porcentaje de Aceptación
8.99*	92

*Los datos completos se muestran en el anexo 3

Los cuales reflejan un índice muy alto de aceptación indicando que el producto final cumple con las características sensoriales esperadas por el consumidor para el arroz con leche siendo también indicador de que el producto podría ser aceptado si se comercializara.

Esto indica también que el proceso de secado fue adecuado y no hubo un daño severo en la estructura del alimento ya que en el proceso de rehidratación el alimento logro recuperar su textura y características sensoriales iniciales, logrando que el consumidor lo percibiera como un producto fresco y recién cocinado.





3.5 Estimación de la vida de anaquel.

Para la estimación de la vida de anaquel se construyeron dos isotermas de desorción para lo cual se utilizó el procedimiento descrito en el apartado 2.7.1. Los datos recabados para la construcción de las isotermas se muestran en la Cuadro 14.

Cuadro 14. Datos de humedad en equilibrio a dos diferentes temperaturas para una muestra de arroz con leche deshidratado

	@ a 25°C	@ a 35°C
X_{eq} (g de agua /g de solido seco)		
%HRE		
10	6.26	7.04
32	7.05	7.68
52	7.47	11.08
64	12.00	15.15
75	17.41	19.58

Los datos de humedad en equilibrio obtenidos a las diferentes temperaturas propuestas se modelaron mediante el procedimiento descrito en el apartado 2.7.2.

Los resultados se muestran en la Figura 15, así como el nivel de ajuste obtenido para cada temperatura con el modelo de G.A.B.

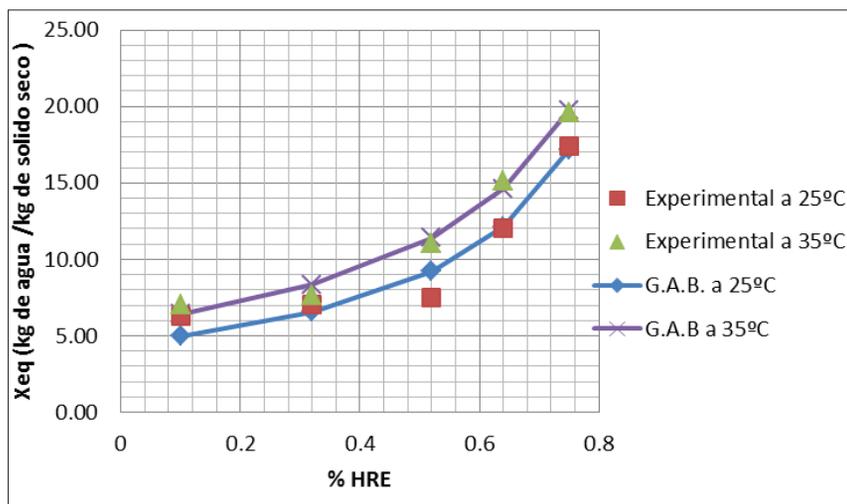


Figura 15. Comparativo de las curvas de sorción experimentales y calculadas con el modelo de G.A.B a diferentes temperaturas



En el Cuadro 15 se muestran los parámetros obtenidos de este mismo modelo y su porcentaje de error relativo (%E).

Cuadro 15. Parámetros de sorción del modelo de G.A.B. para el arroz con leche deshidratado*

	K	C	X ₀	%E
Temperatura (°C)				
25	0.9833	3427383782.4351	4.5022	10.8761
35	0.9391	3427383796.6635	5.8297	4.9013

*Se muestra un ejemplo de la secuencia de cálculo en el anexo 4

La ecuación de G.A.B describe con un 10.87% de error (%E) el comportamiento de la migración de agua hacia el alimento a una temperatura de 25°C y con 4.9 de %E a una temperatura de 35°C. Se tuvo un ajuste con mayor error a la temperatura de 25°C, lo cual dificulta la utilización de esta ecuación debido a que la predicción obtenida estaría alejada a la realidad, por que tienen un error relativo mayor al aceptado estadísticamente, que debe ser menor o igual al 10% por lo cual se descartó este modelo matemático.

El siguiente modelo analizado fue el de Peleg los datos de ajuste con dicho modelo se muestran a continuación en la Figura 16.

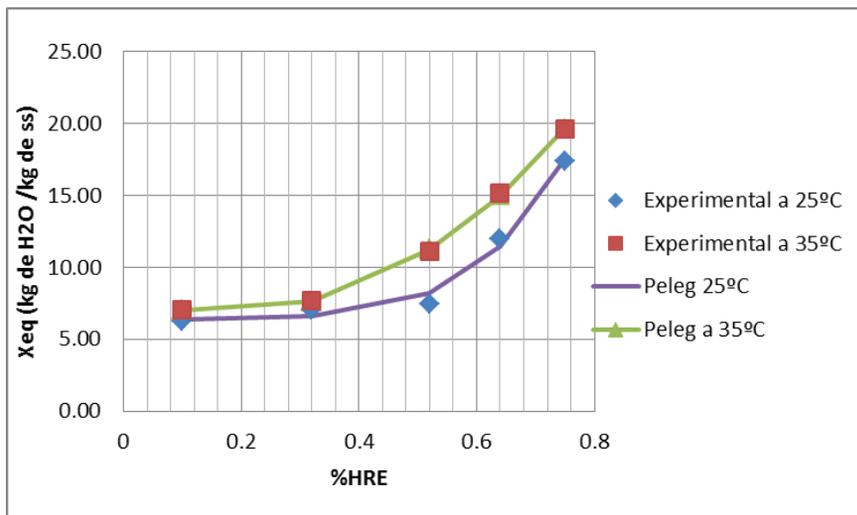


Figura 16. Comparativo de las curvas de sorción experimentales y calculadas con el modelo de Peleg a diferentes temperaturas





En la Cuadro 16 se muestran los parámetros obtenidos de este mismo modelo y su porcentaje de error relativo (%E).

Cuadro 16. Parámetros de sorción del modelo Peleg para el arroz con leche deshidratado

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	%E
Temperatura (°C)					
25	6.5720	47.1732	0.0147	5.0610	4.5682
35	5.2316	29.7215	-0.1245	2.5652	0.6830

Se encontró un buen ajuste para los datos experimentales por el modelo propuesto por Peleg ya que tiene un error relativo de 4.56 y 0.68 %E para las temperaturas de 25 y 35 °C respectivamente, lo cual indica que tiene una mayor precisión en la predicción de la migración de humedad del medio ambiente hacia el alimento que el modelo de G.A.B., es por esto que se usará este modelo matemático para predecir la humedad en equilibrio del arroz con leche almacenado a un %HR deseado. En este estudio se consideró un 90%HR, con el fin de simular condiciones totalmente desfavorables de almacenamiento, y estimar así la vida de anaquel.

Una vez construidas las curvas de desorción, se realizó un ajuste lineal y se obtuvo la pendiente de dicha curva para poder emplear la ecuación propuesta en el apartado 2.7.3 y conocer el tiempo de vida útil del arroz con leche deshidratado. Los resultados obtenidos de esos cálculos se muestran en la Cuadro 17.

Cuadro 17. Vida útil a condiciones de almacenamiento extremas del arroz con leche deshidratado

Temperatura	% HR	Tiempo en meses
25	90	17.3
35	90	9.2

El arroz con leche deshidratado presentó una estabilidad bastante buena, ya que se logra estimar la vida útil de este producto en alrededor de año y medio.



En comparación con otros productos como sopa instantánea de haba (Macías y Vínecs, 2011) la cual tiene un tiempo de vida de tres meses el arroz con leche instantáneo obtenido en este trabajo es de una estabilidad superior.

Por otra parte si se compara con un producto elaborado industrialmente como son las galletas Ricanelas® producidas por Gamesa el tiempo de vida útil es muy similar ya que estas cuentan con 19 meses de vida de anaquel, este tiempo fue estimado en base a los datos de las isoterms de adsorción proporcionados por los estudios de Palou *et al.* (1997), es por esto que se puede decir que se logró obtener un producto de gran estabilidad en almacenamiento.

Por lo tanto, se puede concluir que se obtuvo un producto deshidratado bajo las condiciones de secado siguientes: un proceso dividido en dos fases, en la primera, se mantuvo una temperatura de 110°C durante 15min y en la segunda fase se mantuvo una temperatura de 60°C durante 60 min Con dichas condiciones se logró la mejor rehidratación indicando que el producto no sufrió de alteraciones estructurales irreversibles, logrando así, características sensoriales semejantes al producto en fresco, por lo cual, el consumidor final lo evaluó satisfactoriamente otorgándole una calificación aprobatoria de 9 y se obtuvo un tiempo teórico estimado de vida útil de 17 meses tomando como referencia las condiciones de almacenamiento de 25°C y 90 % HR de acuerdo a la ecuación propuesta por Labuza y Contreas (Sharma, 2003).





CONCLUSIONES





ARROZ CON LECHE INSTANTÁNEO





Conclusiones

- Las mejores condiciones de proceso en la elaboración de arroz con leche fueron: una cantidad de sólidos solubles finales de 45°Brix y temperatura de proceso de 92°C las cuales permitieron obtener lotes de arroz con leche homogéneos y reproducibles.
- El proceso de secado se desarrolló en dos etapas, durante la primera fase las mejores condiciones de tiempo y temperatura fueron de 15 min a 110°C respectivamente con las cuales se logró una humedad intermedia de 31.67 % (base seca) y para la segunda fase fueron una temperatura de 60°C y un tiempo de 60 min con lo cual se logró obtener una humedad final de 8.3 % (base seca) la cual está dentro de los rangos deseados para productos deshidratados que es menor al 10% de humedad (base seca).
- El gasto energético necesario para las condiciones del proceso de secado fue de 2.52 kWh por lote de 14g de producto a deshidratar lo que significa un costo monetario de \$ 169.00 pesos por kg de producto deshidratado.
- La vida de anaquel calculada del arroz con leche instantáneo almacenado en un empaque tri-laminado en condiciones ambientales de 25°C y 90%HR tuvo un tiempo de vida útil teórico de 17 meses y presentó una disminución de su vida útil del 53.17% al elevar la temperatura a 35°C por lo cual se recomienda siempre almacenarlo en un lugar fresco y seco.
- Por último la prueba sensorial de nivel de agrado que se realizó al producto rehidratado mostró que fue aceptado por el consumidor, el cual, le dio una calificación de 9 con un 92% de aceptación, lo cual indica que podría tener éxito el arroz con leche deshidratado desarrollado en este trabajo, si se quisiera comercializar.





Recomendaciones.

- Se recomienda realizar el escalamiento de las condiciones obtenidas en el proceso de secado en este trabajo pero ahora en un secador de convección a gas comercial.
- También sería importante evaluar la vida útil del producto deshidratado obtenido en esta investigación mediante la determinación de su vida de anaquel acelerada para comparar los resultados con la vida de anaquel teórica obtenida.
- Además sería conveniente realizar pruebas sensoriales de nivel de agrado después de la evaluación de la vida de anaquel acelerada para saber si el producto es aceptado por los consumidores trascurrido este tiempo.





REFERENCIAS



ARROZ CON LECHE INSTANTÁNEO





Referencias

- Badui, S. (2006). Química de los alimentos. 4ª ed. Prentice Hall. México.
- Bello, J.(2000). Ciencia Bromatológica: Principios generales de los alimetos. Diaz de Santos. Madrid, España.
- Chaves, M. G. (2004). Isotermas de adsorción de berenjenas deshidratadas. Fecha de consulta: 8 de abril del 2012 Disponible en : <http://www.unne.edu.ar/Web/cyt/com2004/8-Exactas/E-081.pdf>
- Chenlo, F., Moreira, R., Chaguri, L. & Santos, F.(2005). Isotermas de desorción de pimientos de padrón(*Capsicum Annuuml. Var. Longum*). Ciencia y tecnología alimentaria. 1(5): 18-24
- CIAT. (2005). Guia de estudio: Morfología de la planta de arroz. Fecha de consulta: 28 de Abril del 2012. Disponible en: http://webapp.ciat.cgiar.org/riceweb/pdfs/morfologia_planta_arroz.pdf
- CIAT. (1989). Guía de estudio: Evaluación de la calidad culinaria y molinera del arroz. Cali, Colombia.
- Colina, L. (2010). Deshidratación de alimentos. Trillas. México.
- Dendy, D.(2001). Cereales y productos derivados : Química y tecnología. Acribia. España
- FAO. (2004). El arroz y la Nutrición Humana. Fecha de consulta: 23 de Abril del 2012. Disponible en: <http://www.fao.org/rice2004/es/f-sheet/hoja3.pdf>
- Fito, P., Andrés, A.M., Barat, J.M., & Albors, A.M.(2001) Introducción al secado de alimentos por aire caliente. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España.
- Granados, J. Á. (2003). El libro de la repostería tradicional. BONVIVANT. Barcelona, España





- Guerra, J. C. (2009). Obtención y evaluación de arroz integral de cocción rápida. *Interciencia*. 34(10): 736-741.
- Hewitt, P. (2004). *Física conceptual*. B. Cummings, Trad. 9ª ed. Pearson Educación. México.
- Ibañez, F.C. & Barcina, Y.(2001). *Análisis sensorial de los alimentos: Métodos y aplicaciones*. Springer-Verlag Ibérica. Barcelo, España.
- INIAP. (2007). *Manual del cultivo de arroz*. Estacion Experimental Boliche. Ecuador.
- INIFAP. (2000). *Manual para la producción de arroz en la región central de México*. Centro de investigación regional del centro. México.
- INTA.(2004). *Calidad industrial y culinaria del arroz*. Fecha de consulta :15 de mayo del 2013
- Disponible en: <http://www.biblioteca.org.ar/libros/210161.pdf>
- Judkins, H., Keener, H.(1976). *La leche: Su producción y procesos industriales*. Compañía editorial continental S.A. México
- López, L. (1991). *Cultivos Herbáceos*. Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Lulch, O.(1995). *El Arroz: Unidad temática 6*. Universidad Politecnica de Valencia. Valencia, España.
- Macías, J.E., Vinces, R.J.(2011). *Elaboracion de sopa instantánea a partir de harina de haba*. Tesis Licenciatura. Escuela Superior politécnica del Litoral. Guayaquil, Ecuador.
- Marshall, W.E., Normand, F.L., Goynes, W.R. (1990). Effects of lipid and protein removal on starch gelatinization in whole grain milled rice. *Cereal Chem*. 67: 458-463.
- Martínez, N., Andrés, A.M., Chiralt, A., & Fito, P. (1998). *Termodinámica y cinética de sistemas alimento-entorno*. Universidad politecnica de Valencia. Valencia, España.
- NMX-F-428-. (1982). *NMX-F-428-1982. Alimentos. Determinación de humedad (método rápido de la termobalanza)*. México.





- NOM-051-SCFI/SSA1. (2010). NOM-051-SCFI/SSA1.Especificaciones generales de etiquetado para alimentos y bebidas no alcohólicas preenvasados-Información comercial y sanitaria.
- Nuffield Foundation. (1984). Química avanzada Nuffield: Ciencia de la alimentación. R.Granados, Trad. Reverté. Barcelona.
- Orrego, C. (2003). Procesamiento de alimentos. Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales. Colombia.
- Palou, E., López-Malo, A., & Argai, A.(1997). Effect of Temperature on the Moisture Sorption Isotherms of some Cookies and Corn Snacks. Journal of Food Engineering. 31:85-93.
- Pedrero, D.L., Pangborn, R.M. (1989). Evaluación sensorial de los alimentos Métodos analíticos. Alhambra Mexicana. México.
- Prasert, W. (2009). Optimization of instant jasmine rice process and its physicochemical properties. Journal of Food Engineering. 95:54-61.
- Prieto, F., & Gordillo, A.J.(2006). Evaluación de las isothermas de sorción en cereales para desayuno. Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología de Superficies y Materiales. 19(1): 12-19.
- SAGARPA. (2010). Tiene México condiciones para autosuficiencia en producción de arroz. Fecha de consulta: 23 de Abril de 2012. Disponible en: <http://www.sagarpa.gob.mx/saladeprensa/boletines2/paginas/2010B425.aspx>
- Sahin, S., Gülüm, S.(2009). Propiedades físicas de los alimentos. Acribia. España.
- Sancho, J., Bota, E. & De Castro, J.J. (1999). Introducción al análisis sensorial de los alimentos. Edicions de la UB. Barcelona, España.
- Sharma, S. K. (2003). Ingeniería de alimentos operaciones unitarias y prácticas de laboratorio. Sánchez, Trad. Limusa. México.
- Stone, H., Sidel, J.L.(1993).Sensory evaluation practices. 2ªed. Academic Press Inc. California, U.S.A.
- Tocagni, H. (1980) El Arroz. Albatros. Buenos Aires, Argentina.





- Valcárcel, M. & Gómez, A. (1988). Técnicas analíticas de separación. Reverte. Barcelona, España.
- Vega, A., Lara, E., & Lemus, R. (2006). Isotermas de adsorción en harina de maíz (*Zea mays L.*). Ciencia y tecnología de los alimentos. 26(4): 821-827.
- Verdú, J. M. (2009). Tabla de composición de alimentos 5ª ed. Universidad de Granada. España.





ANEXOS



ANEXOS





ARROZ CON LECHE INSTANTÁNEO





Anexo 1



Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán



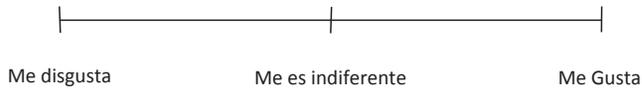
Edad:

Sexo:

Fecha:

Nivel de agrado

Descripción: Sírvase a degustar el siguiente producto y marque con una X el nivel de agrado del mismo sobre la línea que se presenta a continuación:



Comentarios _____





Anexo 2

Humedades relativas alcanzadas con soluciones saturadas de sales

Solucion	mL de H2O	g de soluto	% HR	Temperatura
Silica gel	---	35	10	25°C
	---	35	10	35°C
	---	35	10	60°C
Cloruro de magnesio Hexahidratado	10	35.16	32	25°C
	7	35.16	32	35°C
	5	35.16	32	45°C
Nitrato de calcio Pentahidratado	10	33.4	52	25°C
	10	26.53	52	35°C
	10	26.53	52	45°C
Nitrato de sodio	10	8.72	64	25°C
	8	8.72	64	35°C
	6	8.72	64	60°C
Cloruro de sodio	10	3.92	77	25°C
	10	3.3	75	35°C
	6	3.3	75	45°C





Anexo 3

Jueces de la prueba de nivel de agrado ordenados de manera descendente con base en su calificación

# de Jueces	Calificación	Edad
36	10	22
37	10	21
38	10	20
39	10	20
40	10	25
41	10	24
42	10	21
43	10	19
44	10	36
45	10	24
46	10	22
47	10	21
48	10	18
49	10	27
50	10	46
51	10	24
52	10	22
53	10	21
54	10	19
55	10	18
56	10	37
57	10	24
58	10	25
59	10	25
60	10	26
61	10	21
62	10	20
63	10	22
64	9.8	25
65	9.8	27
66	9.7	26
67	9.7	23
68	9.6	21
69	9	29
70	8.8	17

# de Jueces	Calificación	Edad
1	10	19
2	10	22
3	10	21
4	10	34
5	10	25
6	10	25
7	10	26
8	10	27
9	10	22
10	10	24
11	10	25
12	10	26
13	10	23
14	10	21
15	10	21
16	10	22
17	10	18
18	10	19
19	10	26
20	10	25
21	10	44
22	10	33
23	10	24
24	10	22
25	10	21
26	10	18
27	10	59
28	10	44
29	10	38
30	10	21
31	10	22
32	10	25
33	10	24
34	10	18
35	10	19

# de Jueces	Calificación	Edad
71	8.8	19
72	8.7	23
73	8.7	27
74	8.5	21
75	8.5	20
76	8.5	20
77	8.4	20
78	8.4	23
79	7.9	26
80	7.8	27
81	7.7	54
82	7.7	42
83	7.6	22
84	7.6	29
85	7.3	28
86	7.2	24
87	6.8	25
88	6.8	26
89	6.6	27
90	6.3	27
91	6.2	27
92	6.2	19
93	5.8	25
94	5	20
95	5	21
96	5	20
97	5	26
98	5	25
99	3.8	22
100	0	26



Anexo 4

Ejemplo de cálculo de parámetros de sorción con Excel.

1.- Se inicia colocando en una tabla los datos de adsorción obtenidos experimentalmente.

	A	B	C	D
1				
2				
3		Aw	Xbs,%	
4		0.1	6.26	
5		0.32	7.05	
6		0.52	7.47	
7		0.64	12.00	
8		0.75	17.41	
9				

2.- Se agrega otra columna nombrada humedad en equilibrio seguido del nombre de la ecuación que se está utilizando.

	A	B	C	D
1				
2				
3		Aw	Xbs,%	Xbs,Peleg
4		0.1	6.26	
5		0.32	7.05	
6		0.52	7.47	
7		0.64	12.00	
8		0.75	17.41	
9				

3.- Se le otorgan valores arbitrariamente a las constantes desconocidas de la ecuación es recomendable que este valor sea de 1

	G	H
	Parametros de sorcion	
	C1	1
	C3	1
	C2	1
	C4	1





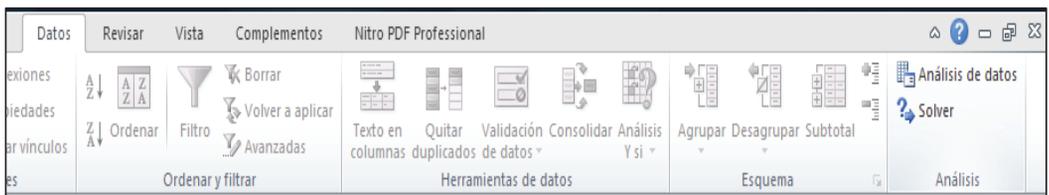
4.- Se introduce la ecuación sustituyendo cada término de esta con los valores de A_w y constantes y se calcula la humedad en equilibrio teórica.

Alineación				Número	Estilos			
$=(\$H\$5*(B4^{\$H\$6})+(\$H\$7*(B4^{\$H\$8}))$								
	A	B	C	D	E	F	G	H
1						$X_e = C_1 a_w^{C_3} + C_2 a_w^{C_4}$		
2								
3		A_w	Xbs,%	Xbs,Peleg			Parametros de sorcion	
4		0.1	$=(\$H\$5*(B4^{\$H\$6})+(\$H\$7*(B4^{\$H\$8}))$			C1	1	
5		0.32	7.05	0.64		C3	1	
6		0.52	7.47	1.04		C2	1	
7		0.64	12.00	1.28		C4	1	
8		0.75	17.41	1.50				
9								

5.- Se calcula las diferencias cuadráticas entre la humedad en equilibrio experimental (Xbs,%) y la humedad en equilibrio calculada (Xbs,Peleg) y se suman todas las diferencias.

Alineación				Número	Estilos	
$=(C4-D4)^2$						
	A	B	C	D	E	
1						
2						
3		A_w	Xbs,%	Xbs,Peleg	$[(Xbs,%)-(Xbs,Peleg)]^2$	
4		0.1	6.26	0.2	$=(C4-D4)^2$	
5		0.32	7.05	0.64	41.09	
6		0.52	7.47	1.04	41.34	
7		0.64	12.00	1.28	114.99	
8		0.75	17.41	1.5	253.23	
9				suma	487.42	
10						

6.- en la pestaña de datos se encuentra la función “Solver”.





7.- Una vez seleccionada la función “Solver” se desplegara el cuadro de dialogo siguiente.

Parámetros de Solver

Establecer objetivo:

Para: Máx. Mín Valor de:

Cambiando las celdas de variables:

Sujeto a las restricciones:

Convertir variables sin restricciones en no negativas

Método de resolución:

Método de resolución

Seleccione el motor GRG Nonlinear para problemas de Solver no lineales suavizados. Seleccione el motor LP Simplex para problemas de Solver lineales, y seleccione el motor Evolutionary para problemas de Solver no suavizados.



8.- En el cual se seleccionara como celda objetivo aquella que tiene el resultado de la suma de diferencias cuadráticas indicando en el cuadro de dialogo que el objetivo será el mínimo y las celdas de las variables a encontrar en el campo nombrado “cambiando las celdas de variables” el cuadro deberá de quedar como se muestra en la imagen.

Parámetros de Solver

Establecer objetivo:

Para: Máx. Mín Valor de:

Cambiando las celdas de variables:

Sujeto a las restricciones:

Convertir variables sin restricciones en no negativas

Método de resolución:

Método de resolución
Seleccione el motor GRG Nonlinear para problemas de Solver no lineales suavizados. Seleccione el motor LP Simplex para problemas de Solver lineales, y seleccione el motor Evolutionary para problemas de Solver no suavizados.

Ayuda Resolver Cerrar



9.- Se da click en “Resolver” y se genera automáticamente el cálculo de las variables desconocidas.

	B	C	D	E	F	G	H
	Aw	Xbs,%	Xbs,Peleg	$[(Xbs,%) - (Xbs,Peleg)]^2$		Parametros de sorcion	
	0.1	6.26	6.35	0.01		C1	6.5720
	0.32	7.05	6.61	0.19		C3	0.0147
	0.52	7.47	8.23	0.58		C2	47.1732
	0.64	12.00	11.46	0.30		C4	5.0610
	0.75	17.41	17.54	0.02			
			suma	1.10			





