

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

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

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERAS DE ALIMENTOS

Presentada por:

María Elena Berrones Franco

Karen Stephanie Espinoza Malavé

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2011

AGRADECIMIENTO

Quiero empezar agradeciendo a Dios, porque a pesar de todos los obstáculos, sin la fe en Él no hubiera podido lograr nada, ya que ha sido la luz que guía mi camino.

Agradezco a mi madre, la Sra. María Elena Franco y mi padre el Ing. Gerardo Berrones porque han sido los pilares de mi vida, su apoyo incondicional me ha llevado a no desmayar y alcanzar mis objetivos; me han transmitido su perseverancia, constancia y las ganas de luchar por llegar a la meta.

A mi hija Débora Elizabeth por su amor, su apoyo y por enseñarme que los sacrificios valen la pena.

A mis hermanos Gerardo y Erika, los compañeros de mi vida, mis mejores amigos, que siempre han estado para mí, en las buenas y malas, que siempre me han apoyado en mis decisiones y que en su momento también me han aconsejado gracias por siempre estar conmigo.

A mis familiares, que con su amor y comprensión me han sabido apoyar en todo momento.

A mis amigas y amigos del colegio y de la ESPOL, que siempre me han brindado su apoyo incondicional, su amistad.

A mi directora de tesis la Ing. Fabiola Cornejo por haber sido la parte fundamental en el desarrollo de la tesis y por brindarnos sus conocimientos.

Agradezco a todas las personas que de una u otra manera han sido mi apoyo en la realización y culminación de mi tesis.

María Elena

AGRADECIMIENTO

En primer lugar debo agradecerle a Dios por haberme dado la fortaleza y sabiduría necesarias para conseguir con éxito todo lo que he logrado hasta ahora; por ser mi guía y protector durante este largo trayecto y por permitirme cumplir hoy una de las metas más importantes en mi vida.

A mis padres, que con su inmenso amor, dedicación incansable, sacrificio invaluable y grandes enseñanzas, hoy en día han hecho de mí una persona de bien. A mi hermano, abuelita, tíos y primos, por haber estado en el momento justo dándome palabras de aliento, por brindarme su apoyo y comprensión, por cuidarme y soportarme.

Como olvidar a esas personas que ya no están junto a mí, pero que desde el cielo iluminan mis pasos, en especial a mi abuelo, a quien doy las gracias por tantos años de felicidad; aún conservo tu recuerdo muy latente en mi corazón: tus gestos, tu sonrisa, tus acciones; este logro va por ti y por todos ellos.

A mis maestros por impartirnos sus conocimientos, principalmente a la Ing. Fabiola Cornejo quien nos guió acertadamente durante todo este proceso, sin su ayuda incondicional no habría sido posible la culminación de este proyecto.

Finalmente, y no por ser menos importantes, me es grato mencionar a mis amigos y compañeros, con quienes compartí una infinidad de anécdotas a lo largo de estos años de estudio, quiero hacerlos partícipes de este triunfo ya que de uno u otro modo han contribuido en él, quiero agradecerles por haber depositado su confianza en mí, de cada uno de ustedes me llevo algo muy especial: sus consejos y sobre todo su amistad las mantendré conmigo siempre.

Karen Stephanie

DEDICATORIA

A MIS PADRES: MARÍA ELENA Y GERARDO

A MIS HERMANOS: GERARDO Y ERIKA

A MI LINDA PRINCESA: DÉBORA ELIZABETH

DEDICATORIA

A DIOS

A MI FAMILIA

A MIS MAESTROS

A MIS AMIGOS

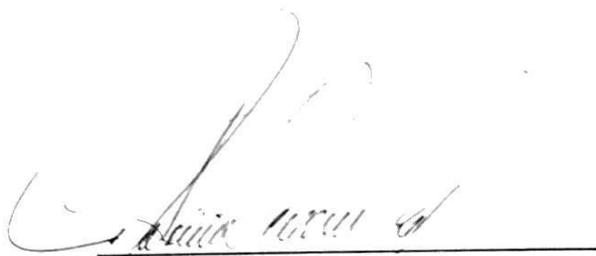
TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



Ing. Francisco Andrade S.
DECANO DE LA FIMCP
PRESIDENTE



Ing. Fabiola Cornejo Z.
DIRECTORA DE TESIS



Ing. Patricio Cáceres C.
VOCAL

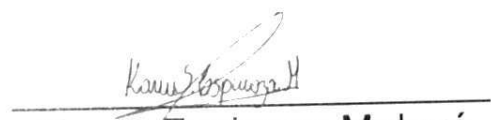
DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, nos corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”.

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).



María Berrones Franco



Karen Espinoza Malavé

RESUMEN

El arroz es una de las gramíneas con mayor producción en el Ecuador, en donde prevalecen grandes extensiones de cultivos, principalmente en la región Costa. Este cereal forma parte imprescindible de la cultura culinaria de nuestro país, convirtiéndose en el alimento básico más importante para la nutrición, ya que contribuye de forma efectiva al aporte calórico de la dieta. Sin embargo, en su industrialización aún no se han considerado otras formas innovadoras de consumo; razón por la cual surge la propuesta de desarrollar un producto a base de arroz de reconstitución instantánea con leche entera.

El trabajo de tesis está conformado en primera instancia por las generalidades de la materia prima, tales como: áreas cultivadas, principales variedades y beneficios nutricionales; también se incluyen los fundamentos teóricos del proceso de secado.

Posteriormente, se expone la metodología con que se llevó a cabo el estudio, empezando por la caracterización de la materia prima mediante análisis físico-químicos basados en las normas AOAC, la determinación de las propiedades óptimas para la pre-cocción de acuerdo a un diseño experimental, los parámetros apropiados para efectuar el proceso de secado

del arroz pre-cocido, las pruebas de rehidratación en microondas y la predicción del tiempo de vida útil; con su respectivo análisis de resultados. Además, se presenta la formulación ideal del producto final cuya aceptación se definió mediante la aplicación de pruebas sensoriales a los posibles consumidores.

Finalmente, se muestra el diseño de la línea de producción elaborado en función de la demanda estimada; así como el diagrama de flujo correspondiente y los equipos requeridos para el desarrollo del producto en planta, haciendo énfasis en el diseño del secador de bandejas.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS.....	IV
SIMBOLOGÍA.....	V
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VI
ÍNDICE DE TABLAS.....	VII
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1	
1. GENERALIDADES.....	2
1.1 Materia Prima.....	3
1.2 Pre-cocción de Arroz.....	7
1.3 Secado.....	9
1.3.1 Fundamentos.....	10
1.3.2 Efectos del Secado en Estabilidad de Cereales.....	14
CAPÍTULO 2	
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	17

2.1 Materiales.....	18
2.1.1 Caracterización de Materia Prima.....	18
2.2 Metodología.....	20
2.2.1 Pre-cocción como Pre-tratamiento de Secado.....	21
2.2.2 Secado en Bandejas.....	23
2.2.3 Análisis Físico-Químico.....	29
2.2.4 Determinación de Vida Útil.....	31

CAPÍTULO 3

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	35
3.1 Resultados de la Pre-Cocción de Arroz.....	35
3.1.1 Análisis de Resultados de Pruebas Físico-Químicas.....	40
3.2 Resultado del Secado.....	42
3.2.1 Análisis de Resultados de Pruebas Físico-Químicas.....	48
3.2.2 Análisis de Resultados de Rehidratación.....	50
3.3 Formulación para Preparación del Consumidor Final.....	51
3.4 Pruebas Sensoriales y Caracterización.....	66
3.5 Determinación de Vida Útil del Producto Final.....	71

CAPÍTULO 4

4. DISEÑO DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN.....	73
4.1 Diagrama de Flujo.....	74

4.2 Descripción del Proceso.....	75
4.3 Capacidad de Producción.....	77
4.4 Descripción de Equipos y Ubicación.....	79
4.5 Diseño de Secador.....	85

CAPÍTULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	107
--	-----

APÉNDICES

BIBLIOGRAFÍA

ABREVIATURAS

aw	Actividad de agua
°C	Grados centígrados
cm	Centímetros
ft ³ /min	Pies cúbicos por minuto
g	Gramo
g H ₂ O/g s.s	Gramos de agua por gramos de sólido seco
GAB	Guggenheim-Anderson-Boer
h	Hora
has	Hectáreas
HR	Humedad relativa
kg	Kilogramo
kg H ₂ O/kg a.s	Kilogramos de agua por kilogramos de aire seco
kJ/s	Kilojoules por segundo
m	Metro
m ²	Metro cuadrado
m ³	Metros cúbicos
mg/kg	Miligramos por kilogramo
min	Minuto
ml	Mililitro
mm	Milímetro
mmHg	Milímetros de mercurio
pH	Potencial de hidrógeno
rpm	Revoluciones por minuto
s	Segundo
T	Temperatura
t	Tiempo
TM	Toneladas métricas
u	Unidades
µm	Micrómetro
W	Watts

SIMBOLOGÍA

H_2O	Agua
λ_w	Calor latente de vapor
ρ	Densidad
Δ	Diferencial
NaOH	Hidróxido de sodio
+/-	Más - menos
>	Mayor que
<	Menor que
%	Porcentaje
μ	Viscosidad

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1	Períodos del secado.....12
Figura 2.1	Secador de bandejas.....24
Figura 3.1	Isoterma de desorción de arroz pre-cocido.....41
Figura 3.2	Variación del peso en función del tiempo.....43
Figura 3.3	Humedad en base seca en función del tiempo.....44
Figura 3.4	Humedad libre en función del tiempo.....45
Figura 3.5	Curva de velocidad de secado.....46
Figura 3.6	Formulación #9.....64
Figura 3.7	Formulación #10.....66
Figura 3.8	Isoterma de adsorción de producto final.....71
Figura 4.1	Marmita.....81
Figura 4.2	Molino.....82
Figura 4.3	Mezcladora.....82
Figura 4.4	Empacadora volumétrica.....84
Figura 4.5	Máquina codificadora.....85
Figura 4.6	Vista lateral del secador de bandejas propuesto.....106

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1	Composición química y valor nutricional.....6
Tabla 2	Características físico-químicas del arroz.....20
Tabla 3	Codificación de muestras de arroz pre-cocido.....23
Tabla 4	Dimensiones de bandejas.....24
Tabla 5	Condiciones del proceso de secado.....27
Tabla 6	Datos para determinar velocidad de secado.....28
Tabla 7	Contenido de humedad del producto final.....32
Tabla 8	Datos para determinar tiempo de vida útil.....34
Tabla 9	Resultados de pruebas de pre-cocción.....39
Tabla 10	Valor de monocapa de arroz pre-cocido.....42
Tabla 11	Resultados de análisis físico-químicos de arroz pre-cocido seco.....48
Tabla 12	Resultado de granulometría del arroz pre-cocido seco.....49
Tabla 13	Resultados de pruebas de rehidratación..... 50
Tabla 14	Formulación #1.....51
Tabla 15	Resultados de formulación #1.....52
Tabla 16	Formulación #2.....53
Tabla 17	Resultados de formulación #2.....53
Tabla 18	Formulación #3.....54
Tabla 19	Resultados de formulación #3.....55
Tabla 20	Formulación #4.....56
Tabla 21	Resultados de formulación #4.....56
Tabla 22	Formulación #5.....57
Tabla 23	Resultados de formulación #5.....58
Tabla 24	Formulación #6.....59
Tabla 25	Resultados de formulación #6.....59
Tabla 26	Formulación #7.....60
Tabla 27	Resultados de formulación #7.....61
Tabla 28	Formulación #8.....62
Tabla 29	Resultados de formulación #8.....62

Tabla 30	Formulación #9.....	63
Tabla 31	Resultados de formulación #9.....	64
Tabla 32	Formulación #10.....	65
Tabla 33	Resultados de formulación #10.....	65
Tabla 34	Resultados estadísticos de escala hedónica gráfica para fórmula final de arroz con leche.....	70
Tabla 35	Valor de monocapa de producto final.....	72
Tabla 36	Proyección de la demanda.....	78
Tabla 37	Tiempo de producción.....	79
Tabla 38	Niveles de producción.....	79
Tabla 39	Equipos requeridos por etapas de proceso.....	80
Tabla 40	Especificaciones de bandejas del secador.....	86
Tabla 41	Condiciones del aire de secado.....	89
Tabla 42	Características del arroz pre-cocido.....	90
Tabla 43	Número de bandejas por carrito.....	91
Tabla 44	Características de los carritos.....	92
Tabla 45	Condiciones del vapor de agua saturado.....	93
Tabla 46	Condiciones del aire.....	93
Tabla 47	Datos para calcular longitud del serpentín.....	100
Tabla 48	Características del serpentín.....	101
Tabla 49	Especificaciones del ventilador industrial.....	102
Tabla 50	Cálculo del número de ventiladores.....	102
Tabla 51	Dimensiones del secador.....	105

INTRODUCCIÓN

El arroz es el segundo cereal más producido en el mundo, después del maíz. En Ecuador, la aparición de la industria arrocera se da después de la Segunda Guerra Mundial; pequeños molinos junto con trabajo artesanal se encargaban de pilar y pulir los granos. Sin embargo, hoy en día las industrias en nuestro país manejan y controlan los factores de porcentaje de humedad, granos partidos, grados de blancura, para así posicionar marcas y expandir territorios de mercado, en total se concentra un grupo de 40 industrias arroceras en la provincia del Guayas (6).

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

- Caracterización de la materia prima: análisis físico-químicos.
- Determinación de las curvas de secado.
- Caracterización del producto final: evaluación sensorial.
- Diseño de la planta de producción.

CAPÍTULO 1

1. GENERALIDADES

El arroz es originario de Asia meridional, donde constituye un alimento básico para China, la India y otros países. En España fue llevado por los árabes y más tarde los españoles lo introdujeron en los países americanos, a pesar de que predominaba el maíz como su cereal autóctono. Los griegos y romanos lo apreciaban por sus propiedades medicinales y se consideraba en aquella época como un producto de lujo destinado a las clases sociales altas.

El arroz, con una producción anual de más de 600 millones de toneladas, brinda alimento a cerca de la mitad de la población mundial,

que lo considera su alimento principal de subsistencia. A su vez, constituye la base de la alimentación de alrededor de 33 países subdesarrollados, entre ellos Ecuador, en donde se estima una producción anual de 1.37 millones de TM. El arroz suministra a estos países 27% de la energía dietética, 20% de la proteína, en forma de los ocho aminoácidos esenciales y 3% de la grasa, principalmente como ácido linoleico, según datos de la Comisión Internacional del Arroz (10).

1.1 Materia Prima

El arroz es una gramínea anual del género *Oryza* donde la especie es *sativa* que es originaria del Sudeste Asiático; de esta especie *Oryza sativa* existen 3 subespecies: *índica*, *japónica* y *javánica*; la subespecie que se encuentra en el Ecuador es la *índica* debido a que crece mejor en regiones ecuatoriales y tropicales por sus mayores necesidades de temperatura y luminosidad. El arroz de tipo *índica* es un grano largo, delgado, normalmente cristalino y más firme tras la cocción (3).

En el Ecuador, el cultivo del arroz se realiza tanto en el invierno o período lluvioso como en el verano o período seco dependiendo exclusivamente del agua de riego.

El Tercer Censo Nacional Agropecuario del 2002 establece para el rubro arroz 343,936 has. sembradas en 75,814 unidades de producción, constituyendo el 80% con propiedades menores a 10 has. El 3.6% de esta superficie se cultiva en los valles cálidos de la Sierra y en provincias de la Amazonía y el 96.4% en el Litoral con la distribución del 53.6% en la provincia del Guayas, el 38% en la provincia de Los Ríos y el 8.4% en otras provincias de la costa (9).

Principales variedades

Las principales variedades de arroz que se siembra en Ecuador son: INIAP 11 e INIAP 415, obtenidos por el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) hace 15 años. También existen materiales criollos como el 1001 y otras variedades ingresadas sin registro de los países vecinos. Del total del área sembrada de arroz a nivel nacional el 20% se siembra con semilla certificada, el resto es semilla reciclada o pirata (9).

Definición:

Arroz blanco.- Arroz al que se le han quitado cáscaras, cubiertas y germen.

Arroz precocido.- Arroz blanco o moreno que ha sido cocido, y deshidratado tras la molienda. Este proceso reduce el tiempo requerido para el cocinado (3).

Clasificación:

Arroz de grano largo.- Arroz cuyos granos tienen una longitud superior a 5.2 mm.

Arroz de grano corto.- Arroz cuyos granos tienen una longitud media inferior o igual a 5.2 mm y una relación longitud/anchura inferior a 2.

Las variedades de grano largo norteamericano se caracterizan por su alto contenido de amilosa (23% - 27%). Los tipos de grano corto y mediano poseen bajo contenido de amilosa (15% - 21%), éstas influyen bastante en las propiedades del arroz (3).

La tabla 1 muestra la composición química y el valor nutricional del arroz blanco:

TABLA 1
COMPOSICIÓN QUÍMICA Y VALOR NUTRICIONAL

Constituyentes	Arroz blanco
Proteínas ^(1 y 2)	6.7
Grasa ⁽¹⁾	0.37
Cenizas ⁽¹⁾	0.36
Fibra ⁽¹⁾	0.16
Hidratos de carbono ^(1 y 3)	92.00
Calcio (mg/100 g)	10.00
Fósforo (mg/100 g)	94.00
Hierro (mg/100 g)	0.90
Tiamina (mg/kg)	0.14
Riboflavina (mg/kg)	0.015
Niacina (mg/kg)	1.8
Vitamina E (mg/kg)	trazas

⁽¹⁾ Porcentaje sobre materia seca

⁽²⁾ N x 6.25

⁽³⁾ Con exclusión de fibra

Fuente: Callejo, M. Industria de Cereales y Derivados (3)

Beneficios:

- El componente glúcido del arroz produce un efecto regulador sobre la flora intestinal y aumenta la presencia de bacterias benéficas que contrarrestarán la colonización intestinal por parte de patógenos (7).
- La característica de los almidones del arroz en su bajo contenido de grasas, lo hace un alimento de alta digestibilidad sin que ello implique aumento de peso (7).
- El arroz suministra glucosa a la sangre de una manera controlada lo que mantiene los niveles de azúcar en la sangre constantes. Esto permite que este alimento sea adecuado para los diabéticos (11).
- El arroz, a diferencia de los otros cereales no contiene gluten. Por este motivo su uso es muy adecuado para los que presentan alguna enfermedad celíaca (11).

1.2 Pre-cocción de Arroz

Los almidones de diferentes cereales varían ampliamente en tamaño, forma y propiedades de gelificación. La relación de amilosa a amilopectina es relativamente constante, con un 23+/- 3% de amilosa.

Los granos individuales de almidón de arroz y avena, son parecidos por ser pequeños (2 – 5 μm), de forma poliédrica y se presentan en forma de granos compuestos. No obstante estos granos compuestos, son muy diferentes; los de arroz son más pequeños y poliédricos. El almidón de arroz gelifica a temperatura superior (50°C a 70°C) (8).

Gelatinización

Los granos de almidón pueden ser inducidos a hincharse enormemente calentándolos en mucha agua. Este empastamiento, comúnmente referido como gelatinización, es irreversible.

Proceso: Cuando la energía cinética de las moléculas de agua en contacto con los granos de almidón se incrementa como para producir la atracción entre las moléculas de almidón unidas por puentes de hidrógeno dentro del gránulo, las moléculas de agua pueden penetrar al grano de almidón, primero en las áreas menos densas, y luego que se eleva la temperatura, en las áreas cristalinas.

La captación de agua de los granos de almidón comienza a una temperatura variable, de acuerdo con la fuente de almidón. Al ocurrir, la suspensión lechosa se hace menos opaca y más translúcida y los granos hinchados pierden su birrefringencia e inician el espesamiento del líquido (5).

1.3 Secado

El secado es un proceso en el que el agua se elimina para detener o aminorar el crecimiento de microorganismos perjudiciales, así como ciertas reacciones químicas. El Departamento de Agricultura de Estados Unidos define como producto deshidratado el que no contiene más del 2.5% de agua (base seca), mientras que el alimento seco es todo aquel producto alimenticio que ha sido expuesto a un proceso de eliminación de agua y que contiene más del 2.5% de agua (base seca) (2).

En el procesado de alimentos se puede utilizar tanto el secado directo como el indirecto. En los secadores indirectos el calor es transmitido hacia el alimento en placas metálicas calientes del recipiente y por contacto directo entre las partículas calientes y frías del alimento. Los secadores directos utilizan gas caliente,

normalmente aire, el cual pasa a través del alimento. El calentamiento en los secaderos directos se ve favorecido, y además es más uniforme que en los secaderos indirectos.

Los elementos clave para cualquier operación de secado de alimentos que deben ser tenidos en cuenta son la actividad de agua, la temperatura de transición vítrea, los mecanismos y teorías de deshidratación y los cambios físicos y químicos (2).

1.3.1 Fundamentos

El principio del secado es el de disminuir la disponibilidad del agua para las reacciones enzimáticas y de crecimiento microbiano mediante la eliminación del agua libre de los productos alimenticios. Otro de los objetivos del proceso de secado es la reducción del volumen y peso global en la elaboración de alimentos útiles (1).

Períodos de Secado

En el secado por convección se pueden distinguir las siguientes etapas clásicas, diferenciadas entre sí por la velocidad de secado:

- Un *período de precalentamiento*, que transcurre mientras el producto y el agua en él contenida se calientan ligeramente, hasta alcanzar la temperatura de bulbo húmedo característica de ambiente secante (4).
- Un *período de velocidad constante*, durante el cual se produce una reducción importante del contenido de agua, el agua de inhibición se elimina con un flujo másico constante. La evaporación se efectúa en la superficie del producto, a temperatura constante, siendo ésta la de bulbo húmedo del aire. Durante este período, el flujo de calor intercambiado entre el aire y el producto se utiliza enteramente para la evaporación del agua. En la mayoría de los casos esta etapa de velocidad de secado constante finalizará cuando el contenido medio de humedad del producto alcance el valor de la *humedad crítica*. Por lo tanto, en la curva de secado este período se deberá ajustar a una recta (la humedad crítica coincide con el punto en que la recta ajustada se separa de la curva de secado).

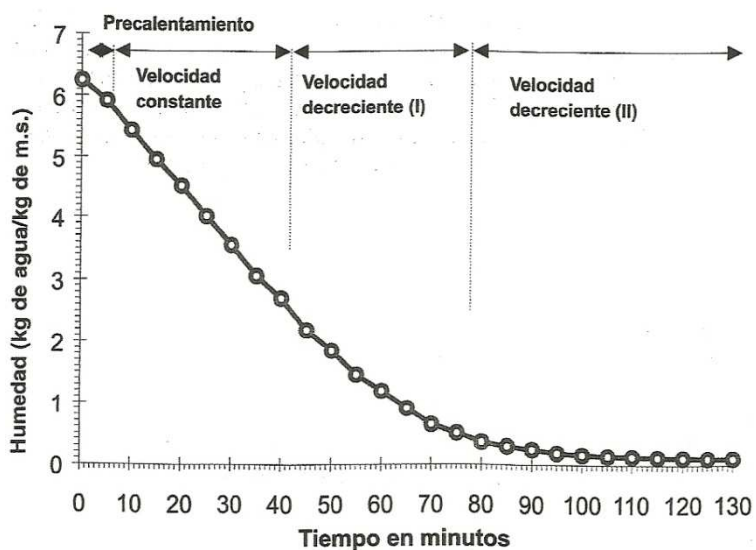


Fig. 1.1 Períodos del secado

Fuente: Casp A.; Abril J. Procesos de Conservación de Alimentos (4)

El mecanismo interno de flujo de la humedad no afecta a la velocidad de secado en este período, es el entorno secante, el aire, el que impone la velocidad de secado, que se incrementa al hacerlo la temperatura.

El diámetro de los poros y de los capilares disminuye y la pérdida de peso es aproximadamente igual al volumen de agua evaporada. Cuando la superficie externa del producto deja de estar saturada,

comienzan uno o varios períodos de velocidad de secado decreciente y la temperatura se incrementa continuamente desde la de bulbo húmedo hasta la del fluido calefactor (4).

- Un *período de velocidad decreciente*, que comienza cuando la superficie del producto en contacto con el aire de secado alcanza el umbral de higroscopicidad (para los materiales higroscópicos). Desde el punto de vista macroscópico, esto corresponde a alcanzar la humedad crítica. La zona de evaporación “frente de secado” que se encontraba en la superficie, se desplaza hacia el interior del producto. La brusca reducción de la superficie efectiva de transferencia, debida a una alimentación insuficiente de agua libre, es la causa de la disminución de la velocidad de secado. Los depósitos de solutos obstruyen los poros, el agua ligada migra bajo la forma de vapor y a distancia a recorrer por el frente de vapor es cada vez mayor, todos esos factores frenan rápidamente la transferencia interna de agua (4).

- Un *segundo período de velocidad decreciente*, o período de velocidad final. Este período sólo existe para los materiales higroscópicos. El flujo másico se reduce más rápidamente que en el período anterior. En el alimento no queda más que el agua ligada que se evacúa muy lentamente (difusión - sorción). Esta fase se termina cuando el producto alcanza su humedad de equilibrio, que depende como es lógico, de las condiciones de secado (4).

1.3.2 Efectos del Secado en Estabilidad de Cereales

El secado aumenta la duración de la conservación del producto pero modifica su calidad. Las degradaciones del producto están ligadas principalmente a la duración y temperatura de secado. Para cada producto se puede definir una temperatura máxima admisible que se recomienda no sobrepasar. Muchas reacciones físico-químicas son activadas por la temperatura y en consecuencia el secado provoca una aceleración de estas reacciones (4).

Es necesario un manejo adecuado de estas reacciones y cambios físicos para asegurar que el producto tenga un valor nutritivo alto, así como una vida media significativamente prolongada. Los pre-tratamientos con métodos combinados antes del secado pueden mejorar las propiedades de textura y reducen las reacciones de degradación.

La predicción de la estabilidad química y microbiológica será función tanto de la actividad de agua como de la temperatura de transición vítrea.

Los aspectos de estabilidad se analizan con respecto a la actividad de agua y el contenido de agua de los alimentos: cambios microbianos, reacciones enzimáticas y no enzimáticas, cambios físicos y estructurales y destrucción de nutrientes, aroma y gusto.

Los cambios geométricos y estructurales de los materiales alimentarios durante el secado afectan a las propiedades de transferencia de materia y la calidad del producto. La

cristalización de los polisacáridos como los almidones es debida a la eliminación de agua. Este fenómeno, adicionado a la pérdida de integridad celular, explica algunos de los cambios en materiales vegetales (2).

CAPÍTULO 2

2. MATERIALES Y MÉTODOS

En este capítulo se describe la caracterización de la materia prima, aplicando los métodos de análisis físico-químicos basados en las normas AOAC. Además, se incluye la metodología empleada para la obtención del arroz pre-cocido, con su respectiva isoterma de desorción; y el consiguiente proceso de secado, así como el estudio de estabilidad del producto final.

2.1 Materiales

2.1.1 Caracterización de Materia Prima

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

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

Humedad

El método empleado para este análisis hace referencia a la norma AOAC 925.10, el cual se basa en el secado de la muestra mediante el uso de una balanza de humedad provista de una lámpara infrarroja, que detecta automáticamente el porcentaje de humedad contenido en el producto.

pH

De acuerdo al método de la AOAC 943.02, se determinó el pH de la gramínea, empleando un potenciómetro previamente calibrado en soluciones buffer. Para efectuar las mediciones se introduce el electrodo en una mezcla de 10 g de muestra con 90 ml de agua desionizada.

Acidez titulable

La técnica de determinación de acidez empleada fue la AOAC 939.05, que consiste en establecer el volumen de NaOH estándar necesario para neutralizar el ácido contenido en la alícuota que se titula, determinando el punto final por medio del cambio de color que se produce por la presencia del indicador ácido-base empleado. El resultado se expresa como el % del ácido predominante en el producto.

aw

La medición de aw se realizó mediante el Aqualab Series 3, que utiliza un sensor de punto rocío mediante la técnica del espejo enfriado y medición infrarroja de la temperatura de la

muestra que da resultados de alta precisión en cortos períodos de tiempo.

El resultado de las pruebas físico - químicas a las que se sometió a la materia prima se muestran en la tabla siguiente:

TABLA 2
CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DEL ARROZ

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

Elaborado por: Berrones, Espinoza. 2011

2.2 Metodología

A continuación se detalla el procedimiento efectuado para llevar a cabo la parte experimental del estudio, el cual ha sido dividido en dos fases: la primera consiste en la pre-cocción del arroz como tratamiento previo y la segunda se basa en el proceso de secado propiamente dicho.

2.2.1 Pre-cocción como Pre-tratamiento de Secado

Diseño experimental

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

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

Identificación de variables

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

Análisis sensorial

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

La tabla 3 hace referencia a las muestras de arroz pre-cocido con su respectiva codificación:

TABLA 3
CODIFICACIÓN DE MUESTRAS DE ARROZ PRE-
COCIDO

Código	Proporción
689	2:1
451	3:1
375	4:1
190	5:1
267	6:1

Elaborado por: Berrones, Espinoza. 2011

2.2.2 Secado en Bandejas

El secado por convección se llevó a cabo en el secador de bandejas marca GUNT del Laboratorio de Termofluidos de la FIMCP. Las muestras de arroz pre-cocido fueron distribuidas de forma homogénea, cubriendo las bandejas en toda su extensión para garantizar una operación uniforme.

En la tabla 4 se presentan las dimensiones de las bandejas, con las cuales se calculó el área de secado:

TABLA 4
DIMENSIONES DE BANDEJAS

Largo	36.0 cm
Ancho	28.0 cm
# Bandejas	4 unidades
Área	0.40 m ²

Elaborado por: Berrones, Espinoza. 2011

Durante el proceso, en intervalos de 5 minutos, se realizó el control y registro de los siguientes parámetros: variación de pesos empleando una balanza de precisión, temperatura de proceso, humedad relativa y flujo de aire visualizados digitalmente en el equipo.



Fig. 2.1 Secado en bandejas

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

Curvas de Secado

Para representar el proceso de secado en términos de humedad libre vs tiempo, en primer lugar se debe determinar el peso de sólidos secos, que está dado por el porcentaje inicial de sólidos en la muestra mediante la fórmula:

$$W_s = W_t * \%s.s \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde:

W_s = Peso de sólidos secos (g)

W_t = Peso total de la muestra (g)

$\%s.s$ = Porcentaje de sólidos secos

Con la relación entre el contenido de agua y el peso de sólidos secos en la muestra, se realiza el cálculo para obtener la humedad total expresada en base seca:

$$X_t = \frac{W_t - W_s}{W_s} \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde:

X_t = Humedad total (g H₂O/g s.s)

W_t = Peso total de la muestra (g)

W_s = Peso de sólidos secos (g)

La humedad de equilibrio se determina al entrar con el %HR durante el secado, de acuerdo a la carta psicrométrica (Apéndice B), en la isoterma de desorción del arroz precocido (Apéndice C).

La tabla 5 muestra los parámetros con los que se llevó a cabo el proceso de secado:

TABLA 5
CONDICIONES DEL PROCESO DE SECADO

Parámetros	Unidades
Temperatura ambiente	27.0°C
HR ambiente	78.9%
Temperatura de proceso	50.0°C
HR durante el secado	23.0%

Elaborado por: Berrones, Espinoza. 2011

Mientras que la humedad libre se establece con la ecuación:

$$X = X_t - X^* \quad (\text{Ec. 3})$$

Donde:

X = Humedad libre (g H₂O/g s.s)

X_t = Humedad total en (g H₂O/g s.s)

X^* = Humedad de equilibrio (g H₂O/g s.s)

Con las fórmulas mencionadas anteriormente, se definió los datos necesarios para proceder a calcular la velocidad de secado, los cuales se exponen en la siguiente tabla:

TABLA 6
DATOS PARA DETERMINAR VELOCIDAD DE SECADO

Parámetros	Unidades
Peso total de la muestra (W_t)	1210.9 g
Porcentaje de sólidos secos (%s.s)	34.34%
Peso de sólidos secos (W_s)	415.82 g
Humedad de equilibrio (X^*)	0.04 g H ₂ O/g s.s
Área de secado (A)	0.10 m ²

Elaborado por: Berrones, Espinoza. 2011

Posteriormente, para graficar la curva de velocidad de secado en función de la humedad libre, es indispensable hallar el promedio de las humedades libres, y así, empleando el diferencial de la humedad libre media y el diferencial de los intervalos de tiempo, se procede a calcular la velocidad de secado (Apéndice D):

$$R = -\frac{W_s}{A} * \left(\frac{\Delta X}{\Delta t}\right) \quad (\text{Ec. 4})$$

Donde:

R = Velocidad de secado (kg H₂O/h.m²)

W_s = Peso del sólido seco (kg)

A = Área de secado (m^2)

ΔX = Diferencial de humedad libre media

Δt = Diferencial de tiempo (h)

2.2.3 Análisis Físico-Químico

Isoterma de Desorción

La isoterma de desorción del arroz pre-cocido se obtuvo mediante el método gravimétrico en estufa con temperatura controlada. Se monitoreó la muestra hasta peso constante en intervalos de 30 minutos, determinándose la humedad de equilibrio a diferentes a_w , a una temperatura de 25°C.

Para hallar el valor de humedad en base seca a partir de la humedad en base húmeda se debe emplear la fórmula siguiente:

$$Hbs = \frac{Hbh}{100 - Hbh} \quad (\text{Ec. 5})$$

Donde:

Hbs = Humedad en base seca (g H_2O /g s.s)

Hbh = Humedad en base húmeda (%)

Las pruebas se efectuaron por duplicado, por lo que se calculó el promedio de los pesos. Los datos experimentales de humedad en base seca y la a_w de la muestra fueron ajustados seleccionando el modelo de GAB, mediante el programa Water Analyser 97.4 para graficar la isoterma de desorción.

Caracterización del Arroz Pre-cocido Secado

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

Además, se efectuó el tamizado de las muestras previamente molidas, para determinar su granulometría. El equipo que se utilizó consta de una zaranda con un juego de 3 tamices (mallas # 18, 30 y 45, según la norma ASTM E-11). El tamizado se realizó durante 5 minutos por duplicado.

Rehidratación

Para determinar el tiempo de rehidratación, se realizaron pruebas por duplicado de acuerdo a la proporción con que se elaboró el arroz pre-cocido. El procedimiento se llevó a cabo en horno microondas, primero con agua y después con leche, según los pasos descritos:

1. En un recipiente apto para microondas se calentó el agua hasta punto de ebullición.
2. Se adicionó el arroz pre-cocido seco.
3. Se evaluó el tiempo necesario para la reconstitución de la muestra y su rendimiento.

2.2.4 Determinación de Vida Útil

Con el fin de establecer el tiempo de vida útil del producto final se elaboró la isoterma de absorción de la mezcla, para este efecto se sometió las muestras a dos ambientes; uno con sílica gel y otro con agua, en estufa a una temperatura de 30°C. Se determinó la humedad y a_w en intervalos de tiempo definidos según el comportamiento del producto; estos datos se ingresaron en el programa Water Analyser

97.4 para la obtención de la isoterma, a través de la cual se calculó la humedad de equilibrio (m_e) considerando que la HR ambiente de la ciudad de Guayaquil es de 85%.

Mediante evaluación sensorial se analizó la pérdida gradual de las características de calidad del producto (textura, color, olor) al ser expuesto a vapor a 100°C, para poder definir el primer parámetro que se ve afectado por la humedad y por tanto establecer el valor de la humedad crítica (m_c). Estos valores se muestran en la tabla siguiente:

TABLA 7
CONTENIDO DE HUMEDAD DEL PRODUCTO FINAL

Humedad inicial (m_i)	0.101 g H ₂ O/g s.s
Humedad crítica (m_c)	0.110 g H ₂ O/g s.s
Humedad de equilibrio (m_e)	0.176 g H ₂ O/g s.s

Elaborado por: Berrones, Espinoza. 2011

Con los datos obtenidos se procedió a realizar el cálculo del $\ln \Gamma_c$ (contenido de humedad no completado) de acuerdo a la ecuación:

$$\ln \Gamma_c = \ln \left[\frac{m_i - m_e}{m_c - m_e} \right] \quad (\text{Ec. 6})$$

Donde:

m_i = Humedad inicial (g H₂O/g s.s)

m_e = Humedad de equilibrio (g H₂O/g s.s)

m_c = Humedad crítica (g H₂O/g s.s)

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

$$\theta_c = \frac{\ln \Gamma_c}{\frac{k}{x} \frac{A}{W_s} \frac{P_o}{b}} \quad (\text{Ec. 7})$$

Donde:

θ = Tiempo de vida útil (días)

$\ln \Gamma_c$ = Contenido de humedad no completado (tendencia de permeabilidad del empaque)

k/x = Permeabilidad del empaque (g H₂O/día.m².mmHg)

A = Área del empaque (m²)

W_s = Peso de sólidos secos (g)

P_o = Presión de vapor de agua a la temperatura T (mmHg)

b = Pendiente de la isoterma (tangente entre la humedad crítica e inicial).

En la tabla 8 se exponen los valores necesarios para calcular el tiempo de vida útil del producto:

TABLA 8
DATOS PARA DETERMINAR TIEMPO DE VIDA ÚTIL

$\ln \Gamma_c$	0.128
k/x	0.00625 g H ₂ O/día.m ² .mmHg
A	0.056 m ²
W_s	113.556 g
P_o	31.824 mmHg
b	0.300

Elaborado por: Berrones, Espinoza. 2011

CAPÍTULO 3

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Esta sección muestra la evaluación de los resultados obtenidos de las pruebas efectuadas al arroz, desde el proceso de selección de la proporción agua/arroz ideal para la cocción, pasando por las pruebas físico-químicas del producto pre-cocido como del arroz seco hasta el análisis sensorial y determinación del tiempo de vida útil del postre instantáneo.

3.1 Resultados de la Pre-Cocción de arroz

El diseño experimental se efectuó con la finalidad de determinar la proporción agua/arroz adecuada para la obtención de un producto

de textura blanda y que no presente apelmazamiento, como resultado del proceso de pre-cocción; que de acuerdo a las escalas estructuradas de las pruebas sensoriales estarán representadas entre los valores 7 y 9 para ambos parámetros.

A partir de los resultados de las pruebas de intervalos, realizadas de acuerdo al procedimiento descrito en el capítulo anterior (Apéndice E), se generó mediante el método de simulación de datos 1000 observaciones (jueces), de tal manera que el análisis estadístico sea efectuado en base a una muestra más representativa.

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

Al ser variables cualitativas los datos obtenidos de las evaluaciones sensoriales, se optó por aplicar un análisis no

paramétrico a las muestras restantes, el cual se efectuó mediante la prueba de los signos; en donde la probabilidad obtenida en los dos casos fue igual a 1 ($P=1$), por lo que se estableció que ambas muestras son válidas para los parámetros en estudio (Apéndice G).

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

H_0 (hipótesis nula): $\mu_{\text{apelmazamiento}} = 8$ vs H_a (hipótesis alterna): $\mu_{\text{apelmazamiento}} \neq 8$

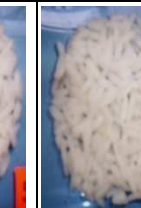
H_0 (hipótesis nula): $\mu_{\text{textura}} = 7$ vs H_a (hipótesis alterna): $\mu_{\text{textura}} \neq 7$

Para este efecto se comparó los resultados de la media y la varianza de los dos parámetros en análisis en las proporciones 5:1 y 6:1 por separado y luego combinados. La toma de decisiones se fundamentó en el hecho de que se debe escoger la muestra que posea una menor desviación estándar agrupada para que las características sean más congruentes. Además mediante el método de Tukey se descartó la proporción 6:1, ya que se esperaba que las características medidas sean significativamente distintas, lo cual no fue el caso para esta prueba (Apéndice H).

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

En la tabla a continuación se muestran las características de las pruebas efectuadas, determinadas en base a los resultados de las evaluaciones sensoriales:

TABLA 9
RESULTADOS DE PRUEBAS DE PRE-COCCIÓN

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

Elaborado por: Berrones, Espinoza. 2011

De acuerdo a la tabla expuesta, se puede apreciar que a partir de las proporciones 2:1 – 4:1 no se obtiene un producto con las características sensoriales requeridas. Cabe recalcar que el tiempo de cocción en estas 3 primeras pruebas fue el máximo permitido antes de que se produjera la evaporación total del agua. En tanto que con la proporciones 5:1 y 6:1 se logra los parámetros

deseados, sin embargo en la última se obtuvo gelatinización total del arroz y un rendimiento más bajo.

3.1.1 Análisis de Resultados de Pruebas Físico-Químicas

Isoterma de Desorción

El desarrollo de la isoterma de desorción del arroz pre-cocido a través del programa Water Analyser, que emplea el modelo matemático de GAB (Guggenheim, Anderson y Boer), permitió determinar el valor de la monocapa, que es el contenido de humedad de la primera capa de moléculas de agua que se forma alrededor de la superficie del sólido y que está directamente relacionada con la estabilidad del producto.

Según se muestra en la isoterma, existe un rápido descenso del contenido de humedad hasta una a_w de 0.7, esto se debe a la remoción del agua que había sido captada por los almidones presentes en el arroz durante la pre-cocción, por lo que se puede afirmar que el pre-tratamiento dado a la materia prima contribuirá a disminuir el tiempo de secado. A a_w menores a 0.6 la pérdida de humedad se reduce

significativamente, esto demuestra la baja disponibilidad de agua para generar reacciones, acercándose al valor de la monocapa.

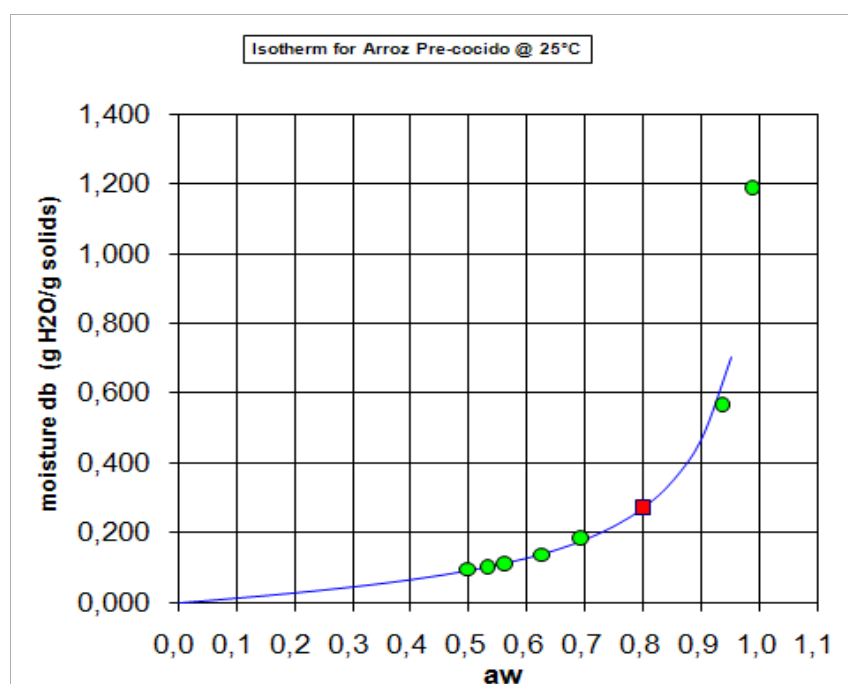


Fig. 3.1 Isotherma de Desorción de Arroz Pre-cocido

Así, se definió que con una humedad de 0.0804 g H₂O/g s.s y aw de 0.43 el producto será más estable ante el deterioro enzimático y microbiano.

La tabla 10 hace referencia al valor de la monocapa para el producto en estudio, obtenido mediante el programa Water Analyser:

TABLA 10
VALOR DE MONOCAPA DE ARROZ PRE-COCIDO

GAB	0.0804 g H ₂ O/g s.s
R²	0.9843755

Elaborado por: Berrones, Espinoza. 2011

3.2 Resultado del Secado

La Fig. 3.2 muestra la variación del peso del arroz pre-cocido en función del tiempo al ser sometido al proceso de secado. De acuerdo a la gráfica durante las primeras 2 horas se aprecia un notable descenso en el peso de la muestra. De aquí en adelante la pérdida se reduce ligeramente hasta completar las 3 horas y a partir de la cuarta hora la merma es mínima. Finalmente, al cabo de 6 horas y 15 minutos se logró mantener un peso constante con un rendimiento de 36%, dando por finalizada la operación.



Fig. 3.2 Variación del Peso en Función del Tiempo

Las curvas de humedad en base seca (X_t) y de humedad libre (X^*) en función del tiempo, son expuestas en la Fig. 3.3 y Fig. 3.4 respectivamente; en ambas gráficas se han identificado cada una de las etapas que constituyen el proceso de secado. El período A-B representa la fase de pre-calentamiento de la muestra, el período B-C es el de velocidad constante, este último punto "C" corresponde a la humedad crítica, mientras que el período C-D-E indica los 2 períodos de velocidad decreciente.

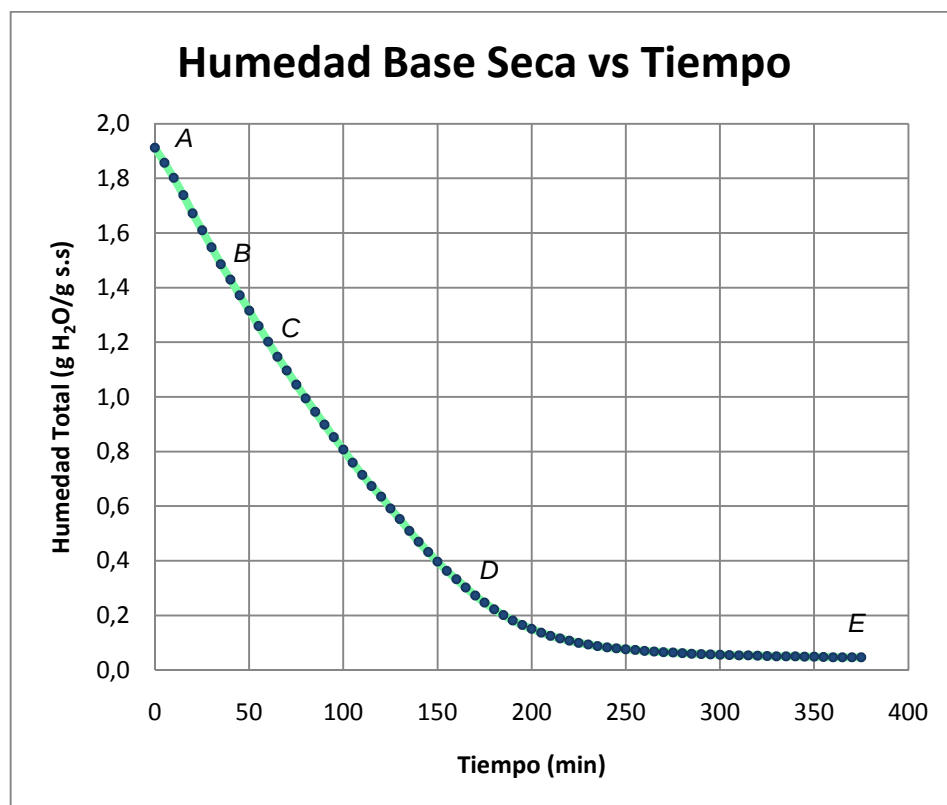


Fig. 3.3 Humedad en Base Seca en Función del Tiempo

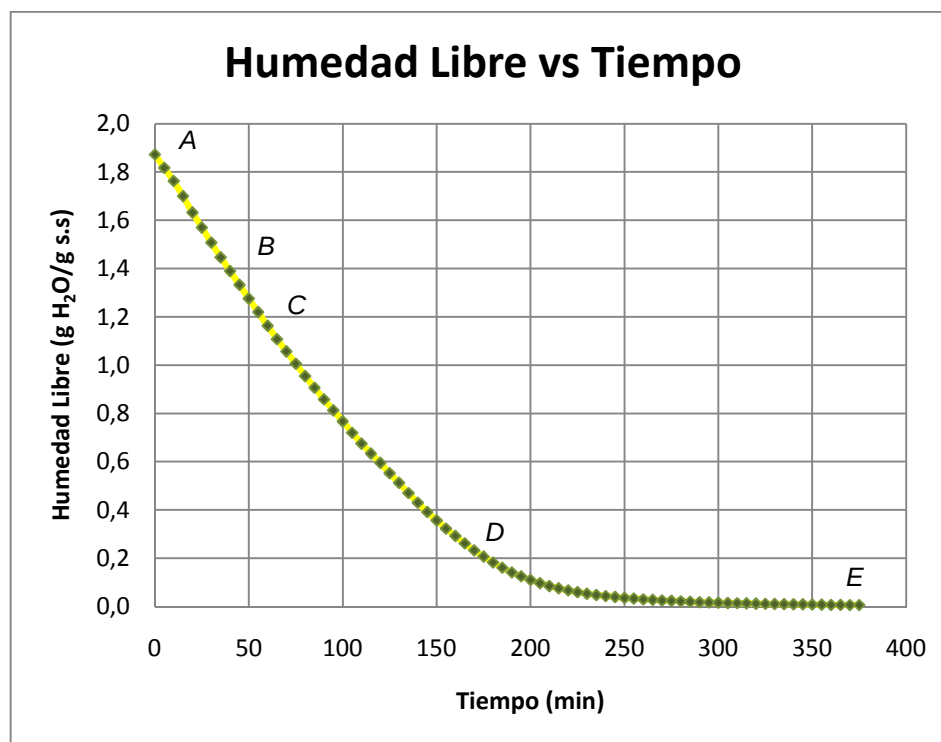


Fig. 3.4 Humedad Libre en Función del Tiempo

Se observa un pre-calentamiento de 35 minutos y una marcada disminución en el contenido de humedad expresado en g H₂O/g s.s. al inicio del secado hasta alcanzar los 180 minutos, pudiendo acotar que en este tiempo se remueve la mayor parte de la humedad libre (X^*) presente en el alimento. Pasado este período, la disminución del contenido de X^* se produce en menor proporción hasta reducirse a 0.0064 g H₂O/g s.s. Comparando este valor con el de la monocapa, obtenido mediante la isoterma de desorción, que equivale a 0.0804 g H₂O/g s.s, se puede demostrar que con el

proceso de secado efectuado se obtendrá un producto de alta estabilidad frente al deterioro.

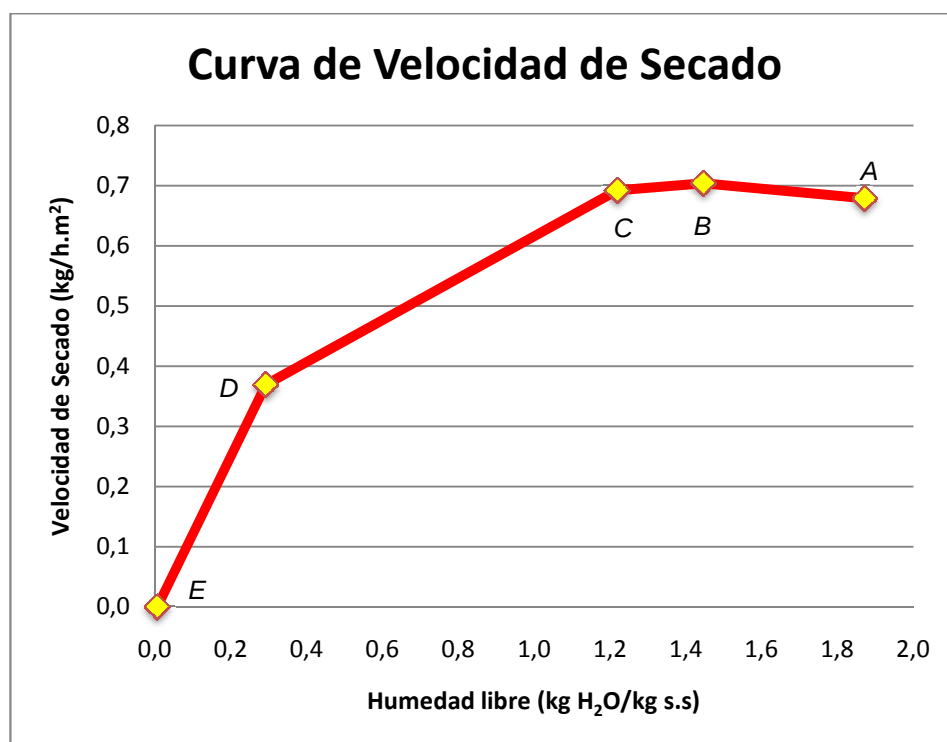


Fig. 3.5 Curva de Velocidad de Secado

La Fig. 3.5 hace referencia a la curva de velocidad de secado en relación al tiempo de proceso, en la cual se aprecia la fase de precalentamiento A-B, caracterizada por el incremento de la temperatura del alimento hasta lograr el equilibrio con las condiciones del aire de secado (T_{bh}), partiendo de una X^* de 1.8721 kg H₂O/kg s.s y una velocidad de secado equivalente a

0.6786 kg/h.m², ésta última se incrementa ligeramente, mientras que el contenido de agua libre se reduce a 1.4462 kg H₂O/kg s.s.

En el período B-C, la velocidad se mantiene constante a 0.6920 kg/h.m² y el contenido de agua existente en la superficie del alimento es removida hasta 1.2191 kg H₂O/kg s.s, en este punto se pierde la primera característica organoléptica del producto, representada por la humedad crítica, que da lugar a la siguiente etapa C-D conocida como período de velocidad decreciente. Dicho período comienza con la remoción del agua ligada en el interior del sólido y se visualiza un descenso brusco de la velocidad de secado llegando a 0.3690 kg/h.m², debida a la disminución de la superficie de transferencia. De esta forma, se alcanza el segundo período de velocidad decreciente D-E, obteniendo una velocidad final igual a cero.

3.2.1 Análisis de Resultados de Pruebas Físico-Químicas

Los resultados de las pruebas físico-químicas y la determinación de la granulometría del arroz pre-cocido seco se muestran en las siguientes tablas:

TABLA 11
RESULTADOS DE ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS DE
ARROZ PRE-COCIDO SECO

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

Elaborado por: Berrones, Espinoza. 2011

TABLA 12
RESULTADO DE GRANULOMETRÍA DEL ARROZ PRE-
COCIDO SECO

Mallas	Δm	ΔX_i	X_i	$D_{p_{sup}}$	$\bar{D}_{pi}$
18	75.00	75.00	100.00	1.000	0.800
30	22.15	22.15	25.00	0.600	0.478
45	2.00	2.00	2.85	0.355	-
Fondo	0.85	0.85	0.85		
TOTAL	100.00	100.00			

Elaborado por: Berrones, Espinoza. 2011

Donde:

Δm = Masa retenida (g)

ΔX_i = Porcentaje de retenidos (%)

$D_{p_{sup}}$ = Diámetro de abertura (mm)

$\bar{D}_{pi}$ = Diámetro promedio (mm)

$$D_p = \frac{1}{\sum \Delta X_i / \bar{D}_{pi}} \quad (\text{Ec. 8})$$

De acuerdo a la fórmula anterior el diámetro reboux o diámetro superficial medio (D_p) es de 0.714 mm.

3.2.2 Análisis de Resultados de Rehidratación

Al realizar la rehidratación con leche se obtuvo un producto de consistencia completamente suave y el arroz suelto. Con la rehidratación en agua se consiguió características del grano similares. A continuación se muestran los tiempos requeridos para el proceso y la cantidad de arroz empleada:

TABLA 13

RESULTADOS DE PRUEBAS DE REHIDRATACIÓN

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

Elaborado por: Berrones, Espinoza. 2011

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

3.3 Formulación para Preparación del Consumidor Final

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

TABLA 14

FORMULACIÓN #1

Ingredientes	Cantidad (g)	Porcentaje (%)
Leche	100.0	68.50
Arroz	20.0	13.70
Azúcar	20.0	13.70
Pasas	5.0	3.42
Canela	1.0	0.68
Total	146	100%

Elaborado por: Berrones, Espinoza. 2011

TABLA 15**RESULTADOS DE FORMULACIÓN #1**

Producto final	77.20 g
Temperatura final	80°C
Tiempo de cocción	3 min 25 s
Potencia del micro	Alta
Rendimiento	52.87%

Elaborado por: Berrones, Espinoza. 2011

Observaciones:

El ensayo #1 consistió en rehidratar la mezcla añadiendo leche hirviendo y sometiéndola al calor del microondas a potencia alta en un tiempo de 3 minutos 25 segundos, se dejó enfriar a temperatura ambiente y se adicionó 2.5 ml de esencia de vainilla para darle más sabor; el resultado de esta rehidratación fue un producto de consistencia pastosa, arroz semiduro y sabor muy dulce.

TABLA 16
FORMULACIÓN #2

Ingredientes	Cantidad (g)	Porcentaje (%)
Leche	100.0	73.53
Arroz	20.0	14.71
Azúcar	10.0	7.35
Pasas	5.0	3.68
Canela	1.0	0.74
Total	136	100%

Elaborado por: Berrones, Espinoza. 2011

TABLA 17
RESULTADOS DE FORMULACIÓN #2

Producto final	101.50 g
Temperatura final	88°C
Potencia del micro	Alta
Tiempo de cocción	3 min 25 s
Rendimiento	74.63%

Elaborado por: Berrones, Espinoza. 2011

Observaciones:

En el ensayo #2 se añadió leche hirviendo a la mezcla y se la sometió al calor del microondas a potencia alta con un tiempo de 3 minutos y 25 segundos, añadiendo 2.5 ml de esencia de vainilla; se obtuvo un producto pastoso y el ingrediente principal que es el arroz no alcanzó la rehidratación completa, el dulzor del postre fue óptimo.

TABLA 18
FORMULACIÓN #3

Ingredientes	Cantidad (g)	Porcentaje (%)
Leche	100.0	73.53
Arroz	20.0	14.71
Azúcar	10.0	7.35
Pasas	5.0	3.68
Canela	1.0	0.74
Total	136	100%

Elaborado por: Berrones, Espinoza. 2011

TABLA 19
RESULTADOS DE FORMULACIÓN #3

Producto final	112.80 g
Temperatura final	82°C
Tiempo de cocción	3 min 25 s
Potencia del micro	Media
Rendimiento	82.94%

Elaborado por: Berrones, Espinoza. 2011

Observaciones:

En el ensayo #3 se añadió leche hirviendo a la mezcla y se la sometió al calor del microondas a potencia media con un tiempo de 3 minutos y 25 segundos, adicionando la misma cantidad de esencia de vainilla, se obtuvo un producto demasiado espeso, de olor y sabor agradable, pero la textura del arroz siguió siendo dura.

TABLA 20
FORMULACIÓN #4

Ingredientes	Cantidad (g)	Porcentaje (%)
Leche	150.0	78.53
Arroz	20.0	10.50
Azúcar	15.0	7.85
Pasas	5.0	2.62
Canela	1.0	0.52
Total	191	100%

Elaborado por: Berrones, Espinoza. 2011

TABLA 21
RESULTADOS DE FORMULACIÓN #4

Producto final	177.30 g
Temperatura final	80°C
Tiempo de cocción	3 min 30 s
Potencia del micro	Media
Rendimiento	92.82%

Elaborado por: Berrones, Espinoza. 2011

Observaciones:

En este ensayo #4 se determinó parámetros constantes para obtener un mejor producto, la potencia recomendada fue media, el tiempo de cocción se estableció en 3 minutos y 30 segundos, en donde se colocó los ingredientes secos y la leche hirviendo en el microondas; se añadió 2.5 ml de esencia de vainilla, obteniendo un postre de consistencia semilíquida, color sabor y olor agradable, pero la textura del arroz no llegó a quedar blanda.

El arroz a partir de estos ensayos fue pasado por un molino para facilitar su rehidratación:

TABLA 22**FORMULACIÓN #5**

Ingredientes	Cantidad (g)	Porcentaje (%)
Leche	100.0	73.53
Arroz	20.0	14.71
Azúcar	10.0	7.35
Pasas	5.0	3.68
Canela	1.0	0.74
Total	136	100%

Elaborado por: Berrones, Espinoza. 2011

TABLA 23
RESULTADOS DE FORMULACIÓN #5

Producto final	112.40 g
Temperatura final	80°C
Tiempo de cocción	3 min 00 s
Potencia del micro	Alta
Rendimiento	82.64%

Elaborado por: Berrones, Espinoza. 2011

Observaciones:

Al cambiar el tamaño de las partículas de arroz se garantizó que la mayor parte de éstas se rehidraten y no queden semiduras; en este ensayo el arroz con leche resultó demasiado espeso y aún algunos granos presentaban dureza.

TABLA 24
FORMULACIÓN #6

Ingredientes	Cantidad (g)	Porcentaje (%)
Leche	100.0	73.53
Arroz	20.0	14.71
Azúcar	10.0	7.35
Pasas	5.0	3.68
Canela	1.0	0.74
Total	136	100%

Elaborado por: Berrones, Espinoza. 2011

TABLA 25
RESULTADOS DE FORMULACIÓN #6

Producto final	122.60 g
Temperatura final	80°C
Tiempo de cocción	3 min 25 s
Potencia del micro	1 min a potencia alta y 2 min 25 s a potencia media
Rendimiento	90.14%

Elaborado por: Berrones, Espinoza. 2011

Observaciones:

Al modificar el calentamiento en microondas haciendo q llegue a la máxima temperatura durante el primer minuto y luego calentando sin que llegue a hervir durante 2 minutos 25 segundos a potencia media, se dejó enfriar y se adicionó 2.5 ml de esencia de vainilla, obteniendo un alto rendimiento y un producto blando pero la consistencia era pastosa y muy espesa, las otras características permanecieron constantes.

TABLA 26**FORMULACIÓN #7**

Ingredientes	Cantidad (g)	Porcentaje (%)
Leche	100.0	73.53
Arroz	20.0	14.71
Azúcar	10.0	7.35
Pasas	5.0	3.68
Canela	1.0	0.74
Total	136	100%

Elaborado por: Berrones, Espinoza. 2011

TABLA 27
RESULTADOS DE FORMULACIÓN #7

Producto final	127.11 g
Temperatura final	80°C
Tiempo de cocción	3 min 35 s
Potencia del micro	Media
Rendimiento	93.46%

Elaborado por: Berrones, Espinoza. 2011

Observaciones:

El arroz molido al rehidratarse en microondas con leche durante 3 minutos 35 segundos a potencia media, enfriándolo y sin variar la cantidad de esencia de vainilla, resultó más blando, de agradable aroma y dulzor, pero la consistencia no fue óptima ya que siguió siendo un poco espesa.

TABLA 28
FORMULACIÓN #8

Ingredientes	Cantidad (g)	Porcentaje (%)
Leche	160.0	77.29
Arroz	20.0	9.66
Azúcar	16.0	7.73
Pasas	10.0	4.83
Canela	1.0	0.48
Total	207	100%

Elaborado por: Berrones, Espinoza. 2011

TABLA 29
RESULTADOS DE FORMULACIÓN #8

Producto final	193.20 g
Temperatura final	80°C
Tiempo de cocción	3 min 35 s
Potencia del micro	Media
Rendimiento	93.33%

Elaborado por: Berrones, Espinoza. 2011

Observaciones:

Al aumentar leche a la formulación y también azúcar para equilibrar el dulzor y sin variar la medida de la esencia de vainilla, se obtuvo un producto de consistencia de papilla, no muy dulce y de olor agradable, pero no alcanzó el grado óptimo.

TABLA 30
FORMULACIÓN #9

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

Elaborado por: Berrones, Espinoza. 2011

TABLA 31**RESULTADOS DE FORMULACIÓN #9**

Producto final	216.75 g
Temperatura final	84°C
Tiempo de cocción	4 min 15 s
Potencia del micro	Media
Rendimiento	94.65%

Elaborado por: Berrones, Espinoza. 2011

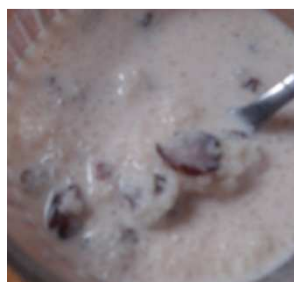


Fig. 3.6 Formulación #9

En el ensayo #9 se manejó el microondas a potencia media y se lo rehidrató a 4 minutos 15 segundos, se dejó enfriar y se adicionó 2.5 ml de esencia de vainilla, resultando un postre rehidratado completamente, sabor dulce y concentrado, olor y color agradables, de consistencia semilíquida y textura del arroz suave.

TABLA 32
FORMULACIÓN #10

Ingredientes	Cantidad (g)	Porcentaje (%)
Leche	90.0	39.13
Agua	90.0	39.13
Arroz	20.0	8.69
Azúcar	19.0	8.25
Pasas	10.0	4.35
Canela	1.0	0.45
Total	230	100%

Elaborado por: Berrones, Espinoza. 2011

TABLA 33
RESULTADOS DE FORMULACIÓN #10

Producto final	216.95 g
Temperatura final	86°C
Tiempo de cocción	2 min en agua 1 min 15 s en leche
Potencia del micro	Alta
Rendimiento	94.32%

Elaborado por: Berrones, Espinoza. 2011



Fig. 3.7 Formulación #10

En este ensayo se manejó el microondas a potencia alta y se lo rehidrató con agua hirviendo por 2 minutos, posteriormente se adicionó leche hirviendo por 1 minuto 15 segundos, añadiendo 2.5 ml de esencia de vainilla, se obtuvo un producto de consistencia semilíquida, textura del arroz muy suave, olor y color agradables, sabor dulce pero al tener agua no se percibía la leche en el producto.

3.4 Pruebas sensoriales y caracterización

Para la realización de la evaluación sensorial se seleccionó la formulación #9 y la #10 para determinar la preferencia del producto por parte de los posibles consumidores, para lo cual se escogieron 30 personas: niños y niñas de 7 a 8 años; la prueba sensorial que se efectuó fue la afectiva: escala hedónica gráfica con 3 puntos de medición (Apéndice J).

Para analizar los datos obtenidos mediante esta prueba, se realizó una conversión de la escala gráfica a la numérica, es decir se le asignaron valores consecutivos a la escala gráfica, se evaluó el nivel de aceptación del arroz con leche y que fórmula es la de más agrado utilizando la escala hedónica gráfica de 3 puntos, donde “me gusta mucho” (gráfico de cara feliz) tiene una calificación de 3, y “me disgusta mucho” (gráfico de cara triste) tiene una calificación de 1 (Apéndice K).

Los resultados obtenidos se analizaron mediante la prueba estadística T de student indicada para la comparación entre 2 muestras, los jueces que se escogieron fueron 30 personas no entrenadas y posibles consumidores del producto, la prueba aplicada consistió en la presentación simultánea de las dos muestras debidamente codificadas, al proceder a tabular los datos se realizó una sumatoria de cada formulación con los datos obtenidos (Ec. 9), también se hizo una columna con las diferencias de los resultados entre las dos muestras y su sumatoria (Ec. 10 y Ec. 11); y otra columna con el cuadrado de las diferencias y se efectuó una sumatoria (Ec. 12).

Posteriormente se obtuvo la diferencia de los promedios de los totales mediante la Ec. 13, el cual resultó de la división de la suma total de resultados para el número total de jueces; una vez que se realizó el cálculo de promedio de totales, se obtuvo la diferencia de dichos promedios, sin considerar el signo. Luego se procedió a aplicar la fórmula de la varianza (Ec. 14) y finalmente se comparó el valor de la T de student con el 5% de significancia como se muestra en la Ec. 15. Si esta relación se cumple quiere decir que existe una diferencia significativa entre las dos fórmulas y se escoge la fórmula de mayor calificación.

$$\sum M1 = () + () + ().... \quad (\text{Ec. 9})$$

$$Dn = (M1.n - M2.n) \quad (\text{Ec. 10})$$

$$\sum D = D1 + D2 + D3 + \quad (\text{Ec. 11})$$

$$\sum D^2 = D1^2 + D2^2 + D3^2 + \quad (\text{Ec. 12})$$

$$\bar{d} = \frac{M1}{N} - \frac{M2}{N} \quad (\text{Ec.13})$$

$$S = \frac{\sqrt{\sum D^2 - \frac{(\sum D)^2}{N}}}{N - 1} \quad (\text{Ec. 14})$$

$$\frac{\bar{d}}{\frac{s}{\sqrt{N}}} > T \quad (\text{Ec. 15})$$

Donde:

$\sum M1$ = Sumatoria de los resultados de la muestra 1

D_n = Diferencia entre el resultado de la muestra 1 y la muestra 2

$\sum D$ = Sumatoria de las diferencias entre los resultados de la muestra 1 y la muestra 2

$\sum D^2$ = Sumatoria del cuadrado de las diferencias entre los resultados de la muestra 1 y la muestra 2

$\bar{d}$ = Diferencia de los promedios de los totales

S = Análisis de varianza

N = Número de jueces

T = Valor T obtenido de la tabla T test para valor $N-1$ (Apéndice L)

Los valores obtenidos se muestran en la tabla a continuación:

TABLA 34
RESULTADOS ESTADÍSTICOS DE ESCALA HEDÓNICA
GRÁFICA PARA FÓRMULA FINAL DE ARROZ CON LECHE

$\sum D^2$	65
$\sum (D)^2$	1681
$\bar{d}$	1.36
S	0.55
N	30
T	2.045

Elaborado por: Berrones, Espinoza. 2011

Los resultados de las pruebas sensoriales indican que sí hay diferencia significativa entre las dos fórmulas de arroz con leche, por lo tanto la fórmula #9 fue la escogida debido a la alta calificación sensorial que es la aceptación por parte de los jueces que la evaluaron.

3.5 Determinación de Vida Útil del Producto Final

Para realizar la predicción del tiempo de vida útil del producto, se obtuvo en primer lugar la isoterma de adsorción de la muestra mediante el programa Water Analyser 94.7.

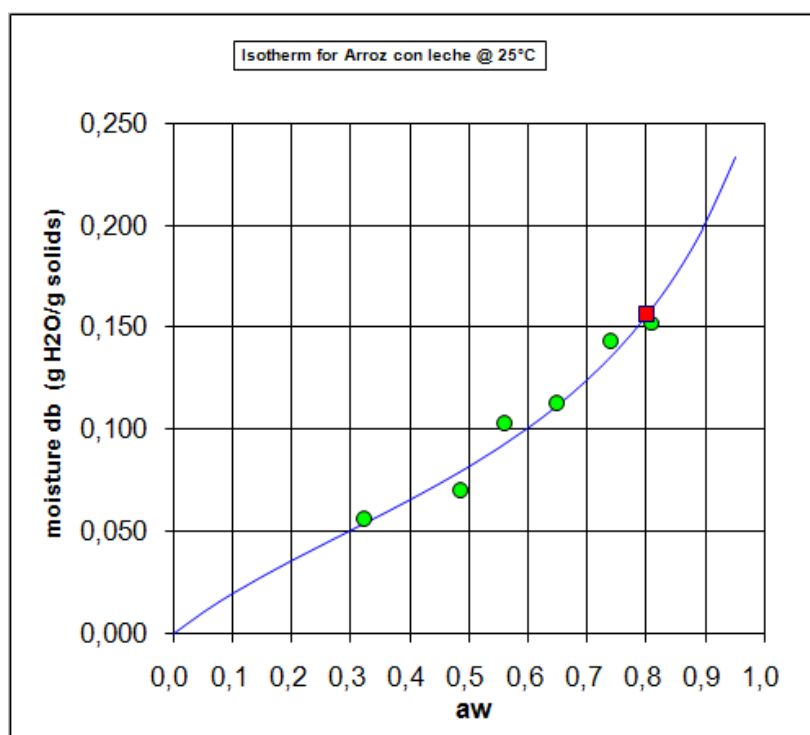


Fig. 3.8 Isotherma de Adsorción de Producto Final

Al analizar el valor de la monocapa mostrado en la tabla 35, se pudo definir que el producto tiene una mayor estabilidad a una humedad de 0.0703 g H₂O/g s.s, equivalente a una actividad de aw de 0.43.

TABLA 35
VALOR DE MONOCAPA DE PRODUCTO FINAL

GAB	0.0703 g H ₂ O/g s.s
R²	0.9584365

Elaborado por: Berrones, Espinoza. 2011

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

Finalmente, empleando la Ec. 7 se estableció que el tiempo de vida útil del producto final en una presentación de 125 gramos contenida en una empaque trilaminado (poliéster-polipropileno-polietileno) y conservado en condiciones ambientales de 30°C y 85% de humedad relativa es de 392 días o 13 meses.

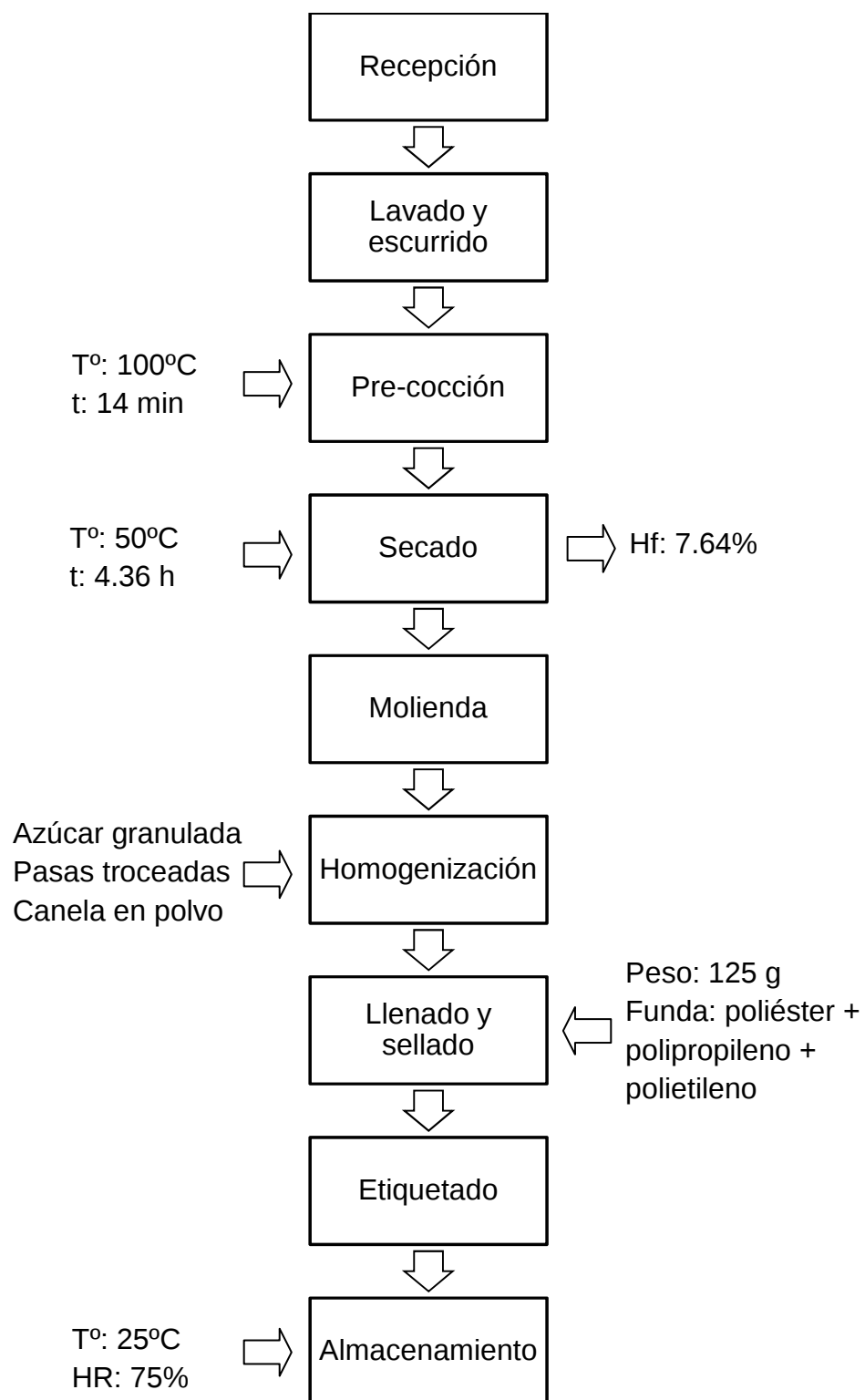
CAPÍTULO 4

4. DISEÑO DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN

En este capítulo se planteará el diagrama de flujo del proceso de elaboración del postre instantáneo, describiendo en forma detallada cada una de las etapas a realizar.

Se analizará también la capacidad de producción para esta línea, basándose en la proyección de la demanda, con lo cual además se podrá proponer la capacidad que deberían tener los equipos para cubrir dicha demanda, así como su ubicación dentro de una planta piloto.

4.1 Diagrama de Flujo



4.2 Descripción del Proceso

Recepción:

Es la primera etapa en donde se recepta el arroz blanco pilado de grano largo tipo flor en óptimas condiciones para su uso.

Lavado y Escurrido:

Se procede al lavado con agua, lo que servirá para limpiar los residuos de almidón y el escurrido para eliminar el agua residual.

Pre-cocción:

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

Secado:

Se coloca en bandejas de acero inoxidable el arroz pre-cocido y se lo somete al proceso de secado a una temperatura de 50°C, de esta manera se obtiene un arroz pre-cocido seco.

Molienda:

Posteriormente el arroz pasa por un proceso de molienda para lograr una mejor rehidratación de los granos.

Homogenización:

En esta etapa se añaden los demás ingredientes: azúcar granulada, pasas troceadas, y canela en polvo; cada ingrediente en su dosificación correcta para la homogenización.

Llenado-sellado:

Después de homogenizar el producto resultante se procede al llenado de las bolsas de 125 g que son de un empaque trilaminado de polietileno, polipropileno y poliéster; después de llenar las bolsas la máquina las sella.

Etiquetado:

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

Almacenamiento:

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

4.3 Capacidad de Producción

Para calcular la capacidad de producción se debe tomar en cuenta el segmento a quien va dirigido el producto. Analizando el número de habitantes de Guayaquil, según la población estimada al año 2009 fue de 2'787,738, de los cuales el 20% corresponde a 557,547 niños entre 5 a 14 años (Apéndice M), que serán los posibles consumidores; de este porcentaje se escoge un 22% que son 123,930 niños quienes representarán la demanda a cubrir, tomando en cuenta que el principal competidor es una empresa con una marca de larga trayectoria en el mercado.

En la tabla siguiente se muestra la proyección de la demanda calculada para 3 años:

TABLA 36
PROYECCIÓN DE LA DEMANDA

Año	Escenarios		
	Optimista	Normal	Pesimismo
2011	1'487,155	1'487,155	1'487,155
2012	1'606,128	1'561,513	1'516,898
2013	1'734,618	1'639,589	1'547,236

Elaborado por: Berrones, Espinoza. 2011

Se plantea producir 4 lotes semanales de 7,746 unidades cada uno, teniendo en cuenta que se trabajará 5 días a la semana en un turno de 8 horas, produciéndose un total diario por lote de 1,549 unidades.

Las unidades vendrán en paquetes de 125 g cada uno, entonces por hora se tendrá una producción de 775 unidades, que equivalen a 96.82 kg/h.

TABLA 37**TIEMPO DE PRODUCCIÓN**

Anual	12 meses
Mensual	20 días
Diaria	8 horas

Elaborado por: Berrones, Espinoza. 2011

TABLA 38**NIVELES DE PRODUCCIÓN**

Anual	1'487,155 u
Mensual	123,930 u
Diaria	6,196 u
Hora	775 u

Elaborado por: Berrones, Espinoza. 2011

4.4 Descripción de Equipos y Ubicación

La descripción de los equipos está basada en las necesidades de la empresa y en cubrir la producción propuesta, en la tabla 38 se hace referencia a cada etapa del proceso y la máquina destinada para esa función; la ubicación de los equipos se la visualiza en el Apéndice N.

TABLA 39
EQUIPOS REQUERIDOS POR ETAPAS DE PROCESO

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

Elaborado por: Berrones, Espinoza. 2011

Marmita

Fabricada de acero inoxidable 304, de capacidades de 160 lt, 250 lt, 500 lt, 700 lt y 1000 lt; accionadas a cualquier tipo de energía gas, gas-oil y vapor. Se fabrican de 2 sistemas: fuego directo a la cuba o fuego indirecto que se efectúa por medio de una cámara térmica.



Fig. 4.1 Marmita

Secador de bandeja

Las especificaciones para el diseño del secador de bandejas se encuentran detalladas en el numeral 4.5.

Molino

Es apto para moler cualquier tipo de granos secos, construido en acero al carbono, reforzado para soportar trabajo duro y continuo (Apéndice Ñ).



Fig. 4.2 Molino

Mezcladora tipo pantalón

Máquina mezcladora ideal para mezclar polvos o gránulos que son utilizados para la preparación de productos alimenticios, químicos, farmacéuticos o agroquímicos. Alimentación del producto por una sola boca, con tapa de ajuste rápido. Superficie interior completamente lisa con esquinas redondeadas y pulida con acabado sanitario. Sistema de compuerta regulable para descarga del producto (Apéndice Ñ).



Fig. 4.3 Mezcladora

Empacadora volumétrica

Máquina empacadora automática con vasos volumétricos, para embolsado de productos granulados como cereales, confites, azúcar, arroz, maní, habas y productos extruidos. Fácil cambio de formador para diferentes anchos de fundas o bolsas. Conformar las fundas a partir de rollos de diferentes materiales termosellables. Dosifica productos por medio de vasos telescópicos de volumen variable, fácilmente regulables. Sellado por mordazas de temperatura constante o por impulsos (según el material a usar). Estructura robusta fabricada en acero SAE1020, con acabado de pintura electrolítica que garantiza una alta calidad y durabilidad. Partes en contacto con el producto o con el material de empaque, fabricadas en acero inoxidable A304 (Apéndice Ñ).



Fig. 4.4 Empacadora volumétrica

Máquina codificadora a tinta

Máquina codificadora por sistema de chorro de tinta ink jet, para impresión de textos informativos como “ELAB”, “VENC”, “LOTE”, “PVP”, códigos de barras, logos, “Reg. Sanitario”, conteo, fecha, hora e imágenes. Ideal para impresión en envases plásticos, de vidrio o metálicos, botellas, frascos, fundas, cartones, latas y tapas de envases. Pantalla táctil de cristal líquido de fácil operación con

teclado disponible en varios idiomas. Puede imprimir hasta con dos módulos con el mismo controlador. Conectividad desde una computadora por medio de puerto USB o vía wireless (opcional) (Apéndice Ñ).



Fig. 4.5 Máquina codificadora

4.5 Diseño de Secador

Para determinar el diseño del secador requerido para cubrir una producción estimada de 110 kg/h fue necesario establecer varios parámetros, los cuales se puntualizan a continuación:

Tiempo de secado

Con la finalidad de calcular el tiempo de secado se debe definir las especificaciones de las bandejas del secador, las condiciones del aire de secado y las características del producto en base a las

pruebas realizadas; éstas se presentan en las tablas 40, 41 y 42 respectivamente:

TABLA 40
ESPECIFICACIONES DE BANDEJAS DEL SECADOR

Longitud, Lt	0.700 m
Ancho, A	0.500 m
Profundidad, x_1	0.003 m
Espacio entre bandejas, b	0.050 m

Elaborado por: Berrones, Espinoza. 2011

Las humedades, temperaturas y calor latente del aire de secado se establecieron mediante el uso de la carta psicrométrica y las tablas de vapor, mientras que los valores tales como: volumen húmedo (Ec. 16), densidad (Ec. 17), flujo de aire inicial (Ec. 18), calor húmedo promedio (Ec. 19) y coeficiente de transferencia de calor (Ec. 20), se hallaron mediante las fórmulas siguientes:

$$Vh = (2.83 * 10^{-3} + 4.56 * 10^{-3} H_s)(T_s + 273) \quad (\text{Ec. 16})$$

Donde:

H_s = Humedad real (kg H₂O/kg a.s)

T_s = Temperatura de trabajo (°C)

$$\rho = \frac{1 + H_s}{V_h} \quad (\text{Ec. 17})$$

Donde:

H_s = Humedad real (kg H₂O/kg a.s)

V_h = Volumen húmedo (m³/kg a.s)

$$G_{inicial} = v * \rho \quad (\text{Ec. 18})$$

Donde:

v = Velocidad del aire (m/s)

ρ = Densidad (kg/m³)

$$C_s = 1.005 + 1.88(H_p) \quad (\text{Ec. 19})$$

Donde:

H_p = Humedad promedio (kg H₂O/kg a.s)

$$h = \frac{(T_s - T_w) * G * C_s * b}{(T_2 - T_w) * Lt} \quad (\text{Ec. 20})$$

Donde:

T_s = Temperatura de trabajo (°C)

T_w = Temperatura de bulbo húmedo (°C)

G = Flujo de aire seco ($\text{kg/m}^2\text{s}$)

C_s = Calor húmedo promedio ($\text{J/kg}^\circ\text{C}$)

b = Espacio entre bandejas (m)

T_2 = Temperatura de bulbo seco a humedad promedio ($^\circ\text{C}$)

L_t = Longitud de bandeja (m)

TABLA 41
CONDICIONES DEL AIRE DE SECADO

Temperatura del aire (T_i)	27°C
Temperatura de trabajo (T_s)	50°C
Velocidad del aire (v)	2.50 m/s
Temperatura de bulbo húmedo (T_w)	29.5°C
Humedad real (H_s)	0.018 kg H ₂ O/kg s.s
Humedad (H_w)	0.025 kg H ₂ O/kg s.s
Humedad promedio (H_p)	0.021 kg H ₂ O/kg s.s
Temperatura de bulbo seco a H_p (T_2)	42.5°C
Calor latente de vapor (λ_w)	2,400 kJ/kg
Volumen húmedo (V_h)	0.940 m ³ /kg
Densidad (ρ)	1.082 kg/m ³
Flujo de aire seco (G)	9,775.209 kg/m ² h
Calor húmedo promedio (C_s)	1.045 kJ/kg°C
Coeficiente de transferencia de calor (h)	319.625 W/m ² °C

Elaborado por: Berrones, Espinoza. 2011

TABLA 42
CARACTERÍSTICAS DEL ARROZ PRE-COCIDO

Densidad, ρ_s	1,020 kg/m ³
Humedad inicial, X_{Ti}	1.9121 kg H ₂ O/kg s.s
Humedad de equilibrio, X^*	0.04 kg H ₂ O/kg s.s
Humedad crítica, X_{Tc}	1.2591 kg H ₂ O/kg s.s
Humedad final, X_{Tf}	0.0464 kg H ₂ O/kg s.s
Humedad inicial real, X_i	1.8721 kg H ₂ O/kg s.s
Humedad crítica real, X_c	1.2191 kg H ₂ O/kg s.s
Humedad final real, X_f	0.0064 kg H ₂ O/kg s.s

Elaborado por: Berrones, Espinoza. 2011

Con los datos obtenidos se efectúa el cálculo del tiempo de secado en los períodos de velocidad creciente (Ec. 21) y decreciente (Ec. 22) mediante las ecuaciones:

$$t_c = \frac{x_1 * \rho_s * Lt * \lambda_w * (X_i - X_c)}{G * Cs * b * (T_s - T_w) * \left(1 - e^{\left(\frac{-h * Lt}{G * Cs * b}\right)}\right)} \quad (\text{Ec. 21})$$

$$t_d = \frac{x_1 * \rho_s * Lt * \lambda_w * X_c * \ln(X_c - X_f)}{G * Cs * b * (T_s - T_w) * \left(1 - e^{\left(\frac{-h * Lt}{G * Cs * b}\right)}\right)} \quad (\text{Ec. 22})$$

El tiempo total de secado se obtiene de la sumatoria de los períodos de velocidad constante y decreciente, siendo de 4.36 horas.

Especificaciones de carritos para el secado

El secador dispondrá de 4 carritos con las bandejas que contienen el producto a secar. Los datos para determinar el número de bandejas por carrito y las características estimadas para los mismos, se muestran a continuación:

TABLA 43
NÚMERO DE BANDEJAS POR CARRITO

Producción estimada	110 kg/h
Volumen de producto	0.1078 m ³ /h
Volumen de bandeja	0.0011 m ³
Número de bandejas	103
Número de bandejas por carrito	26

Elaborado por: Berrones, Espinoza. 2011

TABLA 44
CARACTERÍSTICAS DE LOS CARRITOS

Espesor de bandejas	0.003 m
Espacio entre bandejas	0.050 m
Espacio para ruedas	0.080 m
<i>Altura del carrito</i>	<i>1.441 m</i>
Largo de bandeja	0.700 m
Descansos laterales de bandejas	0.020 m
<i>Largo del carrito</i>	<i>0.740 m</i>
Ancho de bandejas	0.500 m
Descansos laterales de bandejas	0.020 m
<i>Ancho del carrito</i>	<i>0.540 m</i>

Elaborado por: Berrones, Espinoza. 2011

Serpentín de Calentamiento

Para definir la longitud del serpentín se estableció en primer lugar las condiciones del vapor de agua saturado que circula en el interior del serpentín y que será empleado como fuente de calentamiento, y las condiciones del aire que será el medio a calentar, en base a la tabla de propiedades físicas de gases y líquidos (Apéndice O), tal como se indica en la tabla 45 y 46 respectivamente:

TABLA 45**CONDICIONES DEL VAPOR DE AGUA SATURADO**

Temperatura (T_2)	135°C
Densidad (ρ_2)	0.4636 kg/m ³
Calor específico (C_{p2})	1.9761 kJ/kg°C
Conductividad térmica (k_2)	3.457E-05 kJ/m°C.s
Viscosidad (μ_2)	1.621E-05 kg/m.s

Elaborado por: Berrones, Espinoza. 2011

TABLA 46**CONDICIONES DEL AIRE**

Temperatura promedio (T_1)	38.50°C
Densidad (ρ_1)	1.0943 kg/m ³
Calor específico (C_{p1})	1.0067 kJ/kg°C
Conductividad térmica (k_1)	2.787E-05 kJ/m°C.s
Viscosidad (μ_1)	1.960E-05 kg/m.s

Elaborado por: Berrones, Espinoza. 2011

A continuación se determinó el valor del flujo másico del aire de acuerdo a la Ec. 23 y del calor necesario para calentarlo mediante la Ec. 24:

$$m_1 = v * Af_1 * \rho_1 \quad (\text{Ec. 23})$$

Donde:

v = Velocidad del aire (kg)

Af_1 = Área de flujo del aire (kJ/kg°C)

ρ_1 = Densidad del aire (°C)

$$Q = m_1 * Cp * \Delta T \quad (\text{Ec. 24})$$

Donde:

m_1 = Masa del aire (kg)

Cp_1 = Calor específico del aire (kJ/kg°C)

ΔT = Diferencial de temperaturas (°C)

El flujo másico del vapor se obtuvo a través de la fórmula siguiente:

$$Q = m_2 * \lambda \quad (\text{Ec. 25})$$

Donde:

m_2 = Flujo másico del vapor de agua (kg/s)

λ = Calor latente del vapor a temperatura T (kJ/kg)

Posteriormente se procedió a realizar los cálculos para determinar el coeficiente de transferencia de calor del aire y del vapor de agua:

Número de Reynolds (Re)

Para aire y vapor de agua:

$$Re = \frac{Qm * De}{Af * \mu} \quad (\text{Ec. 26})$$

Donde:

Qm = Flujo másico (kg/s)

De = Diámetro equivalente (m)

Af = Área de flujo (m²)

μ = Viscosidad (kg/m.s)

Número de Prandalt (Pr)

Para vapor de agua:

$$Pr = \frac{Cp_2 * \mu_2}{k_2} \quad (\text{Ec. 27})$$

Donde:

Cp_2 = Calor específico del vapor de agua (kJ/kg°C)

μ_2 = Viscosidad del vapor de agua (kg/m.s)

k_2 = Conductividad térmica del vapor de agua (kJ/m°C.s)

Número de Nusselt (Nu)

Para vapor de agua:

Régimen Laminar ($Re < 2100$)

$$Nu = 1.86 (Re * Pr * d/l)^{1/3} (\mu_2/\mu_p)^{0.14} \quad (\text{Ec. 28})$$

Régimen Turbulento ($Re > 2100$)

$$Nu = 0.023 * Re^{0.8} * Pr^{1/3} * (\mu_2/\mu_p)^{0.14} \quad (\text{Ec. 29})$$

Donde:

Re = Número de Reynolds

Pr = Número de Prandalt

d = Diámetro interno de la tubería (m)

l = Longitud de la tubería (m)

μ_2 = Viscosidad del vapor de agua (kg/m.s)

μ_p = Viscosidad del vapor en las paredes del serpentín (kg/m.s)

Número de Nusselt (Nu)

Para aire:

Cuando $Re < 1000$

$$Nu = 0.49 * Re^{0.5} \quad (\text{Ec. 30})$$

Cuando $Re > 1000$

$$Nu = 0.24 * Re^{0.6} \quad (\text{Ec. 31})$$

Los coeficientes de transferencia de calor del aire (h_o) y del vapor (h_i), se definieron de acuerdo a la ecuación:

$$h = \frac{Nu * k}{De} \quad (\text{Ec. 32})$$

Donde:

Nu = Número de Nusselt

k = Conductividad térmica (kJ/m°C.s)

De = Diámetro equivalente (m)

En el caso del coeficiente de transferencia de calor del vapor de agua (h_i), se debe corregir este valor mediante la ecuación siguiente:

$$h_{io} = h_i * \frac{D_i}{D_o} \quad (\text{Ec. 33})$$

Donde:

D_i = Diámetro interno de la tubería (m)

D_o = Diámetro externo de la tubería (m)

Con estos datos se efectuaron los cálculos del coeficiente global de transferencia de calor limpio (U_c) y del coeficiente de transferencia de calor sucio (U_d), como se muestra a continuación:

$$U_c = \frac{h_{io} * h_o}{h_{io} + h_o} \quad (\text{Ec. 34})$$

$$\frac{1}{U_d} = \frac{1}{U_c} + R_d \quad (\text{Ec. 35})$$

Donde:

R_d = Factor de obstrucción ($\text{m}^2\text{C.s/kJ}$)

El área de transferencia de calor (A_{Tc}), se halló a través de la ecuación siguiente:

$$Q = A_{Tc} * U_D * \Delta T_v \quad (\text{Ec. 36})$$

Donde:

Q = Calor necesario para calentar el aire (kJ/s)

U_D = Coeficiente global de transferencia de calor sucio ($\text{kJ/m}^2\text{°C.s}$)

ΔT_v = Diferencial verdadero de temperaturas (°C)

Finalmente, la longitud estimada para el serpentín de calentamiento del secador (L) se estableció por medio de la Ec. 37 y el número de vueltas del serpentín (Nv) según la Ec. 38:

$$L = \frac{A_{Tc}}{\pi * D_e} \quad (\text{Ec. 37})$$

Donde:

A_{Tc} = Área de transferencia de calor (m^2)

D_e = Diámetro externo (m)

$$Nv = \frac{L}{L_i} \quad (\text{Ec. 38})$$

Donde:

L = Longitud total del serpentín (m)

L_i = Longitud inicial del serpentín (m)

En las tablas siguientes se muestran los datos necesarios para el cálculo del serpentín de calentamiento y las características calculadas para el mismo:

TABLA 47

DATOS PARA CALCULAR LONGITUD DEL SERPENTÍN

Flujo másico del aire (m_1)	3.003 kg/s
Coeficiente de transferencia de calor del aire (h_o)	0.0309 kJ/m ² °C.s
Flujo másico del vapor (m_2)	0.032 kg/s
Coeficiente de transferencia de calor del vapor de agua (h_i)	0.424 kJ/m ² °C.s
Calor necesario para calentar aire (Q)	69.534 kJ/s
Área de transferencia de calor (A_{Tc})	236.94 m ²

Elaborado por: Berrones, Espinoza. 2011

TABLA 48**CARACTERÍSTICAS DEL SERPENTÍN**

Longitud de serpentín (L)	47.41 m
Longitud inicial por tubo (Li)	0.9 m
Número de vueltas del serpentín (Nv)	53
Altura entre el techo y serpentín	0.15 m
Distancia entre tubos	0.03 m

Elaborado por: Berrones, Espinoza. 2011

Ventilador industrial

El área de ventilación en el secador tiene la finalidad de generar aire frío, para lo cual se requiere conocer las especificaciones técnicas para calcular el número de ventiladores requeridos en el proceso:

TABLA 49
ESPECIFICACIONES DEL VENTILADOR INDUSTRIAL

Medida	16"
Número de hélices	3
Hélice de metal	45*45
Motor sellado:	120 V
	1650 rpm
	200 W
	0.27 hp
Flujo de aire	1900 ft ³ /min

Fuente: Importadora Montero S.A, 2007

TABLA 50
CÁLCULO DEL NÚMERO DE VENTILADORES

Velocidad del aire de secado	2.50 m/s
Flujo volumétrico de aire en el secador	2.744 m ³ /s
Flujo volumétrico de aire por ventilador	0.896 m ³ /s
# de ventiladores	3

Elaborado por: Berrones, Espinoza. 2011

Características del secador de bandejas

En base a los cálculos efectuados se determinó las características que debe tener el secador industrial para el óptimo funcionamiento de la línea de producción:

El secador construido en acero inoxidable, de estructura rectangular, contará con 4 carritos (Tabla 44) en su interior que facilitarán la carga y descarga del producto contenido en las 26 bandejas (Tabla 40) que cada uno deberá transportar durante las 4.36 horas en que se llevará a cabo el proceso.

El serpentín de calentamiento de $\frac{3}{4}$ " cédula 40 a través de la cual circulará el vapor de agua saturado, indispensable para calentar el aire a emplearse en el secado, tendrá una longitud de 47.41 m (Tabla 48).

Los ventiladores industriales requeridos para generar aire frío dentro del secador serán un total de 3, cuyas especificaciones se aprecian en la Tabla 49.

Se dispondrá de una malla de 1 mm de espesor entre los carritos y el serpentín como un medio de protección para los operarios, evitando accidentes durante el proceso.

Las dimensiones calculadas para el secador se muestran en la tabla 51 y en la Fig. 4.6 se expone el diseño propuesto:

TABLA 51
DIMENSIONES DEL SECADOR

Altura entre el techo y carrito	0.150 m
Altura total del carrito	1.441 m
<i>Altura del secador</i>	<i>1.591 m</i>
Ancho entre paredes y carritos	0.150 m
Ancho del carrito	0.540 m
<i>Ancho del secador</i>	<i>0.690 m</i>
Largo del carrito	0.740 m
Distancia entre pared y carrito	0.080 m
Distancia entre carritos	0.060 m
Distancia total de carritos	3.220 m
Distancia entre carritos y malla protectora	1.580 m
Distancia de malla y serpentín	0.600 m
Distancia del serpentín	1.000 m
Distancia entre serpentín y ventilador	0.800 m
Distancia del ventilador	0.600 m
Distancia entre ventilador y cara perforada	0.600 m
<i>Largo del secador</i>	<i>8.400 m</i>

Elaborado por: Berrones, Espinoza. 2011

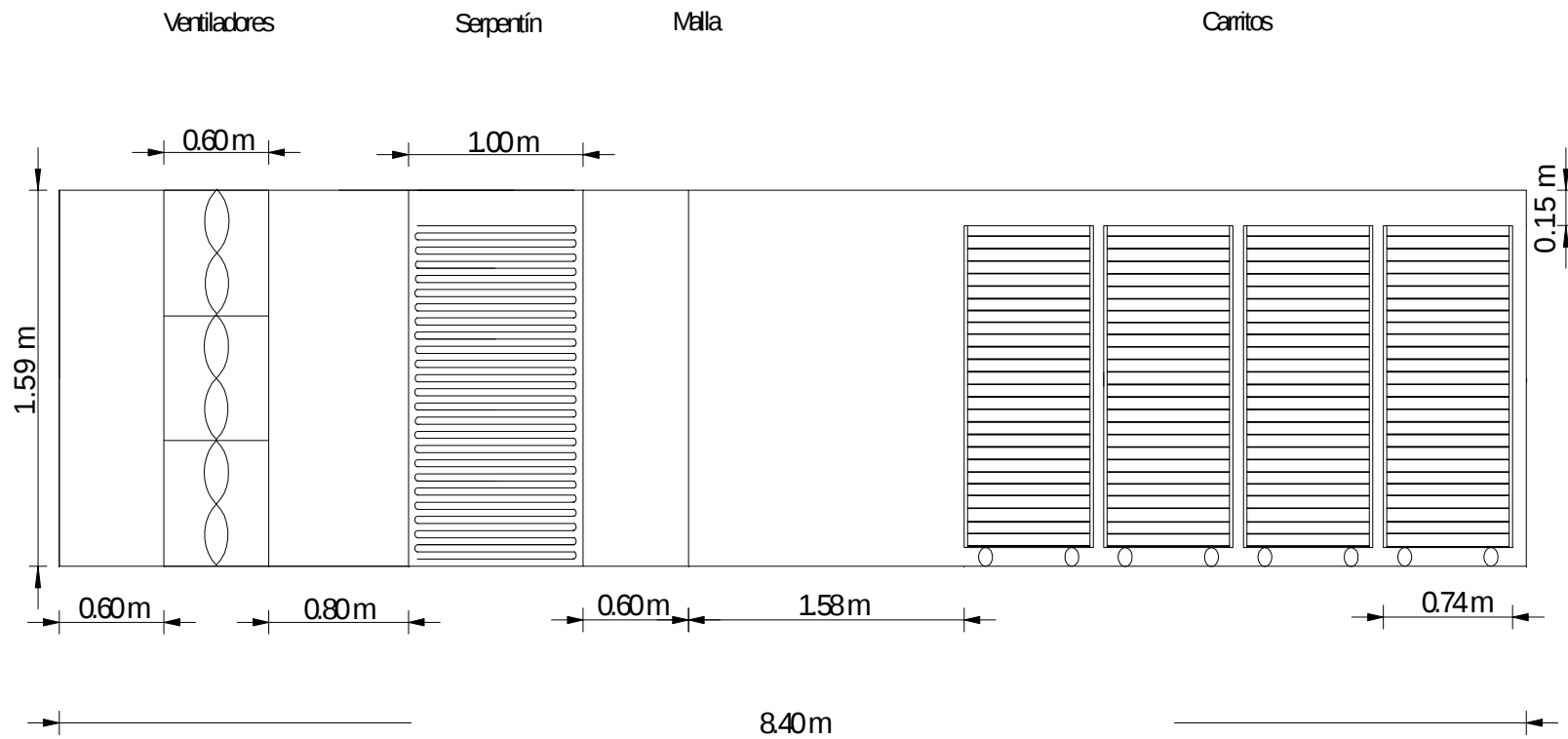


Fig. 4.6 Vista lateral del secador de bandejas propuesto

CAPÍTULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

1. Mediante el desarrollo de esta tesis se logró establecer las características óptimas del arroz previo al proceso de secado, a través de un diseño experimental, que partió de pruebas sensoriales analíticas con jueces entrenados. Siendo la precocción en proporción 5:1 la recomendada para obtener un grano de textura blanda, bajo grado de apelmazamiento y ligeramente gelatinizado; esta última propiedad resulta de gran importancia pues contribuirá a que el agua contenida en el producto sea removida con facilidad durante el secado, reduciendo el tiempo de

operación y mejorando el rendimiento al rehidratarlo debido a que los granos adquieren mayor poder de absorción.

2. Al realizar las pruebas sensoriales con los consumidores no entrenados y mediante un análisis por medio de la T de student, se estableció con un 5% de significancia que existe diferencia entre las fórmulas #9 y #10, concluyendo que la primera fórmula obtuvo un mayor porcentaje de aceptación.
3. En relación al estudio de estabilidad, se conoce que la humedad es el principal factor de deterioro de los productos secos, siendo la textura la primera característica afectada en este caso, por lo que la predicción de vida útil se calculó considerando el uso de un empaque trilaminado compuesto por poliéster-polipropileno-polietileno, el cual posee una baja permeabilidad al vapor de agua, para almacenar el producto en condiciones ambientales extremas, determinando que las características organolépticas del mismo se mantendrán inalterables por un período de 13 meses.

Recomendaciones

1. Al efectuar la rehidratación del arroz con leche se deben controlar parámetros tales como: el tiempo y la potencia del microondas, esto influye directamente en las características organolépticas del producto final debido a que el microondas posee un magnetrón con una potencia de trabajo determinada; al regular esta potencia se controlará el ciclo de trabajo o ciclo de encendido, esto es indispensable para no sobrecalentar el producto, permitiendo una conducción total del calor absorbido y uniformidad de temperatura en el alimento.

2. Se recomienda realizar pruebas de rehidratación del producto terminado empleando el método tradicional de cocción y evaluar sus características sensoriales, además del tiempo de proceso y el rendimiento obtenido, para compararlo con los resultados del método propuesto y poder definir el procedimiento más factible.

APÉNDICES

APÉNDICE A

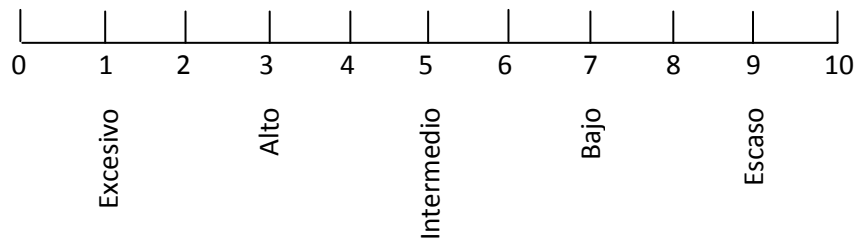
Fichas de evaluación sensorial del arroz pre-cocido

Ficha de Evaluación Sensorial

Nombre: _____ Fecha: _____

Instrucciones: Pruebe las muestras de izquierda a derecha e indique su grado de apelmazamiento, de acuerdo con el número en la escala siguiente:

Muestras	375	689	190	451	267
Apelmazamiento					

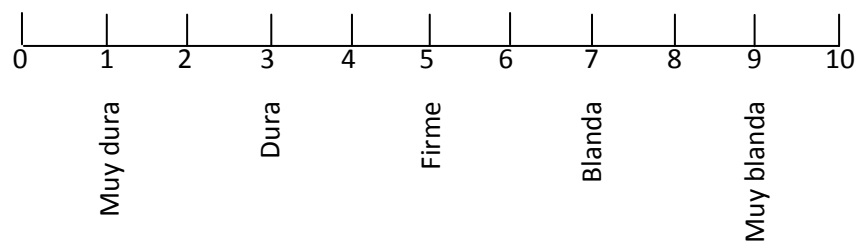


Ficha de Evaluación Sensorial

Nombre: _____ Fecha: _____

Instrucciones: Pruebe las muestras de izquierda a derecha e indique su grado de textura, de acuerdo con el número en la escala siguiente:

Muestras	375	689	190	451	267
Textura					



APÉNDICE B

Carta Psicrométrica



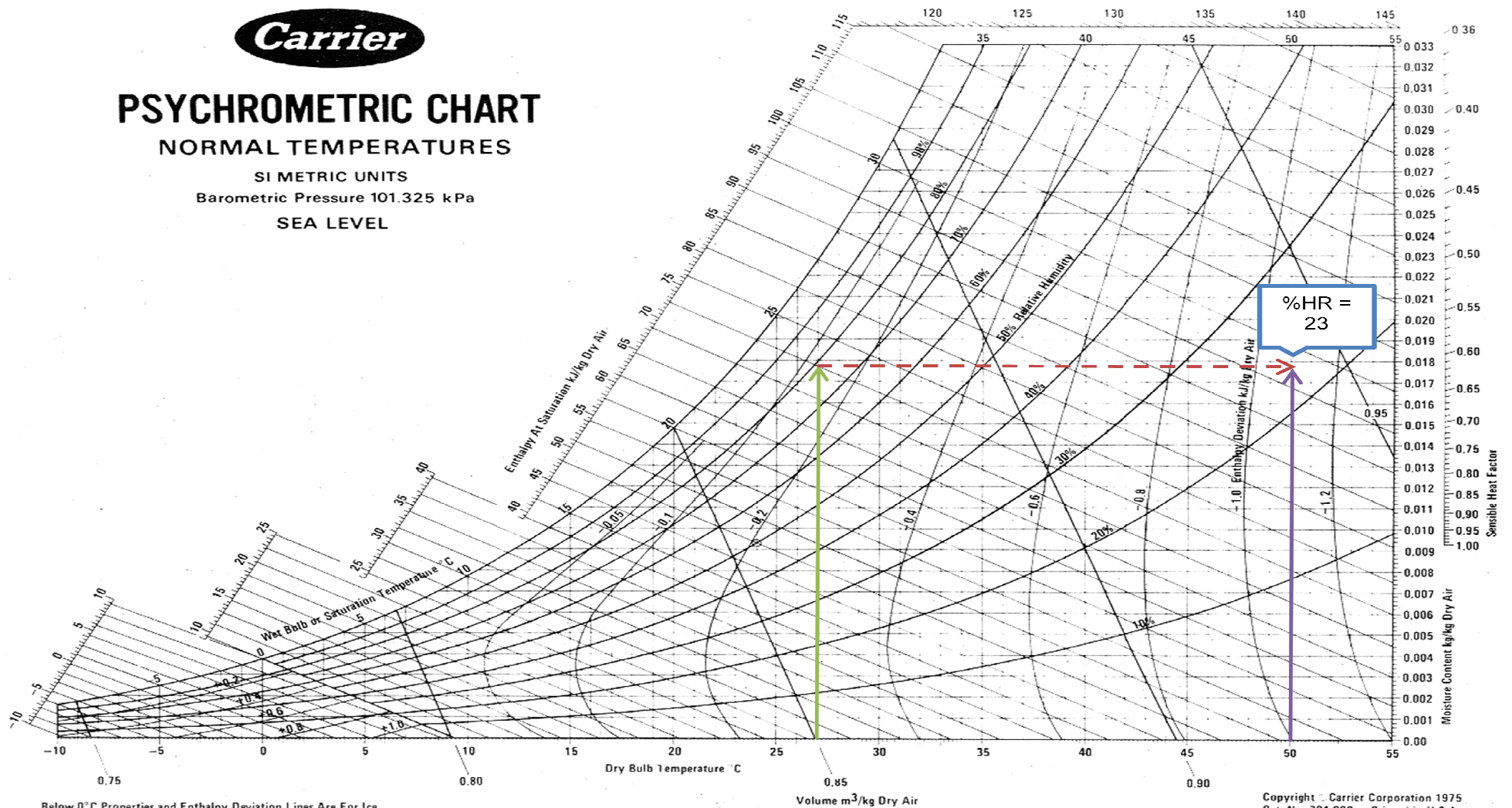
PSYCHROMETRIC CHART

NORMAL TEMPERATURES

SI METRIC UNITS

Barometric Pressure 101.325 kPa

SEA LEVEL

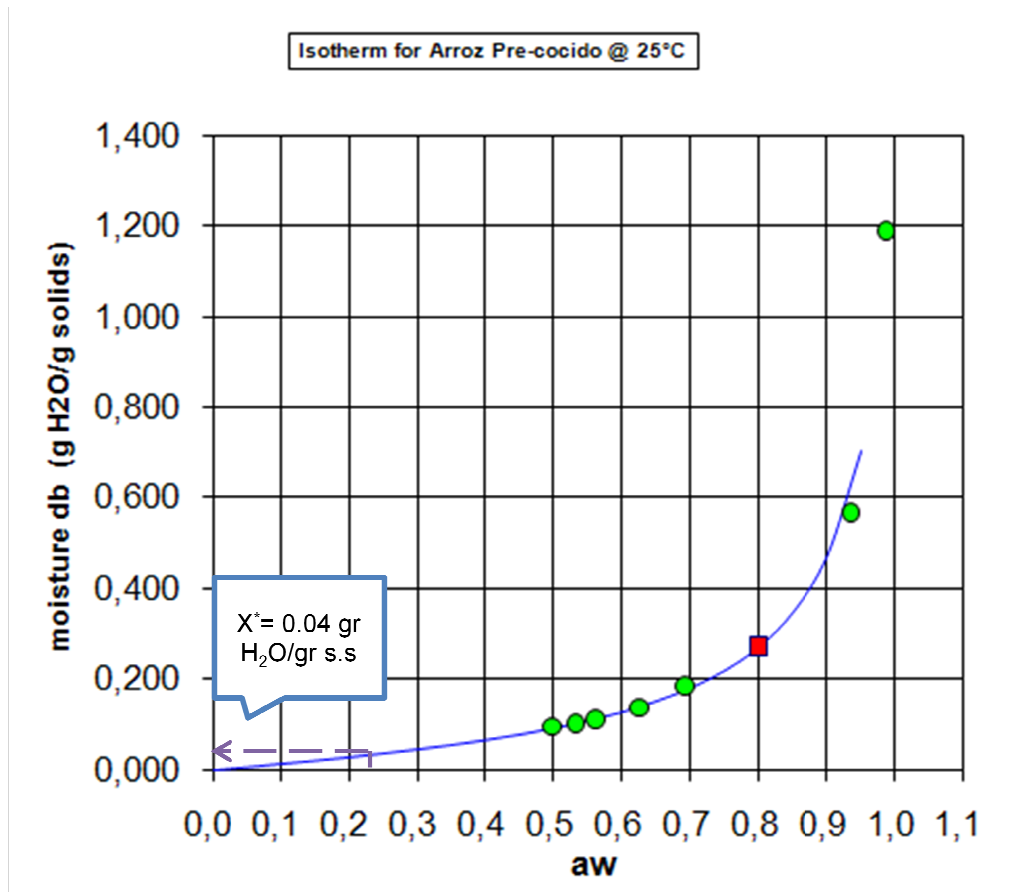


Below 0°C Properties and Enthalpy Deviation Lines Are For Ice

Copyright © Carrier Corporation 1975
Cat. No. 794-002 Printed in U.S.A.

APÉNDICE C

Isoterma de Desorción del Arroz Pre-cocido



APÉNDICE D

Cálculos de Velocidad de Secado de Arroz Pre-cocido

<i>Tiempo (min)</i>	<i>Peso (gr)</i>	<i>Humedad base seca (Xt= gr H₂O/gr s.s)</i>	<i>Humedad libre (X= gr H₂O/gr s.s)</i>	<i>Humedad media</i>	<i>ΔX</i>	<i>ΔT (min)</i>	<i>Velocidad de secado (R= kg/h.m²)</i>
0	1210.9	1.9121	1.8721	1.8444	0.0548	-5	2.7143
5	1187.9	1.8567	1.8167	1.7896	0.0587	-5	2.9048
10	1165.3	1.8024	1.7624	1.7309	0.0654	-5	3.2381
15	1139.1	1.7394	1.6994	1.6655	0.0649	-5	3.2143
20	1110.9	1.6716	1.6316	1.6005	0.0620	-5	3.0714
25	1085.1	1.6095	1.5695	1.5385	0.0617	-5	3.0536
30	1059.3	1.5475	1.5075	1.4768	0.0592	-5	2.9286
35	1033.8	1.4862	1.4462	1.4177	0.0569	-5	2.8155
40	1010.1	1.4292	1.3892	1.3608	0.0569	-5	2.8155
45	986.5	1.3724	1.3324	1.3039	0.0566	-5	2.8036
50	962.8	1.3154	1.2754	1.2473	0.0564	-5	2.7917
55	939.4	1.2591	1.2191	1.1909	0.0559	-5	2.7679

60	915.9	1.2026	1.1626	1.1350	0.0530	-5	2.6250
65	892.9	1.1473	1.1073	1.0819	0.0509	-5	2.5179
70	871.8	1.0966	1.0566	1.0311	0.0511	-5	2.5298
75	850.6	1.0456	1.0056	0.9800	0.0498	-5	2.4643
80	829.3	0.9944	0.9544	0.9302	0.0481	-5	2.3810
85	809.2	0.9460	0.9060	0.8821	0.0467	-5	2.3095
90	789.3	0.8982	0.8582	0.8354	0.0457	-5	2.2619
95	770.4	0.8527	0.8127	0.7897	0.0467	-5	2.3095
100	751.3	0.8068	0.7668	0.7431	0.0459	-5	2.2738
105	731.6	0.7594	0.7194	0.6972	0.0427	-5	2.1131
110	713.1	0.7149	0.6749	0.6545	0.0399	-5	1.9762
115	696.1	0.6740	0.6340	0.6145	0.0410	-5	2.0298
120	679.9	0.6351	0.5951	0.5735	0.0414	-5	2.0476
125	662.0	0.5920	0.5520	0.5322	0.0410	-5	2.0298
130	645.5	0.5523	0.5123	0.4912	0.0411	-5	2.0357
135	627.9	0.5100	0.4700	0.4501	0.0392	-5	1.9405
140	611.3	0.4701	0.4301	0.4109	0.0366	-5	1.8095

145	595.3	0.4316	0.3916	0.3743	0.0344	-5	1.7024
150	580.9	0.3970	0.3570	0.3399	0.0323	-5	1.6012
155	566.7	0.3628	0.3228	0.3076	0.0305	-5	1.5119
160	554.0	0.3323	0.2923	0.2770	0.0298	-5	1.4762
165	541.3	0.3018	0.2618	0.2472	0.0275	-5	1.3631
170	529.2	0.2727	0.2327	0.2197	0.0250	-5	1.2381
175	518.4	0.2467	0.2067	0.1947	0.0228	-5	1.1310
180	508.4	0.2226	0.1826	0.1718	0.0206	-5	1.0179
185	499.4	0.2010	0.1610	0.1513	0.0179	-5	0.8869
190	491.3	0.1815	0.1415	0.1333	0.0155	-5	0.7679
195	484.5	0.1652	0.1252	0.1178	0.0142	-5	0.7024
200	478.4	0.1505	0.1105	0.1036	0.0126	-5	0.6250
205	472.7	0.1368	0.0968	0.0910	0.0106	-5	0.5238
210	467.9	0.1252	0.0852	0.0804	0.0091	-5	0.4524
215	463.9	0.1156	0.0756	0.0713	0.0081	-5	0.3988
220	460.3	0.1070	0.0670	0.0632	0.0067	-5	0.3333
225	457.2	0.0995	0.0595	0.0565	0.0057	-5	0.2798

230	454.7	0.0935	0.0535	0.0508	0.0051	-5	0.2500
235	452.5	0.0882	0.0482	0.0458	0.0043	-5	0.2143
240	450.5	0.0834	0.0434	0.0415	0.0038	-5	0.1905
245	448.9	0.0795	0.0395	0.0376	0.0031	-5	0.1548
250	447.3	0.0757	0.0357	0.0345	0.0029	-5	0.1429
255	446.3	0.0733	0.0333	0.0316	0.0028	-5	0.1369
260	444.9	0.0699	0.0299	0.0288	0.0023	-5	0.1131
265	444.0	0.0678	0.0278	0.0266	0.0020	-5	0.1012
270	443.0	0.0654	0.0254	0.0245	0.0017	-5	0.0833
275	442.3	0.0637	0.0237	0.0228	0.0018	-5	0.0893
280	441.6	0.0620	0.0220	0.0210	0.0019	-5	0.0952
285	440.8	0.0601	0.0201	0.0191	0.0014	-5	0.0714
290	440.0	0.0581	0.0181	0.0177	0.0012	-5	0.0595
295	439.6	0.0572	0.0172	0.0165	0.0011	-5	0.0536
300	439.0	0.0557	0.0157	0.0154	0.0008	-5	0.0417
305	438.7	0.0550	0.0150	0.0145	0.0007	-5	0.0357
310	438.3	0.0541	0.0141	0.0138	0.0011	-5	0.0536

315	438.1	0.0536	0.0136	0.0127	0.0012	-5	0.0595
320	437.4	0.0519	0.0119	0.0115	0.0006	-5	0.0298
325	437.1	0.0512	0.0112	0.0109	0.0005	-5	0.0238
330	436.9	0.0507	0.0107	0.0104	0.0005	-5	0.0238
335	436.7	0.0502	0.0102	0.0100	0.0005	-5	0.0238
340	436.5	0.0497	0.0097	0.0095	0.0006	-5	0.0298
345	436.3	0.0492	0.0092	0.0089	0.0006	-5	0.0298
350	436.0	0.0485	0.0085	0.0083	0.0007	-5	0.0357
355	435.8	0.0480	0.0080	0.0076	0.0006	-5	0.0298
360	435.4	0.0471	0.0071	0.0070	0.0004	-5	0.0179
365	435.3	0.0468	0.0068	0.0066	0.0002	-5	0.0119
370	435.1	0.0464	0.0064	0.0064		-5	0.0000
375	435.1	0.0464	0.0064				

APÉNDICE E

Calificaciones otorgadas por los jueces a las muestras de arroz precocido.- Evaluación de apelmazamiento

Jueces	Proporciones				
	2:1	3:1	4:1	5:1	6:1
1	2	1	3	7	8
2	1	3	3	7	9
3	1	2	3	7	9
4	1	1	3	7	8
5	1	1	3	7	8
6	1	1	3	7	9
7	1	1	3	7	8
8	1	1	3	7	9
9	2	3	3	7	9
10	1	1	3	7	9
11	1	3	3	7	8
12	1	3	3	7	9
13	2	1	3	7	9
14	2	2	3	7	8
15	1	1	3	7	8

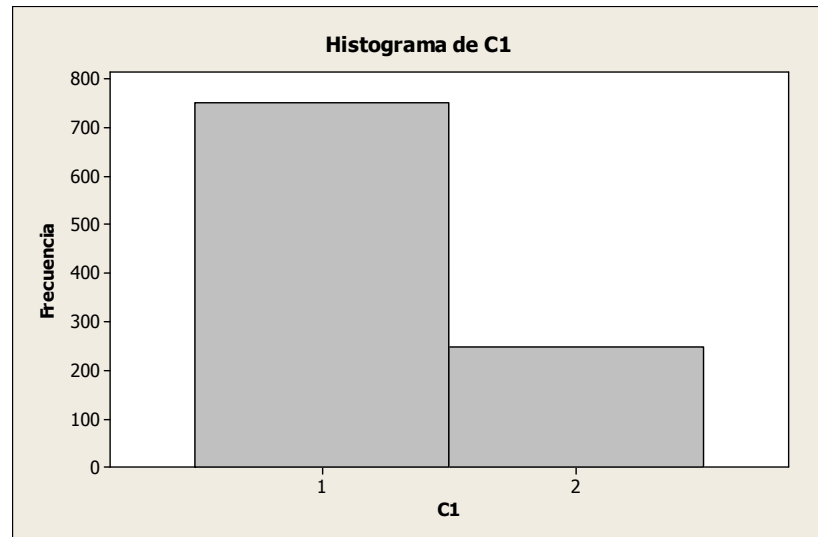
Calificaciones otorgadas por los jueces a las muestras de arroz precocido.- Evaluación de textura

Jueces	Proporciones				
	2:1	3:1	4:1	5:1	6:1
1	1	2	5	7	8
2	1	2	5	8	9
3	1	3	5	8	9
4	1	3	5	7	8
5	1	3	5	8	8
6	1	3	5	7	9
7	2	3	5	7	8
8	1	3	5	8	9
9	1	3	5	7	9
10	1	3	4	7	9
11	1	3	5	7	8
12	2	2	5	8	9
13	1	3	4	7	9
14	1	2	4	7	8
15	1	3	4	8	8

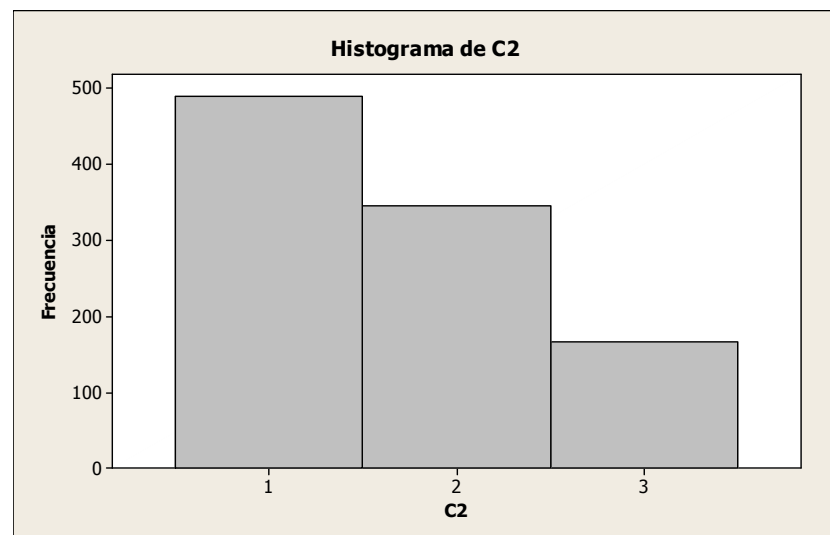
APÉNDICE F

Histogramas de frecuencia

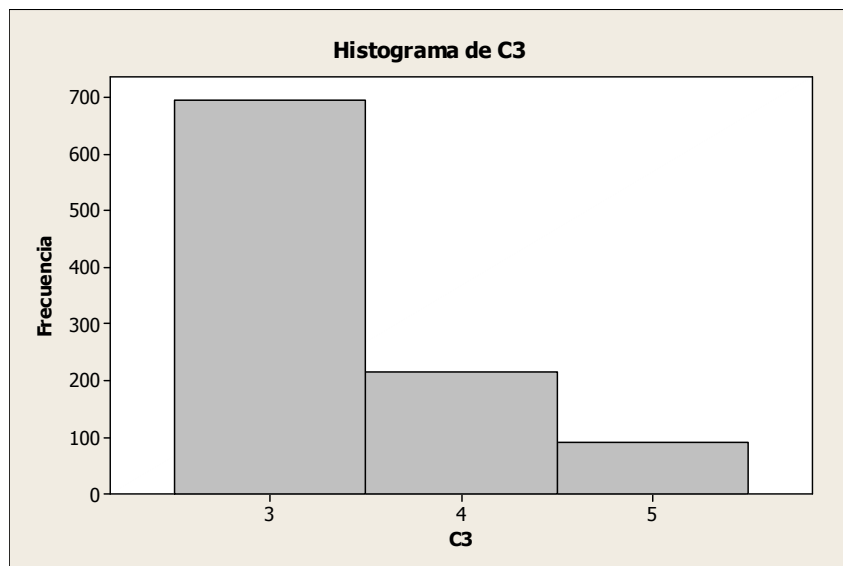
Prueba C1 = Evaluación de apelmazamiento en pre-cocción 2:1



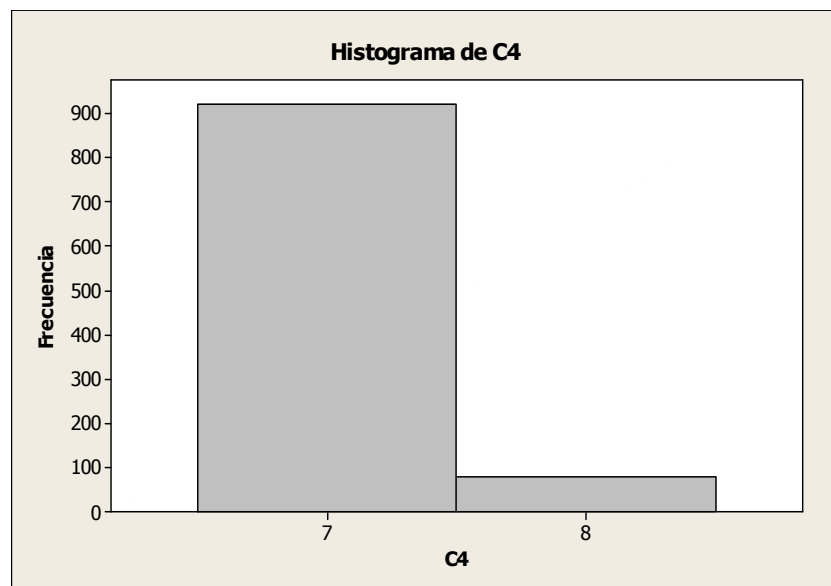
Prueba C2 = Evaluación de apelmazamiento en pre-cocción 3:1



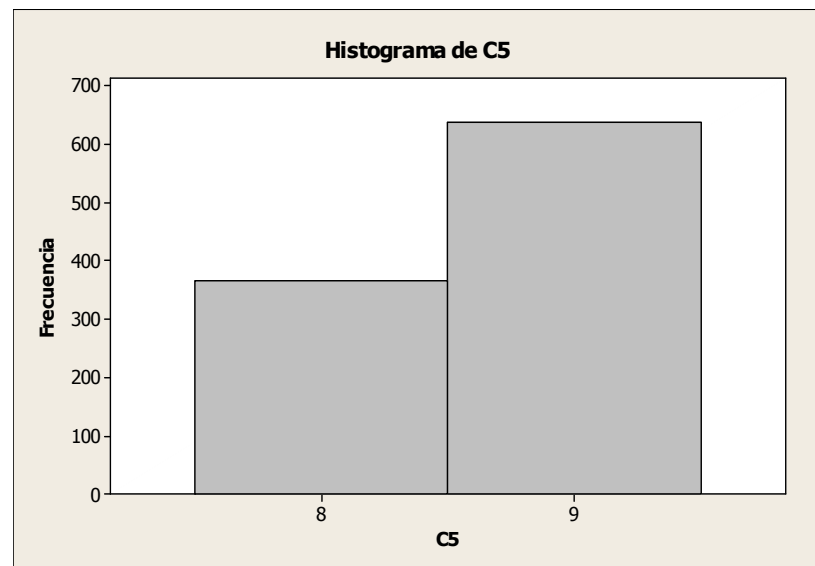
Prueba C3 = Evaluación de apelmazamiento en pre-cocción 4:1



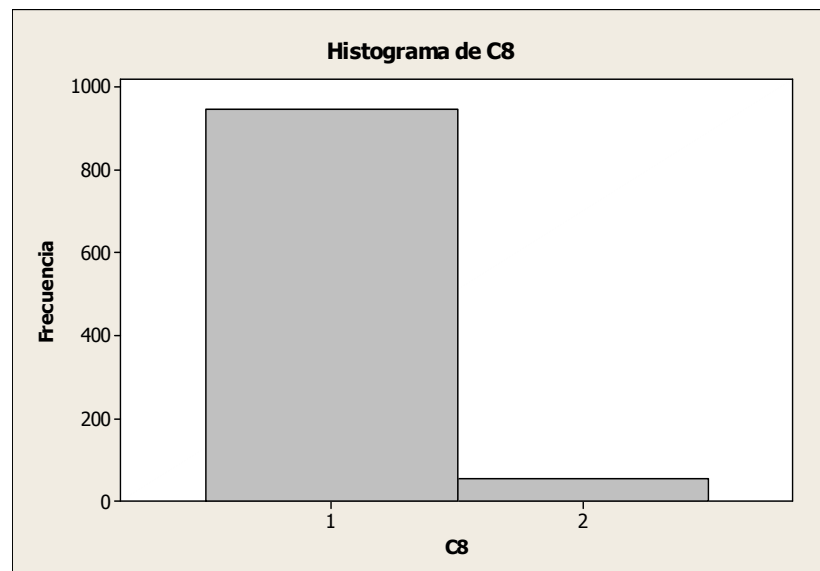
Prueba C4 = Evaluación de apelmazamiento en pre-cocción 5:1



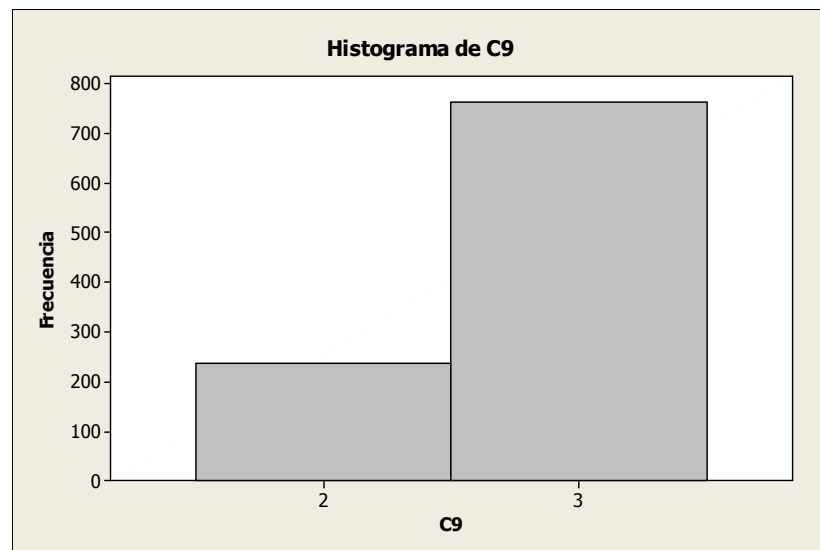
Prueba C5 = Evaluación de apelmazamiento en pre-cocción 6:1



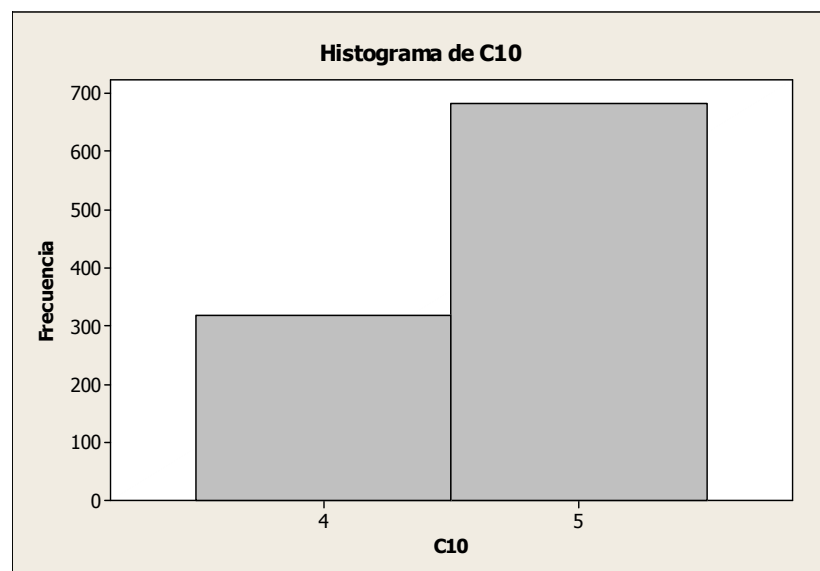
Prueba C8 = Evaluación de textura en pre-cocción 2:1



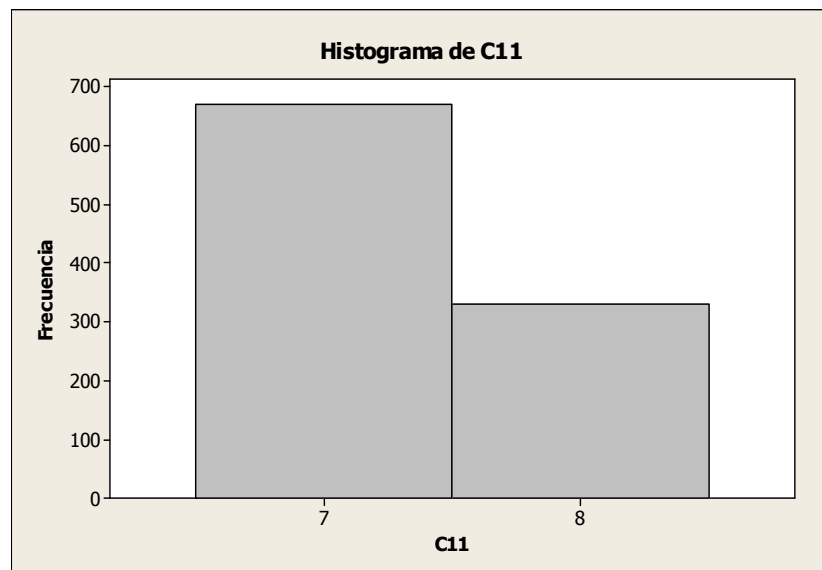
Prueba C9 = Evaluación de textura en pre-cocción 3:1



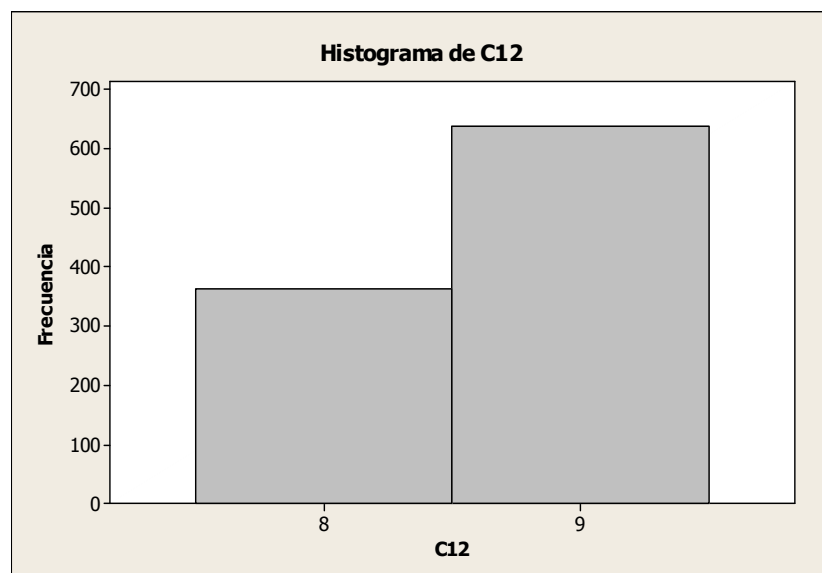
Prueba C10 = Evaluación de textura en pre-cocci3n 4:1



Prueba C11 = Evaluación de textura en pre-cocción 5:1



Prueba C12 = Evaluación de textura en pre-cocción 6:1



APÉNDICE G

Prueba de signos

- **Análisis de apelmazamiento:**

Prueba de signos para mediana: C4

Prueba del signo de la mediana = 8,000 vs. > 8,000

	N	Debajo	Igual	Arriba	P	Mediana
C4	1000	920	80	0	1,0000	7,000

Prueba de signos para mediana: C5

Prueba del signo de la mediana = 8,000 vs. < 8,000

	N	Debajo	Igual	Arriba	P	Mediana
C5	1000	0	364	636	1,0000	9,000

- **Análisis de textura:**

Prueba de signos para mediana: C11

Prueba del signo de la mediana = 8,000 vs. > 8,000

	N	Debajo	Igual	Arriba	P	Mediana
C11	1000	671	329	0	1,0000	7,000

Prueba de signos para mediana: C12

Prueba del signo de la mediana = 8,000 vs. < 8,000

	N	Debajo	Igual	Arriba	P	Mediana
C12	1000	0	363	637	1,0000	9,000

APÉNDICE H

ANOVA de un sólo factor

ANOVA unidireccional: C4; C11

Fuente	GL	SC	CM	F
Factor	1	31,000	31,000	210,42
Error	1998	294,359	0,147	
Total	1999	325,359		

$S = 0,3838$ $R\text{-cuad.} = 9,53\%$ $R\text{-cuad. (ajustado)} = 9,48\%$

Nivel	N	Media	Desv.Est.	ICs de 95% individuales para la media basados en Desv.Est. agrupada
C4	1000	7,0800	0,2714	(--*--)
C11	1000	7,3290	0,4701	(--*--)

-----+-----+-----+-----+-----
7,120 7,200 7,280 7,360

Desv.Est. agrupada = 0,3838

Agrupar información utilizando el método de Tukey

	N	Media	Agrupación
C11	1000	7,3290	A
C4	1000	7,0800	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95%
Todas las comparaciones en parejas

Nivel de confianza individual = 95,00%

Se resto C4 a:

	Inferior	Centro	Superior	----	+	----	+	----	+	----	+	----
C11	0,2153	0,2490	0,2827									(--*--)
				----	+	----	+	----	+	----	+	----
					0,000		0,080		0,160		0,240	

ANOVA unidireccional: C4; C12

Fuente	GL	SC	CM	F
Factor	1	1212,125	1212,125	7944,81
Error	1998	304,831	0,153	
Total	1999	1516,956		

S = 0,3906 R-cuad. = 79,91% R-cuad.(ajustado) = 79,90%

				ICs de 95% individuales para la media basados en Desv.Est. agrupada			
Nivel	N	Media	Desv.Est.	-----+-----+-----+-----+			
C4	1000	7,0800	0,2714	(*			
C12	1000	8,6370	0,4811			(*	
				-----+-----+-----+-----+			
				7,50	8,00	8,50	9,00

Desv.Est. agrupada = 0,3906

Agrupar información utilizando el método de Tukey

	N	Media	Agrupación
C12	1000	8,6370	A
C4	1000	7,0800	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95%
Todas las comparaciones en parejas

Nivel de confianza individual = 95,00%

Se resto C4 a:

	Inferior	Centro	Superior	-+-----+-----+-----+-----+			
C12	1,5227	1,5570	1,5913				(*)
				-+-----+-----+-----+-----+			
				0,00	0,50	1,00	1,50

ANOVA unidireccional: C5; C11

Fuente	GL	SC	CM	F
Factor	1	854,124	854,124	3773,34
Error	1998	452,263	0,226	
Total	1999	1306,387		

S = 0,4758 R-cuad. = 65,38% R-cuad.(ajustado) = 65,36%

				ICs de 95% individuales para la media basados en Desv.Est. agrupada			
Nivel	N	Media	Desv.Est.	+-----+-----+-----+-----			
C5	1000	8,6360	0,4814	(*)			
C11	1000	7,3290	0,4701	*)			
				+-----+-----+-----+-----			
				7,35	7,70	8,05	8,40

Desv.Est. agrupada = 0,4758

Agrupar información utilizando el método de Tukey

	N	Media	Agrupación
C5	1000	8,6360	A
C11	1000	7,3290	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95%
Todas las comparaciones en parejas

Nivel de confianza individual = 95,00%

Se resto C5 a:

	Inferior	Centro	Superior	-----+-----+-----+-----+
C11	-1,3487	-1,3070	-1,2653	(- *)
				-----+-----+-----+-----+
				-1,05 -0,70 -0,35 0,00

ANOVA unidireccional: C5; C12

Fuente	GL	SC	CM	F
Factor	1	0,001	0,001	0,00
Error	1998	462,735	0,232	
Total	1999	462,735		

S = 0,4812 R-cuad. = 0,00% R-cuad.(ajustado) = 0,00%

				ICs de 95% individuales para la media basados en Desv.Est. agrupada
Nivel	N	Media	Desv.Est.	
C5	1000	8,6360	0,4814	-+-----+-----+-----+-----
C12	1000	8,6370	0,4811	(-----*-----)
				(-----*-----)
				-+-----+-----+-----+-----
				8,608 8,624 8,640 8,656

Desv.Est. agrupada = 0,4812.....varianza las carct. Están mas dispersas.

Agrupar información utilizando el método de Tukey

	N	Media	Agrupación
C12	1000	8,6370	A
C5	1000	8,6360	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95%
Todas las comparaciones en parejas

Nivel de confianza individual = 95,00%

Se resto C5 a:

	Inferior	Centro	Superior	
C12	-0,0412	0,0010	0,0432	-+-----+-----+-----+-----
				(-----*-----)
				-+-----+-----+-----+-----
				-0,025 0,000 0,025 0,050

APÉNDICE I

Especificaciones del Microondas

Modelo	EMC171D1PW
Lamp	20W 120 V- 60 HZ
Watt	1050 W
Magnetron	2450 MHZ
Microout Put	700 W

Vista frontal



Panel de control



APÉNDICE J

Ficha de Evaluación Sensorial: Escala Hedónica de 3 Puntos

[illegible]

APÉNDICE K

Calificaciones otorgadas por los jueces para las muestras de arroz con
leche

Jueces (N)	Códigos		D	D ²
	231 (M1)	657 (M2)		
1	3	1	2	4
2	3	1	2	4
3	3	1	2	4
4	3	1	2	4
5	3	1	2	4
6	3	1	2	4
7	3	1	2	4
8	3	1	2	4
9	3	2	1	1
10	3	2	1	1
11	3	2	1	1
12	3	2	1	1
13	3	2	1	1
14	3	1	2	4
15	3	1	2	4
16	3	1	2	4

17	3	1	2	4
18	3	2	1	1
19	3	2	1	1
20	3	2	1	1
21	3	2	1	1
22	3	2	1	1
23	3	2	1	1
24	3	2	1	1
25	3	2	1	1
26	3	2	1	1
27	3	2	1	1
28	3	2	1	1
29	2	2	0	0
30	2	1	1	1
Total	88	47	41	65
d	2,93	1,57		

APÉNDICE L

Tabla estadística T de student

220 APÉNDICE III. TABLAS ESTADÍSTICAS

TABLA C. *Continuación*

Nivel de significancia (α):

Una Cola

	0.25	0.20	0.15	0.10	0.05	0.025	0.01	0.005	0.0005
	Dos Colas								
g.l.	0.50	0.40	0.30	0.20	0.10	0.05	0.02	0.01	0.001
23	.685	.858	1.060	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807	3.767
24	.685	.857	1.059	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797	3.745
25	.684	.856	1.058	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787	3.725
26	.684	.856	1.058	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779	3.707
27	.684	.855	1.057	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771	3.690
28	.683	.855	1.056	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763	3.674
29	.683	.854	1.055	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756	3.659
30	.683	.854	1.055	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750	3.646
40	.681	.851	1.050	1.303	1.684	2.021	2.423	2.704	3.551
60	.679	.848	1.046	1.296	1.671	2.000	2.390	2.660	3.460
120	.677	.845	1.041	1.289	1.658	1.980	2.358	2.617	3.373
∞	.674	.842	1.036	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576	3.291

APÉNDICE M

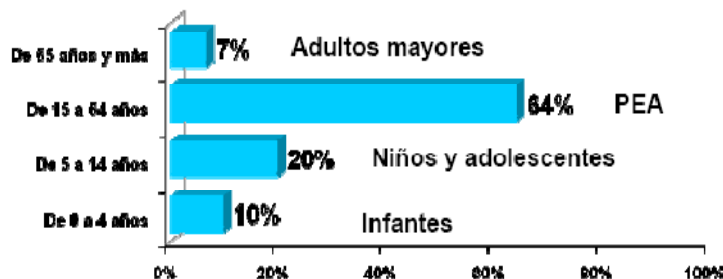
Indicadores de Población



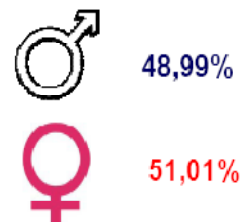
Indicadores de Población

Población estimada a 2009: 2'787.738 personas

DISTRIBUCIÓN POR EDAD



Por sexo



POBLACIÓN POR ÁREA GEOGRÁFICA

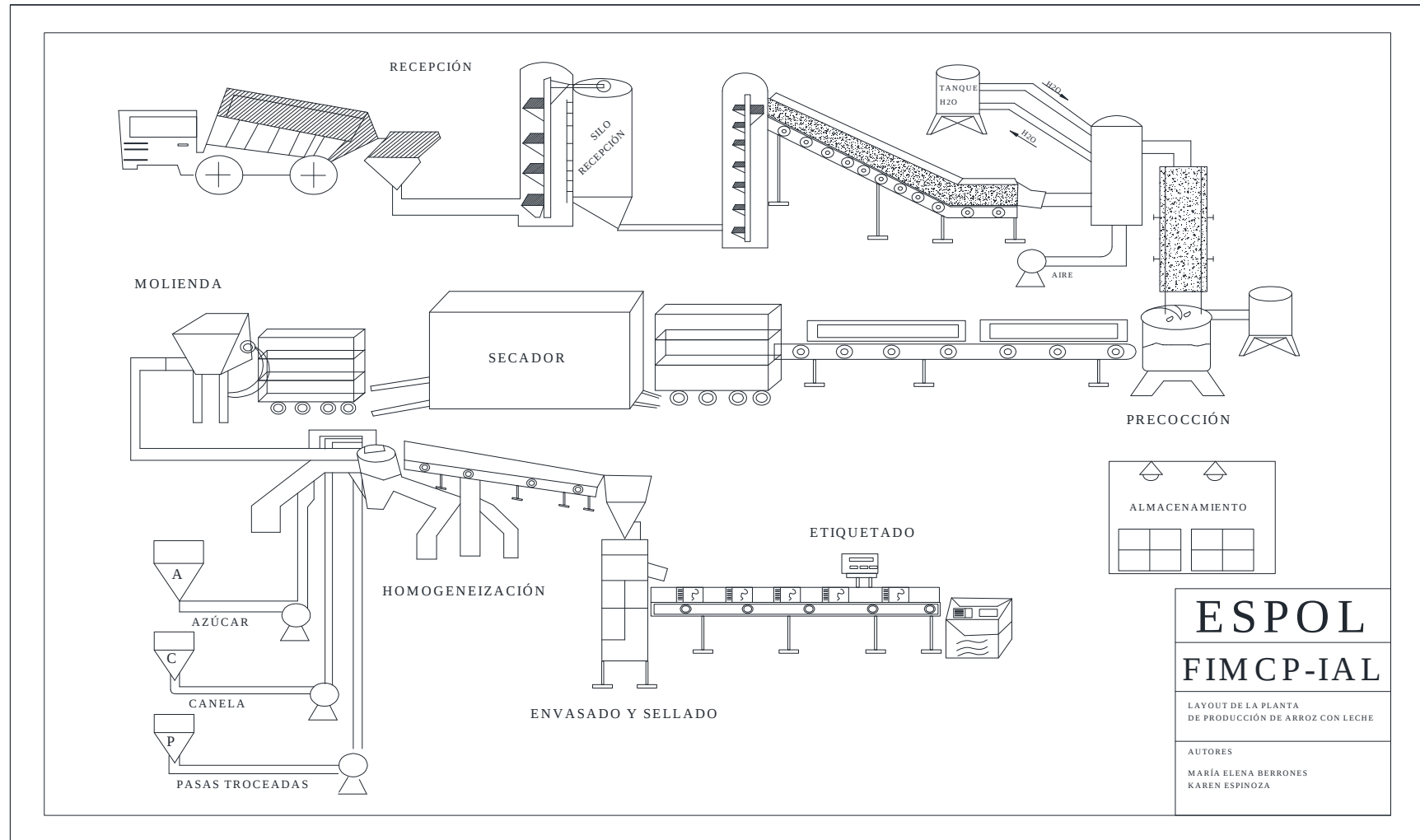
URBANA 97,3% de la población vive en el área urbana

RURAL 2,7% de la población vive en el área rural

FUENTE: CPV 2001; Proyecciones de Población 2001-2010

APÉNDICE N

Layout de la Planta



APÉNDICE Ñ

Especificaciones de Equipos Industriales

Molino de Martillo para Granos

Modelo	Potencia (HP)	kg/h
MM 1	1	50
MM 2	2	200
MM 3	3	500
MM 5	5	1200
MM 7	7,5	1500
MM 10	10	2000
MM 20	20	3000

Mezcladora tipo pantalón

Capacidad de producto	Para 25 kg, 50 kg, 75 kg, 100 kg, 125 kg
Tiempo de mezclado	Aprox. 10 a 20 minutos por batch. (Dependerá del producto)
Productos	Gránulos o polvos
Material del recipiente	Acero inoxidable A304 (Opcional A316 o A316 L)
Motor	1.5 HP 220 VAC 3F 60 Hz.
Transmisión	Por bandas múltiples en "V"
Velocidad de operación	6 a 30 RPM
Tensión requerida	220 VAC monofásica o trifásica a 60 Hz.
Dimensiones	Aprox. Ancho 1.600 mm. Largo 1.750 mm. Alto total 2.200 mm.
Peso	Aprox. 270 kg. (neto)

Accesorios estándar

- Compuerta de descarga
- Bases de amortiguación de nitrilo
- Temporizador

Empacadora volumétrica

Dosificación	Desde 10 hasta 1.000 gramos
Rendimiento	Máx. 60 bolsas por minuto
Formatos	Bolsas conformadas de una costura posterior central y dos transversales.
Material empaque	Polipropileno o laminados de PE+PPE+aluminio, de 60 a 100 micras.
Tamaños	Ancho de 40 mm a 180 mm, largo de 40 mm a 300 mm.
Motores	Arrastres: 0.5 HP 220 V 3F, 60 Hz. Plato: 1 HP 220 V 3F 60 Hz.
Tensión requerida	220 VAC 2F ó 3F con Neutro +/- 2%, 60 Hz. Consumo aprox. 1Kw
Aire comprimido	90 psi (6 bares). Consumo aprox. 20 CFM.
Dimensiones	Ancho 900 mm. Fondo 1.600 mm. Altura 2.400 mm. Peso aprox. 440 kg.

Accesorios estándar

- Sensor fotoeléctrico
- Contador totalizador

Máquina codificadora a tinta

Modelos	Pro Digit 18 / Pro Digit 53 / Pro Digit 70
Anchos de impresión	18 mm / 53 mm / 70 mm
Resolución de impresión	180 dpi hasta 40 mt/min -- 180 dpi hasta 60 mt/min
Alimentación de tinta	Por gravedad / Por bomba
Cartuchos de tinta	180 ml. Colores: negro, blanco, rojo y azul
Programa incluido	Flexicode Software
Predeterminados	6 tipos de letras de impresión, 4 logos, 2 idiomas de uso
Tensión requerida	100-120 VAC, 1 fase, 60 Hz. Consumo aprox. 80 vatios
Dimensiones del control	300 x 192 x 60 mm. Peso aprox. 3.1 kg.

Accesorios estándar

- Pedestal modular de aluminio con niveladores
- Un cartucho de tinta negra de 180 ml
- Un envase de solvente de 240 ml
- Un envase de lubricante en spray de 114 ml

APÉNDICE O

PROPIEDADES FÍSICAS DE GASES Y LÍQUIDOS

PROPIEDADES FÍSICAS DE GASES Y LIQUIDOS

GASES									
T (°F)	ρ (lb _m /ft ³)	c_p (Btu/lb _m °F)	$\mu \times 10^{-5}$ (lb _m /ft sec)	$\nu \times 10^{-3}$ (ft ² /sec)	k (Btu/hr ft °F)	α (ft ² /hr)	Pr	$\beta \times 10^{-3}$ (1/°F)	$g\beta\rho^2/\mu^2$ (1/°F ft ⁴)
AIRE									
0	0,0862	0,24	1,09	0,126	0,0132	0,639	0,721	2,18	4.39×10^6
30	0,081	0,24	1,15	0,142	0,01239	0,714	0,716	2,04	3.28 "
60	0,0764	0,24	1,21	0,159	0,0146	0,798	0,711	1,92	2.48 "
80	0,0735	0,24	1,24	0,169	0,0152	0,855	0,708	1,85	2.09 "
100	0,071	0,24	1,28	0,181	0,0156	0,919	0,703	1,79	1.76 "
150	0,0651	0,241	1,36	0,209	0,0167	1,06	0,698	1,64	1.22 "
200	0,0602	0,241	1,45	0,241	0,0179	1,24	0,694	1,52	0.84 "
250	0,0559	0,242	1,53	0,274	0,0191	1,42	0,69	1,41	0.607 "
300	0,0523	0,243	1,6	0,306	0,0203	1,6	0,686	1,32	0.454 "
400	0,0462	0,245	1,74	0,377	0,0225	2	0,681	1,16	0.264 "
500	0,0413	0,247	1,87	0,453	0,0246	2,41	0,68	1,04	0.163 "
600	0,0374	0,251	2	0,535	0,027	2,82	0,68	0,944	79.4×10^3
800	0,0315	0,257	2,24	0,711	0,0303	3,75	0,684	0,794	50.6 "
1000	0,0272	0,263	2,46	0,906	0,0337	4,72	0,689	0,685	27 "
1500	0,0203	0,277	2,92	1,44	0,0408	7,27	0,705	0,51	7.96 "

T (°F)	ρ (lb _m /ft ³)	c_p (Btu/lb _m °F)	$\mu \times 10^{-5}$ (lb _m /ft sec)	$\nu \times 10^{-3}$ (ft ² /sec)	k (Btu/hr ft °F)	α (ft ² /hr)	Pr	$\beta \times 10^{-3}$ (1/°F)	$g\beta\rho^2/\mu^2$ (1/°F ft ⁴)
STEAM (VAPOR)									
212	0,0372	0,493	0,86	0,234	0,0145	0,794	1,06	1,49	0.873×10^6
250	0,035	0,483	0,89	0,254	0,0155	0,92	0,994	1,41	0.698 "
300	0,0327	0,476	0,96	0,294	0,0171	1,1	0,963	1,32	0.493 "
400	0,0289	0,472	1,09	0,377	0,02	1,47	0,924	1,16	0.262 "
500	0,0259	0,477	1,23	0,474	0,0228	1,85	0,922	1,04	0.148 "
600	0,0234	0,483	1,37	0,585	0,0258	2,29	0,92	0,944	88.9×10^3
800	0,0197	0,498	1,63	0,828	0,0321	3,27	0,912	0,794	37.8 "
1000	0,017	0,517	1,9	1,12	0,039	4,44	0,911	0,685	17.2 "
1500	0,0126	0,564	1,57	2,05	0,058	8,17	0,906	0,51	3.97 "

Fuente: Folleto de Operaciones Unitarias II

BIBLIOGRAFÍA

1. BARBOSA, G.; MA, L.; BARLETTA, B. Manual de Laboratorio de Ingeniería de Alimentos. Editorial Acribia S.A., Zaragoza – España, 2000. Pág. 71.
2. BARBOSA, G.; VEGA, H. Deshidratación de Alimentos, Editorial Acribia S.A., Zaragoza – España, 2000. Págs. 2-4, 56-57, 70, 84, 152-153.
3. CALLEJO, María. Industria de Cereales y Derivados. Editorial Mundi-Prensa, Madrid-España, 2002. Págs. 151-152, 166.

4. CASP, Ana; ABRIL, José. Procesos de Conservación de Alimentos. Editorial Mundi-Prensa, Madrid – España, 2003. Págs. 334-337, 340, 356-357.
5. CHARLEY, Helen. Tecnología de Alimentos: Procesos Químicos y Físicos en la Preparación de Alimentos. Editorial Limusa, México-México. 2005. Págs. 174-175.
6. DIARIO EL UNIVERSO. *Historia de una semilla*. Disponible en: <http://www.eluniverso.com/2009/05/10/0217/1055/EC02833F15004A34ADA43291C2B6252A.html>. Mayo 2010.
7. FEDERACIÓN NACIONAL DE ARROCEROS DE COLOMBIA. *Arroz: Sus Bondades y Beneficios*. Disponible en: <http://www.fedearroz.com.co/arroz.htm>. Mayo 2010.
8. HOSENEY, R. Principios de Ciencia y Tecnología de los Cereales. Editorial Acribia S.A., Zaragoza-España, 1991. Págs. 41, 45.

9. MINISTERIO DE AGRICULTURA, GANADERÍA, ACUACULTURA Y PESCA DEL ECUADOR. Cadenas Agroindustriales: Panorama de la Cadena del Arroz. Disponible en: [http://www.magap.gob.ec/magapweb / BIBLIOTECA / CADENAS%20AGROINDUSTRIALES / ARROZ%20 Y %20PILADORAS%20 - %20PANORAMA%20DE %20LA%20CADENA/panorama.pdf](http://www.magap.gob.ec/magapweb/BIBLIOTECA/CADENAS%20AGROINDUSTRIALES/ARROZ%20Y%20PILADORAS%20-%20PANORAMA%20DE%20LA%20CADENA/panorama.pdf). Mayo 2010.

10. PROYECTO COMUNITARIO. *Conservación de Alimentos: Arroz*. Disponible en: [http://www.alimentacioncomunitaria.org/secciones /alimentos_arroz.html](http://www.alimentacioncomunitaria.org/secciones/alimentos_arroz.html). Mayo 2010.

11. REVISTA DE PLANTAS BOTANICAL ONLINE. *Propiedades alimentarias del arroz*. Disponible en: <http://www.botanical-online.com/arrozpropiedadesalimentarias.htm>. Mayo 2010.