

12  
20



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN**

"ESTUDIO DE LA DESHIDRATACION DE CARNE DE RES  
EN UN SECADOR DE CHAROLAS PARA LA OBTENCION  
DE UN PRODUCTO TIPO MACHACA"

**T E S I S**  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
**INGENIERO EN ALIMENTOS**  
**P R E S E N T A N :**  
**ANGELA PERALTA REYES**  
**JOSE FRANCISCO BELLO RAMILA**

ASESOR: I. Q. I. OSCAR GERMAN IBARRA



CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEXICO

1996

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN  
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR

DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

C. N. A. M.  
FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES CUAUTITLAN



ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

DR. JAIME KELLER TORRES  
DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLAN  
P R E S E N T E .

AT'N: Ing. Rafael Rodríguez Ceballos  
Jefe del Departamento de Exámenes  
Profesionales de la F.E.S. - C.

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS TITULADA:

"Estudio de la deshidratación de carne de res en un secador de charolas para la obtención de un producto tipo machaca".

que presenta la pasante: Angela Peralta Reyes  
con número de cuenta: 8640315-1 para obtener el TITULO de:  
Ingeniera en Alimentos ; en colaboración con :  
José Francisco Bello Pámila.

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

A T E N T A M E N T E .  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

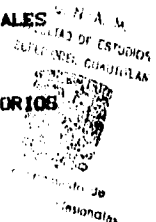
Cuatitlán Izcalli, Edo. de Méx., a 6 de Diciembre de 1997.

PRESIDENTE	Dra. Sara E. Valdés Martínez	
VOCAL	M. en C. Sr. Elena Vargas Ugaldó	
SECRETARIO	L.Q. Oscar Germán Ibarra	
PRIMER SUPLENTE	L.V. Rosalía Meléndez Pérez	
SEGUNDO SUPLENTE	L.A. Sr. Sr. S. de la Cruz Javier	



ESTADOS UNIDOS MEXICANOS  
 INSTITUTO NACIONAL  
 SISTEMA DE  
 EXAMENES PROFESIONALES

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN  
 UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR  
 DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES



ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

DR. JAIME KELLER TORRES  
 DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLAN  
 P R E S E N T E .

AT'N: Ing. Rafael Rodríguez Ceballos  
 Jefe del Departamento de Exámenes  
 Profesionales de la F.E.S. - C.

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS TITULADA: "Estudio de la deshidratación de carne de res en un secador de charolas para la obtención de un producto tipo machaca".

que presenta el pasante: José Francisco Bello Rámila con número de cuenta: 8539485-6 para obtener el TITULO de Ingeniero en Alimentos ; en colaboración con : Angela Peralta Reyes.

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

A T E N T A M E N T E .  
 "POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
 Cuautitlán Izcalli, Edo. de Méx., a 6 de Diciembre de 1995

PRESIDENTE	Dra. Sara E. Valdés Martínez	
VOCAL	M. en C. Ma. Elena Vargas Ugalde	
SECRETARIO	I.Q. Oscar Germán Ibarra	
PRIMER SUPLENTE	I.A. Rosalía Meléndez Pérez	
SEGUNDO SUPLENTE	I.A. Ana Ma. S. de la Cruz Javier	

Dedico esta tesis con cariño:

Al entrañable recuerdo de mi padre.

A mi mamá con eterno agradecimiento, cariño y  
respeto, por su valioso ejemplo y apoyo.

A mis hermanos: Joaquín, Gregorio, Bernardino,  
Guillermo, Lucio y Tirso por su ayuda.

A mi hermana Socorro y mi cuñado Martín  
por su apoyo incondicional y su ayuda  
cuando yo la necesite.

A Francisco por su amor y  
comprensión.

A mis amigos por su amistad  
tesoro invaluable, en especial  
a Carmen.

Angela.

Dedico esta tesis con cariño:

Al recuerdo de mi abuelita que siempre vivirá en mi corazón.

A mi mamá por su valioso ejemplo.

A mis hermanos Luis Alfredo y Cristina por su ayuda incondicional.

A mi tía Eréndira por su valiosa ayuda.

A Angela por su amor.

F r a n c i s c o .

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos con admiración y respeto al I.Q.I. Oscar Germán Ibarra por su profesionalismo y paciencia al dirigir el presente trabajo.

Al Dr. M.V.Z. Hiram Gutiérrez Renovato y al Dr. M.V.Z. Antonio Gómez por su valioso apoyo y ayuda incondicional en el desarrollo del presente trabajo.

Al Taller de Carnes de la F.E.S. Cuautitlán por su invaluable apoyo y colaboración para la realización de este trabajo.

A la Universidad Nacional Autónoma de México y a todos nuestros profesores porque en las aulas nos transmitieron valiosos conocimientos para forjarnos como profesionistas útiles a la sociedad.

A nuestros amigos y compañeros por compartir su amistad, tiempo, conocimientos y espacio con nosotros.

A Dios por darnos esta satisfacción y por todo lo que nos ha dado en la vida.

## INDICE

	PAG
RESUMEN	1
INTRODUCCION	3
OBJETIVOS	6
CAPITULO 1. GENERALIDADES	
1.1. Definición de carne	7
1.2. Composición química y valor nutritivo de la carne.	7
1.2.1. Agua	9
1.2.2. Proteínas	9
1.2.3. Lípidos	11
1.2.4. Minerales	14
1.2.5. Carbohidratos	15
1.2.6. Vitaminas	15
1.3. Efecto de los métodos de preservación en la carne.	16
1.3.1. Cocción	16
1.3.1.1. Efectos sobre el pigmento y el color	16
1.3.1.2. Efecto sobre las proteínas de la carne	17
1.3.1.3. Efectos sobre el sabor y olor	19
1.3.1.4. Efectos sobre el valor nutritivo	20
1.3.2. Salado	22
1.3.3. Deshidratación	23
1.3.3.1. Efecto sobre el valor nutritivo	23
1.3.3.2. Oscurecimiento o daño por calor	24
1.3.3.3. Endurecimiento de la superficie	26
1.3.3.4. Efecto de encojimiento	26



1.4. Tipos de secadores	27
1.4.1. Clasificación de los secadores	27
1.4.2. Secadores de charolas o bandejas	29
1.5. Factores que afectan la velocidad de secado	32
1.5.1. Conceptos básicos de secado	32
1.5.2. Efecto de la temperatura y la humedad	36
1.5.3. Efecto de la velocidad del aire	40
1.5.4. Efecto de la densidad de carga	41
1.5.5. Efecto de la Recirculación del aire de secado	42
1.5.6. Efecto de la geometría y del tamaño	42
1.5.7. Capacidad de retención de agua (CRA)	43
1.5.7.1. Influencia del pH en la CRA	44
1.5.7.2. Influencia del cloruro sódico en la CRA	45
1.5.8. Efecto de la adición de NaCl	46
1.5.9. Efecto del grado de cocimiento de la carne	47
1.5.10. Efecto del contenido de grasa en la carne	48
1.6. Procesos de elaboración de carne seca de res	48
1.7. Rehidratación de la carne seca de res	49
<b>CAPITULO 2. DESARROLLO EXPERIMENTAL Y RESULTADOS</b>	
2.1. Descripción del equipo y material utilizado	52
2.1.1. Equipo	52
2.1.2. Material e Instrumentos	56
2.2. Diagrama de elaboración de la Machaca y descripción del proceso	57
2.3. Cuadro Metodológico	64
2.4. Elección de las condiciones de secado	65
2.4.1. Determinación de humedad y Cloruro de sodio a la carne seca comercial	65

2.4.2. Pruebas previas en estufa electrica	66
2.4.2.1 Temperatura de secado	66
2.4.2.2. Elección de la dirección de flujo del aire	70
2.4.2.3. Efecto de la densidad de carga	73
2.4.2.4. Efecto de la humedad relativa	81
2.5. Análisis Químico Proximal (AQP) de la machaca comercial y producto experimental	84
2.6. Prueba de degustación	85
2.7. Prueba de rehidratación	88
2.8 Rendimiento de la carne seca tipo machaca	90

**CAPITULO 3. DIMENSIONAMIENTO DEL EQUIPO PRINCIPAL PARA LA  
ELABORACION DE CARNE SECA TIPO MACHACA**

3.1. Elección de la base de calculo	91
3.2. Dimensionamiento de la marmita	92
3.2.1. Determinación del area útil de la marmita	97
3.2.2. Determinación del espesor de la chaqueta	98
3.2.2.1. Cálculo del espesor del cuerpo cilindrico	99
3.2.2.2. Cálculo del espesor de la cabeza	104
3.3. Determinación del Consumo de vapor para la cocción de la carne	105
3.3.1. Calor requerido para llevar la salmuera de la temperatura inicial a la temperatura de ebullición	106
3.3.2. Calor requerido para calentar la carne	107
3.3.3. Calculo del calor transmitido durante la cocción	107
3.3.4. Calculo de la masa de vapor requerida para la cocción de la carne	106

3.4. Dimensionamiento del secador de charolas	111
3.4.1. Dimensionamiento de la cámara de secado	112
3.4.2. Calculo del calor requerido para secar la carne	115
3.4.3. Calculo de la potencia necesaria para el ventilador	119
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	121
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	124

## INDICE DE CUADROS

	PAG
Cuadro 1. Clasificación de los métodos de conservación en alimentos.	5
Cuadro 2. Composición en porcentaje de carne de bovino	8
Cuadro 3. Contenido en aminoácidos esenciales de algunas sustancias proteicas.	11
Cuadro 4. Acidos grasos de bovino.	13
Cuadro 5. Componentes minerales del musculo animal.	14
Cuadro 6. Contenido en vitaminas de la carne.	15
Cuadro 7. Clasificación de los secadores según su método de operación.	28
Cuadro 8. Composición química de la falda.	60
Cuadro 9. Efecto de la densidad de carga en el tiempo de secado con una humedad final de 0.19 kg agua/Kg sól. seco.	80
Cuadro 10. Composición química de la machaca comercial y la experimental.	84
Cuadro 11. Puntuaciones obtenidas para cada una de las muestras en la prueba de degustación.	86
Cuadro 12. Pruebas de rehidratación. Cantidad de agua absorbida por 100 g de carne seca.	89
Cuadro 13. Relaciones adimensionales en Tapas elípticas	104

## INDICE DE FIGURAS

	PAG
Figura 1. Cambios del pigmento durante la cocción.	17
Figura 2. Curva típica de secado. Humedad libre en función del tiempo.	34
Figura 3. Curva de velocidad de secado en función del contenido de humedad libre.	34
Figura 4. Curvas de deshidratación de un producto sólido y de de la carne.	36

Figura 5.	Curva de desecación de la carne	39
Figura 6.	Influencia del pH en el poder de retención de agua en carne de bovino.	45
Figura 7.	Efecto de la adición de NaCl en la CRA de carne de bovino, para diferentes valores de pH.	46
Figura 8.	Secador de charolas experimental.	52
Figura 9.	Diagrama de referencia para válvulas y partes del equipo.	53
Figura 10.	Efecto de la temperatura de secado.	69
Figura 11.	Secado de carne con flujo de aire en paralelo en estufa y secador de charolas	71
Figura 12.	Efecto de la dirección del aire en el secador de charolas.	72
Figura 13.	Secado de carne con densidad de carga de 7.25 Kg/m <sup>2</sup>	74
Figura 14.	Secado de carne con densidad de carga de 10 Kg/m <sup>2</sup>	75
Figura 15.	Secado de carne con densidad de carga de 15 Kg/m <sup>2</sup>	76
Figura 16.	Secado de carne con densidad de carga de 20 Kg/m <sup>2</sup>	77
Figura 17.	Secado de carne con densidad de carga de 25 Kg/m <sup>2</sup>	78
Figura 18.	Efecto de la densidad de carga en el secado de carne.	79
Figura 19.	Efecto de la humedad relativa en el secado de carne	82
Figura 20.	Secado de carne para una HR = 60%.	83
Figura 21.	Dimensiones para un cabezal elipsoidal con relación de ejes 2:1.	93
Figura 22.	Dimensiones de la marmita para la cocción de la carne.	97
Figura 23.	Carta geométrica para recipientes.	101
Figura 24.	Acero Inoxidable. Tipo 316.	103
Figura 25.	Dimensiones de la cámara de secado.	114

## RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo el estudio de la deshidratación de carne seca de res para la obtención de un producto tipo machaca.

Primeramente se realizó una revisión bibliográfica de la materia prima empleada: definición, composición química, valor nutritivo de la carne, así como el efecto de los métodos de preservación que implica la elaboración de la carne seca: cocción, salado y deshidratación. También se presentan los factores que afectan la velocidad de secado: temperatura, humedad relativa, densidad de carga, etc.

Primeramente se determinó la concentración de la salmuera para la cocción de la carne mediante la determinación de cloruros realizada a la machaca comercial, dicha concentración fue del 10%.

Con el fin de conocer la humedad final a la cual llevar la carne durante el secado se determinó la humedad a la machaca comercial, la cual fue del 16.5%.

Las condiciones evaluadas en el secado de la carne fueron: temperatura, densidad de carga, dirección del aire de secado y humedad relativa.

Para la deshidratación de la carne se utilizó el secador de charolas intermitente y atmosférico disponible en la nave 2001 de la FES-Cuautitlán. De las cinéticas de secado obtenidas del secado de la carne se concluyó que las mejores condiciones de

secado para el equipo utilizado fueron: temperatura de bulbo seco = 60°C, densidad de carga = 20 Kg/m<sup>2</sup>, dirección del flujo del aire transversal al lecho y humedad relativa del aire de 15%.

Se realizó el Análisis Químico Proximal al producto experimental y comercial concluyendo que ambas carnes secas son semejantes en su composición química.

Teniendo en cuenta que la carne seca no se consume como tal, sino después de ser guisada y no queriendo dejar inconcluso el aspecto de la rehidratación y del sabor final que tendrá una vez guisada se realizan pruebas de rehidratación y una prueba de degustación para determinar la aceptación del producto.

Finalmente se procede al dimensionamiento del equipo principal para la elaboración de la machaca, es decir la marmita de cocción y el secador el charolas. También se determina el consumo de vapor requerido en la elaboración de la machaca.

## INTRODUCCION

La preservación de los alimentos tiene como principal objetivo prolongar la vida útil de los mismos mediante la inhibición de los cambios bioquímicos que ocurrirían en su estado natural.

La preservación se define algunas veces como la prevención de, o la protección contra la putrefacción. Sin embargo esta definición es demasiado limitada; en general el alimento se considera putrefacto cuando ocurren cambios considerables durante el almacenamiento; estos cambios podrían hacer al artículo inapetecible y puede, aunque no siempre, estar acompañados de cambios que lo hagan peligroso a la salud. La preservación esta dirigida a evitar tales cambios.

Como se ha mencionado, todo método de preservación aspira a prevenir, o por lo menos a limitar en lo posible los cambios que puedan esperarse ocurran en el producto. Al mismo tiempo, es necesario asegurar que el valor nutricional permanezca tan alto como sea posible y también que el proceso de preservación no tenga consecuencias perjudiciales desde el punto de vista de la salud.

Es bien conocido que los cambios ocurridos en los alimentos son causados por la actividad de los microorganismos, por enzimas endógenas y por reacciones bioquímicas. Usualmente, las conversiones microbiológicas son las primeras que se perciben



y son también las más radicales. Por esta razón, todo método de preservación tiene que ir orientado principalmente en contra de los efectos perjudiciales del desarrollo y procesos metabólicos de los microorganismos. Considerando este objetivo, es obvio que los métodos de preservación deben clasificarse de acuerdo a las posibilidades de controlar la actividad microbiológica.

Tales métodos de preservación pueden ser clasificados como se muestra en el cuadro 1.

En muchos casos las medidas puestas en práctica para prolongar la vida útil de los alimentos sólo resultan de limitada eficacia. Por ello, en algunos casos se recomienda la combinación de varios métodos (10,27,30).

En el presente trabajo se pretende obtener carne seca tipo machaca y los métodos de preservación que involucra su elaboración son: cocción, salado y secado.

El efecto que tienen estos métodos sobre las características de la carne serán analizados posteriormente.

**Cuadro 1. Clasificación de los métodos de conservación en alimentos.**

Agentes físicos	Temperatura	Baja	Refrigeración Congelación
		Alta	Pasteurización Esterilización
		Radiaciones ionizantes Radiaciones ultravioletas	
Reducción de la actividad de agua	Concentración Deshidratación Liofilización Adición de azúcar Adición de sal o de sal + nitritos y nitratos		Salado o Curado
Agentes químicos	Conservadores		
	Aumento de la acidez		Fermentaciones Adición de ácidos
Combinación de agentes	Salado-secado-ahumado		
	Salado-calentamiento		
	Salazonado-fermentación		

Fuente: Moreno B. "El sistema de análisis de riesgos y puntos críticos", 1992.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Estudio de la factibilidad técnica para la elaboración de carne seca salada tipo machaca para su comercialización.

### **OBJETIVOS PARTICULARES**

1. Llevar a cabo la deshidratación de carne de res en un secador de charolas intermitente y atmosférico variando la temperatura y densidad de carga a fin de obtener un producto similar a la machaca.
2. Evaluar la aceptación del producto experimental mediante una prueba de degustación.
3. Diseñar la marmita y el secador para la producción de carne seca.
4. Calcular la energía requerida en la elaboración de carne seca mediante balances de energía para determinar el consumo de vapor.

## CAPITULO 1 GENERALIDADES

### 1.1 Definición de Carne.

La carne es la parte comestible sana, limpia, libre de grasa y hueso de la musculatura esquelética de bovinos, ovinos, caprinos, porcinos u otros animales de consumo autorizados por la Secretaria de Salud (10,18,31).

### 1.2 Composición Química y Valor Nutritivo de la Carne.

Muchas de las propiedades gastronómicas o nutricionales de la carne tales como la textura, su comportamiento ante los diversos sistemas de cocción o conservación, pérdida de jugos, etcétera, están ligadas a la estructura del sistema proteico muscular, así como las reacciones bioquímicas que en él se realizan.

Por lo tanto, el conocer la estructura de la carne y sus reacciones presenta, a pesar de su complejidad, un gran interés desde el punto de vista tecnológico.

El músculo está formado por: las fibras musculares, el tejido conectivo que lo rodea y que contiene los vasos sanguíneos y nervios; el tejido lipídico y finalmente la mioglobina que es la que le da su color rojo y sirve como reserva de oxígeno (10).

La carne contiene muchas sustancias nutritivas principales acompañadas de sustancias complementarias que son necesarias para la alimentación humana.

La composición química de la carne es muy variable

dependiendo de la especie, región anatómica y tipo de la misma. Pero como en este caso solo nos interesa la carne de bovino por ser con la que se elabora comunmente la machaca, en el cuadro 2 se presenta su composición química.

Cuadro 2. Composición en porcentaje de carne de bovino.

Tipo de carne	Bovinos adultos		Terñera	
	Magra	Grasa	Magra	Grasa
Agua	73.0	55.0	75.0	67.0
Proteínas	18.8	16.3	20.0	18.9
Grasa	7.0	27.4	4.0	13.1
Sales minerales	1.1	1.0	0.9	0.7
Hidratos de carbono	0.1	0.3	0.1	0.3

FUENTE: Price James F., "Ciencia de la carne y de los productos cárnicos". 1976

El valor nutritivo de la carne se debe a sus proteínas, grasas, carbohidratos, vitaminas y minerales. Aunque la carne proporciona calorías a partir de las proteínas, de las grasas y de las limitadas cantidades de carbohidratos que posee, su contribución principal a la dieta deriva de la concentración y calidad de sus proteínas, del aporte disponible de vitaminas B y de ciertos minerales, y de la presencia de ácidos grasos esenciales (18).

### 1.2.1 Agua

El agua es el medio fluido del organismo y, en parte, se asocia a las estructuras celulares, especialmente a las moléculas proteicas coloidales. El agua sirve de medio de transporte de nutrimentos, metabolitos, hormonas y productos de desecho por todo el organismo humano. También es el medio en el que se llevan a cabo la mayoría de las reacciones químicas y de los procesos metabólicos del organismo (18).

### 1.2.2 Proteínas

Las proteínas de la carne son en gran parte las de los tejidos muscular y conectivo; la mayor proporción de proteínas musculares totales la constituyen las miofibrilares, que están compuestas de filamentos paralelos alternativamente espesos y delgados de miosina y actina (solubles en soluciones salinas concentradas); les siguen en importancia cuantitativa las proteínas sarcoplásmicas formados por los enzimas musculares y la mioglobina (solubles en agua o soluciones salinas diluidas), siendo menos abundantes las proteínas del tejido conectivo, constituidas fundamentalmente por colágeno y elastina (insolubles en soluciones salinas concentradas, al menos a baja temperatura).

La miosina participa en el contenido proteico del músculo con el 38% aproximadamente y la actina con el 13%. Ambas se unen para formar la actomiosina, a la cual corresponde una importancia destacada en la contractibilidad del músculo.

Una de las proteínas cárnicas más conocidas es la mioglobina, la cual confiere a la carne su color rojo característico. Su proporción es de 0.5-6 mg/100g. La carne, aunque esté desangrada, contiene asimismo vestigios de hemoglobina (31).

La relación cuantitativa entre el colágeno y la elastina es diversa según la clase de tejido conjuntivo de que se trate, pero las variaciones no son muy acusadas. El colágeno es el componente principal del tejido conjuntivo de la carne; está presente en una proporción del 1 al 2% en la carne muscular pura. No obstante, las carnes muy ricas en tejido conjuntivo pueden contener hasta más del 10% de colágeno. El valor nutritivo de estas proteínas se observa en el cuadro 3 (31).

Aunque el músculo contiene aproximadamente del 16 al 22% de proteínas, tal cantidad varía bastante en muchos productos cárnicos y lo hace inversamente con la cantidad de grasa presente. No obstante, los productos cárnicos proporcionan generalmente la mayor parte del aporte proteico recomendado en la dieta (RDA).

Además de su contenido proteico la carne muscular proporciona una proteína de alta calidad con un gran valor biológico. La proteína de alta calidad es aquella que contiene todos los aminoácidos esenciales en cantidades equivalentes a las necesidades del cuerpo humano, es altamente digestible y fácilmente absorbible. Los aminoácidos son los ladrillos básicos de que se componen todas las proteínas (10,14,18,26).

Los distintos aminoácidos tienen importancia variable para la alimentación del hombre. De aquí se deduce que las sustancias proteicas que contienen muchos aminoácidos esenciales tienen más valor nutritivo que aquellas otras con escasa cantidad de dichos aminoácidos (Cuadro 3).

**Cuadro 3. Contenido en aminoácidos esenciales de algunas sustancias proteicas (en gr/100 gr de proteína).**

Aminoácidos	Miosina	Elastina	Colágeno	Hemoglobina
Valina	2.6	12.6	3.6	9.1
Leucina e isoleucina	15.6	28.1	5.6	15.4
Metionina	3.4	0.4	0.8	1.0
Treonina	5.1	2.5	2.3	4.4
Arginina	7.4	0.9	8.6	3.7
Lisina	11.9	-	4.5	8.5
Fenilalanina	4.3	3.4	2.5	7.7
Triptofano	0.8	-	2.5	1.7
Histidina	2.4	-	0.7	8.7
Prolina	1.9	14.2	15.1	3.9

FUENTE: Ninnivaara., "El valor nutritivo de la carne". 1975

### 1.2.3 Lípidos

El contenido lipídico de la carne es su componente más variable. El grado de adiposidad de la carne es de importancia decisiva para la riqueza en los demás principios inmediatos. La carne que posee abundante grasa suministra mucha energía, pero contiene menos vitaminas y sustancias minerales que la magra. La cantidad de lípidos depende del corte de carne y de la cantidad de grasa que se dejó en el mismo durante el despiece y el recortado.



Los componentes lipídicos de mayor interés, desde el punto de vista nutritivo, son los triglicéridos, fosfolípidos, colesterol y vitaminas liposolubles, especialmente de la vitamina A. El valor calórico de los lípidos de la carne procede de los ácidos grasos de los triglicéridos y fosfolípidos de los que aquéllos constituyen la mayor parte.

Según el músculo de que se trate, la carne magra contiene una proporción de grasa que varía entre 0.5 y el 10%.

Los ácidos grasos de los glicéridos de los rumiantes se clasifican en los tres grupos siguientes (31).

1. Ácidos grasos cuya participación en el contenido total de estos ácidos supera el 10%.
2. Ácidos grasos cuya participación en dicho contenido total varía entre 1 y el 10%.
3. Ácidos grasos que participan en menos del 1% en el contenido total de los mismos.

En el cuadro 4 se presenta la composición de ácidos grasos de la carne de bovino. Atendiendo a esta clasificación puede comprobarse que los ácidos palmítico, esteárico y oleico pertenecen al grupo 1. Su proporción viene a ser del 80% de la grasa de los rumiantes o representan un porcentaje mayor en función del contenido total de ácidos grasos. El sebo de bovino contiene un promedio del 29 al 30% de ácido palmítico. La proporción de éste es algo menor en los tejidos adiposos que en el depósito periférico de grasa.

**Cuadro 4. Ácidos grasos de bovino (g/100g de grasa).**

ACIDOS GRASOS SATURADOS		ACIDOS GRASOS INSATURADOS	
Ac. palmítico	28	Ac. oleico	44
Ac. esteárico	19	Ac. linoléico	2
Mirístico	4	Ac. linoleico	0.5
Otros	1.5	Otros	1.0
Total	52.5	Total	47.5

FUENTE: Nunnvaara. "El valor nutritivo de la carne". 1973

Los representantes más importantes del grupo 2, son el ácido mirístico, el palmito-oleico y los distintos ácidos insaturados Cis. Pertenecen al grupo de estos últimos los ácidos linólico y linoleico (ácidos esenciales); su proporción en la grasa de los vacunos es relativamente baja, del 1 al 2%.

En el tercer grupo los ácidos más importantes desde el punto de vista de la nutrición son los ácidos poliéicos de 20 a 22 átomos de carbono, los cuales están presentes en el sebo de vacuno en una proporción media inferior al 0.5%.

La grasa de la carne contiene cantidades notables de ácidos grasos esenciales para la dieta del hombre. Puesto que la necesidad diaria de tales ácidos grasos indispensables es relativamente pequeña, el aporte recomendado en la dieta (RDA) se cubre fácilmente con la grasa intramuscular, incluso cuando se desecha la mayor parte de la grasa externa (18,26).

#### 1.2.4 Minerales.

La carne generalmente es una buena fuente de minerales, con excepción del calcio. La mayoría del calcio del organismo está presente en huesos y dientes y la pequeña proporción existente en el músculo y en otros tejidos comestibles es muy inferior al RDA. Los minerales de la carne se asocian a la porción magra. En el cuadro 5 se muestra la composición mineral aproximada del músculo.

Cuadro 5. Componentes minerales del músculo animal (%).

Potasio	0.3
Fósforo total (fosfatos y fósforo inorgánico)	0.2
Azufre (incluido sulfato)	0.2
Cloro	0.1
Sodio	0.1
Otros (Mg, Ca, He, Co, Cu, Zn, Ni, Mg, etc)	0.1

FUENTE: Forrest John, "Fundamentos de ciencia de la carne", 1979

La carne es una buena fuente de hierro, nutrimento indispensable para el mantenimiento de una buena salud; se necesita hierro para la síntesis de mioglobina y ciertas enzimas. Puesto que el hierro que se almacena en el organismo es escaso, el aporte dietético regular o continuo de este mineral es importante y la carne lo proporciona en una forma fácilmente absorbible.

Los minerales están distribuidos irregularmente en el tejido muscular. Aproximadamente el 40% se encuentra en el jugo muscular o sarcoplasma, el 20% forma parte de los componentes celulares y el resto se distribuye en los líquidos extracelulares (18).

### 1.2.5 Carbohidratos

Los carbohidratos representan menos del 1% del peso de la carne, la mayoría de los cuales la componen el glucógeno. En la carne de vacuno recién sacrificado está presente el glucógeno en una concentración aproximada de 3 mg/g. Dado que el hígado constituye el lugar principal de almacenamiento de glucógeno, la mayoría de los carbohidratos del organismo animal se presentan en dicho órgano. De aquí que la mayor parte de los cortes de carne constituyan fuentes pobres de carbohidratos, salvo en aquellos productos a los que se adicionan azúcares o carbohidratos tales como carnes curadas (18,26)

### 1.2.6 Vitaminas

La carne es una excelente fuente de vitaminas hidrosolubles del complejo B, pero es pobre en vitamina C, mientras que las vitaminas liposolubles A,D,E y K están principalmente en la grasa del organismo. En la carne se encuentran todas las vitaminas del complejo B, siendo las más abundantes la tiamina, la riboflavina y la niacina; en la carne de bovino estas vitaminas se encuentran en las cantidades que se muestran en el cuadro 6 (18,26).

Cuadro 6. Contenido en vitaminas de la carne (mg/100g)

Tiamina	0.058 - 0.186
Riboflavina	0.110 - 0.280
Niacina	3.1 - 9.8

Fuente: Lavrie. "Ciencia de la carne". 1977

### **1.3 Efecto de los Métodos de Preservación en la Carne.**

El proceso de elaboración de la machaca implica el uso de varios métodos de preservación como son: la cocción, el salado y el secado; y es por esta razón que a continuación se describen los efectos que dichos métodos tienen sobre la carne.

#### **1.3.1 Cocción**

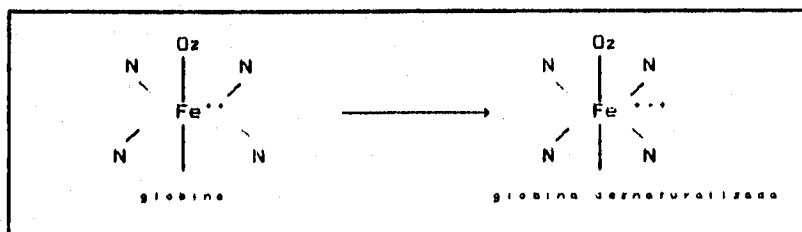
Las carnes se cuecen por una serie de razones. El calor no solo hace apta físicamente a la carne para el consumo humano sino también destruye a los microorganismos que pueden haber contaminado la superficie lo cual hace a la carne más segura para comerse. El cocimiento también cambia el color, altera la capacidad de retención del agua, afecta la suavidad, desarrolla el sabor y especialmente el aroma característico de la carne. El calor trae consigo ciertos cambios en la proteína, la grasa y en el caso de las carnes saladas, la sal que contribuye al sabor de la carne cocida (18).

##### **1.3.1.1 Efectos sobre el pigmento y el color de la carne**

El calor provoca cambios en el pigmento que alteran el color de la carne. Gran parte del pigmento en el interior de un corte de carne cruda de bovino está presente como mioglobina reducida y no oxigenada de color rojo-púrpura. Cuando la carne se calienta, el pigmento se convierte primero en oximioglobina, evidenciado por el color rojo brillante de la carne al cortarse.

Con el calentamiento posterior la unidad proteica del pigmento se desnaturaliza, el hierro ferroso se oxida y la carne adopta el color café grisáceo del hemicromo de globina desnaturalizada (fig 1). La carne de bovino suave, calentada hasta una temperatura interna de 77°C se considera como bien cocida y su color debe ser café uniforme (9).

Fig. 1. Cambios del pigmento durante la cocción



Fuente: Charley H. "Tecnología de los alimentos"

### 1.3.1.2 Efecto sobre las proteínas de la carne.

Cuando las proteínas musculares se exponen al calor se desnaturalizan (alteración de la estructura por cambios no proteolíticos).

La coagulación de las proteínas miofibrilares se asocia a cambios fácilmente observables. Aun cuando el aspecto microscópico estriado de las fibras musculares persista después del calentamiento, en las carnes bien cocidas, se presenta una rigidez típicamente aumentada. A este fenómeno se le denomina endurecimiento proteico.

Cuando el colágeno del tejido conectivo que rodea a las

proteínas de la fibra muscular sufre cambios físicos que originan un aumento de solubilidad, el primer cambio que tiene lugar es un acortamiento físico de la fibrilla de colágeno a una tercera parte de su longitud original; esto ocurre en algunas fibrillas a temperaturas tan bajas como 56°C y generalmente se completa en la mitad de las fibrillas de colágeno del músculo a los 61-62°C. Este cambio denominado encogimiento o merma de colágeno se acompaña de un aumento de su solubilidad. Si el colágeno se calienta posteriormente durante bastante tiempo, en presencia de humedad, se hidrata e hidroliza más y forma gelatina. Por lo tanto, el colágeno se hace más blando al calentarlo y su capacidad de ligar agua aumenta.

La elastina, proteína del tejido conectivo, no es afectada por el calor; parte de la carne, incluso después de cocinada convenientemente, tiene una dureza persistente a causa de su alto contenido en elastina. El único método de ablandar este tipo de carne es utilizando enzimas proteolíticas.

Cuando las proteínas musculares se someten a la acción del calor tienen lugar muchas otras alteraciones. Entre ellas cambios de pH, de su actividad reductora, cambios en las propiedades ligantes de iones y en la actividad enzimática. Se cree que el ligero aumento del pH (aproximadamente 0.3 unidades) se debe a la exposición de un grupo reactivo del aminoácido histidina. El aumento de la actividad reductora surge como consecuencia del despliegue de las cadenas proteicas y de quedar

libres los grupos sulfhidrilo. Del mismo modo, los cambios de conformación de las proteínas alteran y corrientemente reducen su capacidad de ligar diversos iones, tales como  $Mg^{++}$  y  $Ca^{++}$  (9,18,31).

El efecto del calentamiento sobre la capacidad de retención del agua del músculo es un factor importante que se relaciona con la suavidad. La mayor parte del agua se encuentra como agua libre en el tejido crudo que se mantiene en los espacios capilares formados por los componentes estructurales del músculo. Esta humedad se pierde a medida que las proteínas se coagulan y el tejido se encoge. La grasa fundida se expulsa desde las áreas de almacenamiento a medida que el tejido conectivo se retrae con el calor, contribuyendo ambos al encogimiento y a la pérdida de peso cuando se cuece la carne. La suavidad y la jugosidad de los cortes disminuye a medida que se aumenta la temperatura interna; la elevación de 74 °C a 80 °C ocasiona la mayor diferencia en la retención de agua y en las dimensiones de los cortes (9).

### 1.3.1.3 Efectos sobre el sabor y el olor.

Los efectos del cocimiento sobre el sabor de la carne merecen ser considerados. La evidencia sugiere que el cocimiento descompone uno o más precursores del sabor en el tejido de la carne para dar el sabor básico de la carne cocida. Los cortes menos suaves (los que tienen más ejercicio), tienen más material de extracción y por ello más sabor. Las lactonas y los compuestos



que contienen azufre, incluyendo sulfuros, mercaptanos y compuestos cíclicos como la pirazina, hacen importantes contribuciones al sabor de las carnes cocidas. El sulfuro de hidrógeno, un componente importante en el sabor y el aroma, se forma del aminoácido cistina. Los precursores del aroma parecen ser solubles en grasa, ya que cuando las grasas se extraen antes de calentarse, solo tienen el color básico de la carne y no el aroma característico de la clase de carne (9).

#### 1.3.1.4 Efectos sobre el valor nutritivo

El cocimiento no disminuye apreciablemente el valor nutritivo de las proteínas de la carne. La retención de las vitaminas del complejo B (tiamina, riboflavina niacina y ácido pantoténico) cuando la carne se cuece es buena. La retención de las vitaminas B es algo mayor en la carne ligeramente cocida (temperatura interna 60 °C) que en la bien cocida. Cuando la carne se cuece por calor húmedo, una cantidad apreciable de cada vitamina se encuentra en el líquido de cocimiento. En lo que respecta a los aminoácidos, la pérdida de cistina es, a pesar de todo, relativamente moderada (9).

Cuando hay un calentamiento intenso se producen ulteriores cambios de las proteínas y aminoácidos libres, con formación de algunos productos de degradación volátiles. Se generan compuestos que contienen azufre, entre ellos el sulfuro de hidrógeno, mercaptanos, sulfuros y disulfuros, así como aldehídos

y cetonas, alcoholes, ácidos o hidrocarburos. Algunos de estos compuestos volátiles contribuyen al gusto y al olor de la carne cocida.

El calentamiento que aplica la industria alimentaria suele tener moderadas repercusiones perjudiciales sobre el contenido vitamínico de la carne. La tiamina es sensible al calor y se destruye parcialmente en el transcurso de los procesos de cocción o térmicos. Ciertos aminoácidos tienen la propiedad de reaccionar con la glucosa y ribosa (Reacción de Maillard) y cuando esto ocurre se pierde el valor nutritivo de los aminoácidos. La lisina, la arginina, histidina y metionina parecen ser particularmente susceptibles a la degradación por esta vía. Sin embargo, es pequeño el efecto perjudicial sobre el valor nutritivo de las proteínas y lípidos en las condiciones en que se cuece la carne normalmente (16).

En lo referente a minerales, estos se encuentran en pequeña cantidad en la carne (menos del 1%) y tienen una importancia nutricional no despreciable, sobre todo en lo referente al hierro. La pérdida de elementos minerales durante el calentamiento es proporcionalmente mayor que otras, esto significa que la fase líquida de la carne contiene la mayor parte de los minerales. El análisis de los minerales de las cenizas de la carne y del jugo sometidos a tratamientos térmicos ha mostrado que el potasio, el sodio y el calcio son los elementos más variables y que por el contrario la concentración de fósforo y magnesio

permanecen constantes en la carne, mientras que prácticamente todo el hierro permanece inmovilizado a temperaturas mayores de los 70 °C siendo las pérdidas de azufre despreciables (2,10,18,26,31).

### 1.3.2 Salado

La finalidad práctica, de la salazón, es conseguir que la sal penetre al tejido muscular y absorba gran cantidad de jugos, determinando un proceso de deshidratación de las carnes (22).

Al tratar la carne con sal se consiguen dos hechos prácticos importantes: modificar las características de la carne cambiando el sabor y el valor nutritivo por la pérdida del agua, y evitar los fenómenos de descomposición, con lo cual se prolonga su conservación en estado de comestibilidad (14).

Aún no se conoce bien el mecanismo de la absorción de la sal por las fibras musculares pero, considerando que el Cloruro de Sodio (sal común) tiene un peso molecular bajo, y debido a su fácil disociación se explica que gane fácilmente por ósmosis, a través de las membranas orgánicas los jugos componentes de las células (14).

Las modificaciones que imprime la sal a las características del músculo varían según se aplique la sal en seco o disuelta en agua; es decir en salmuera. Prácticamente hay una gran diferencia entre uno y otro método, la carne salada en seco pierde peso, y salada en salmuera gana peso; en cambio, las

alteraciones de los componentes de la carne resultan más intensas por la acción de la salmuera que por la salazón en seco.

La sal, debido a la extracción de agua por ósmosis hace que se pierdan con ella sustancias hidrosolubles como vitaminas y proteínas. A causa de ello el valor biológico de los alimentos conservados con sal suele ser menor que el de los mismos productos en forma fresca (14).

### 1.3.3 Deshidratación

#### 1.3.3.1 Efecto sobre el valor nutritivo.

En el secado, un alimento pierde su contenido de humedad, lo cual da como resultado la concentración de nutrientes en la masa restante. Las proteínas, grasas y carbohidratos están presentes en mayor cantidad por unidad de peso en los alimentos secos. Sin embargo, como cualquier método de conservación, el alimento deshidratado no puede tener el mismo valor nutritivo que el producto alimenticio original.

La única pérdida significativa desde el punto de vista nutritivo, durante la deshidratación de la carne es la de tiamina y de ácido pantoténico. El valor biológico y la digestibilidad de las proteínas no son afectados adversamente por la deshidratación de la carne (2).

Cuando el agua se evapora del alimento durante el secado, el vapor de agua invariablemente acarrea consigo otros componentes volátiles propios del alimento fresco. Ordinariamente

la consecuencia es la indeseada e irreversible pérdida del sabor y olor (18).

También durante el almacenamiento ocurren algunos cambios en la carne deshidratada. La magnitud de estos cambios depende, en gran parte, de las condiciones de almacenamiento (temperatura, oxígeno, humedad), así como del método de elaboración y de la calidad del producto inicial crudo. La oxidación de los lípidos es el principal factor que limita la vida o período de conservación del tejido muscular deshidratado, esto se puede reducir mediante el envasado en recipientes de los que se haya eliminado el oxígeno (26).

Aunque la carne deshidratada no sirve para los mismos fines que la carne fresca, el producto conserva los nutrimentos esenciales de la carne y puede almacenarse sin refrigeración en un espacio reducido, por lo que se considera muy apropiado para los casos de emergencia (6).

Se obtiene una mejor carne deshidratada cuando esta se deshidrata a temperaturas por debajo de los 70 °C (26).

### 1.3.2 Oscurecimiento o daño por calor

Otro tipo importante de alteración del tejido muscular deshidratado es el pardeamiento no enzimático. Hay en la carne gran número de grupos amino de los aminoácidos libres o proteínicos; estos pueden reaccionar entre sí según la reacción de Maillard y dar por resultado pigmentos oscuros. Si los azúcares reaccionan

con las proteínas hay la posibilidad de que cambien las propiedades físicas de éstas, que se manifestará en firmeza o endurecimiento de la carne. También es posible una ligera disminución del valor nutritivo cuando participan en la reacción aminoácidos esenciales, tales como la lisina. El pardeamiento no enzimático conduce asimismo a cambios indeseables del gusto (16).

La velocidad a la cual ocurren estas reacciones se ve incrementada marcadamente con la elevación de la temperatura de secado. El daño es siempre el efecto combinado de la temperatura y el tiempo; un material muy sensible puede ser sometido a temperaturas relativamente altas por unos pocos segundos sin que aparezca ningún daño (42).

Al irse concentrando el producto durante el secado las reacciones se irán haciendo más rápidas. El agua por sí misma es necesaria para la reacción, sin embargo la velocidad de oscurecimiento alcanza un máximo con un contenido de humedad intermedia (frecuentemente entre 15 y 20%) durante el secado. Al irse completando el secado, el pardeamiento empieza a hacerse más y más lento; con un contenido de humedad en el rango del 1 al 2% es estable por un largo tiempo, aún a altas temperaturas de almacenamiento.

Si bien, la velocidad de secado puede ser incrementada por el aumento de la temperatura, también se puede favorecer el oscurecimiento con dicho aumento. Las condiciones de operación se deben fijar en apresurar en lo posible el secado, particularmente

en el orden de reducir costos pero no se debe causar un daño al producto más allá de lo tolerable (42).

### 1.3.3 Endurecimiento de la superficie.

Cuando el secado inicial es muy rápido (aire de secado que presenta una fuerte diferencia entre la temperatura de bulbo seco y de bulbo húmedo) el vapor de agua puede eliminarse de la superficie del producto más rápidamente que el que se desplaza del centro del producto hacia la superficie. Estas condiciones originan, algunas veces, una fuerte contracción de la capa superficial que entonces opone una fuerte resistencia al posterior paso del vapor de agua; algunas veces el secado puede transcurrir normalmente pero después de algun tiempo la pieza aparentemente está seca en su superficie, pero el centro está muy húmedo y se puede observar la formación de una piel o barrera sustancialmente impermeable al agua. Este problema es conocido con el término de "costra dura" (10,42).

### 1.3.4 Efecto de encogimiento.

Cuando un alimento se somete a la deshidratación, se contrae en proporción a la salida progresiva de agua fuera de las células. Esta contracción es mucho más pronunciada cuando la deshidratación es lenta y se produce a pesar de la resistencia de los elementos estructurales de los tejidos (10).

Por el contrario, si la deshidratación es rápida, se

forma inmediatamente una capa seca y rígida en la superficie del alimento que "fija" el volumen final del producto. La deshidratación posterior de las partes profundas, va acompañada de desgarramientos y vacíos internos. Entonces, se obtienen productos que conservan su forma inicial, pero que debido a su estructura porosa se rehidratan rápidamente y bien. Sin embargo, estos productos son de embalaje más caro debido a su menor densidad. De aquí la necesidad de que las condiciones de secado sean las adecuadas (10).

#### 1.4 Tipos de Secadores

En el mercado de equipo para la industria química y de alimentos existen un gran número de procedimientos y aparatos de secado, cada uno diseñado para su propia especialidad y algunos lo suficientemente versátiles como para secar más de un tipo de material húmedo; a continuación se dará una clasificación general de los equipos de secado y posteriormente se concretará a describir con detalle el secador de charolas atmosférico e intermitente ya que este fue el secador utilizado para las pruebas de secado de carne.

##### 1.4.1 Clasificación de los secadores.

Los secadores pueden clasificarse de diferentes formas, sin embargo la más usual es según su método de operación, como se muestra en el cuadro 7.



**Cuadro 7. Clasificación de los secadores según su método de operación.**

C o n t i n u o s	Conducción	Atmosféricos	Rotatorio indirecto
			Tambor
		Vacío	Tambor rotatorio
			Banda
	Convección	Bandejas	
		Banda	
		Circulación transversal	
		Rotatorio directo	
		Lecho fluido	
		Neumático	
		Pulverizado	
D i s c o n t i n u o s	Conducción	Atmosférico	Bandejas
			Agitado
		Vacío	Bandejas
			Agitado
	Convección	Bandejas	
		Circulación transversal	
		Lecho fluido	

FUENTE: Nonhebel Gordon, "El Secado de sólidos en la industria química", 19

En este cuadro puede observarse que los secadores pueden dividirse genéricamente en:

- a) Continuos
- b) Discontinuos

A su vez los secadores continuos y discontinuos se subclasifican según la forma de transferencia de calor:

a) Calentamiento por conducción

b) Calentamiento por convección

ocasionalmente la diferencia entre ambos no es muy clara.

La siguiente subdivisión principal es según la presión a la cual trabajan los secadores: atmosféricos o al vacío.

La liofilización puede incluirse en la clasificación como un caso especial del calentamiento por conducción.

Por último se clasifica a los secadores por el tipo de recipiente de secado: bandejas, tambor rotatorio, lecho fluidizado, neumático o pulverización (32).

#### 1.4.2 Secadores de charolas o bandejas.

Los secadores de charolas, esencialmente consisten en unas cámaras o compartimentos donde se ubican las bandejas que contienen el material a secar. Generalmente, las bandejas se colocan sobre bastidores que pueden moverse como unidades para colocarlos en la cámara o ser retirados de ella. Una de las modificaciones de este tipo de secadores es el de bandejas con carretillas, donde las bandejas se colocan en carretillas rodantes que se introducen al secador. Esto significa un considerable ahorro de tiempo, puesto que las carretillas pueden cargarse y descargarse fuera del secador (19,32).

El secado se realiza con aire caliente (u otro gas) soplado sobre las bandejas mediante uno o varios ventiladores. En

algunos casos las bandejas están perforadas y el aire de secado pasa a través del material que está sobre ellas. A veces circula el aire por convección natural y se utilizan también distintos dispositivos para la distribución y recirculación del aire.

Generalmente el calor se suministra mediante vapor de agua el cual circula por serpentines dispuestos dentro o fuera del compartimiento de secado, pudiendo también utilizar calefacción eléctrica.

Las bandejas se fabrican de cualquier material que sea compatible primero con el producto a secar y segundo con las condiciones de corrosión y temperatura prevalecientes. En general, se prefieren las bandejas metálicas, ya que conducen el calor con mayor facilidad. Cuando las características del material a secar y el manejo lo permiten, las bandejas deben tener bases perforadas para proveer una mayor superficie de desecación (38).

Esta clase de secadores es útil para secar casi cualquier tipo de material. Su costo operativo es alto debido a que el trabajo requerido es relativamente grande y ésta consideración restringe su uso a producciones inferiores a 50 kg/h de material seco. Como opera en forma discontinua por lo tanto las condiciones de secado varían durante cada ciclo.

La forma más conveniente de sistematizar el estudio de los secadores de bandejas discontinuos a presión atmosférica, consiste en clasificarlos según su forma de circulación del aire en el secador (32); es decir:

**a) Circulación de aire por convección natural**

Esta es la forma más elemental de secador. La eficiencia es baja y su uso se limita a las instalaciones más primitivas y antiguas; usa dos conjuntos de bastidores intercambiables con bandejas y calefacción mediante serpentines de vapor en los costados a nivel del piso careciendo obviamente de un ventilador.

**b) Circulación forzada de lado a lado sobre las bandejas**

Este tipo de secadores consta de un ventilador que recircula el aire caliente sobre la superficie de las bandejas, paralelamente a las mismas, teniendo persianas ajustables que sirven para ayudar a obtener un flujo de aire razonablemente uniforme. Estas unidades tienen un regulador de tiro ajustable, ubicado a la salida para controlar la proporción de aire recirculado.

**c) Circulación forzada a través de bandejas perforadas**

En esta clase de secadores el aire de secado pasa a través del lecho del material, colocado en una bandeja perforada; por este hecho el aire de secado entra más íntimamente en contacto con el producto, aumentando de este modo el área superficial del producto expuesta al aire y permitiendo un más rápido y homogéneo secado del material. Típicamente la disposición es similar a la de un secador de bandejas común, provisto con los deflectores de corriente necesarios. Se usan comúnmente bastidores fijos para evitar dificultades en la colocación de bastidores

móviles, de tal modo que no circule aire por donde no debe. Las bandejas pueden ser fijas o móviles.

El rendimiento real de un secador está condicionado en buena medida por la naturaleza del producto a secar; los factores de mayor incidencia son: el contenido inicial y final de humedad, la temperatura máxima de secado, la proporción del secado que ocurre en el período de velocidad decreciente y la forma de la curva de secado a velocidad decreciente. Esta incidencia del producto en el funcionamiento global del secador, es particularmente notable en el caso de los secadores de bandeja a presión atmosférica, que admiten materiales en casi cualquier estado físico (32).

## **1.5 Factores que Afectan la Velocidad de Secado**

En este capítulo se revisan brevemente algunos conceptos básicos del secado y posteriormente se analizan los principales factores que inciden en la deshidratación de la carne.

### **1.5.1 Conceptos básicos de secado**

La velocidad de secado y la calidad del producto dependen no solo de las condiciones del medio secante como son: la temperatura, humedad y velocidad del aire de secado; también influyen las características propias del alimento como son: capacidad de retención del agua (CRA), su contenido de humedad, la forma de presentar el producto al secarlo y los cambios que

sufrió este antes del secado, por ejemplo: como influye el haber cocido y salado la carne, o cual es el efecto de la geometría y el tamaño o de la densidad de carga en la velocidad de secado.

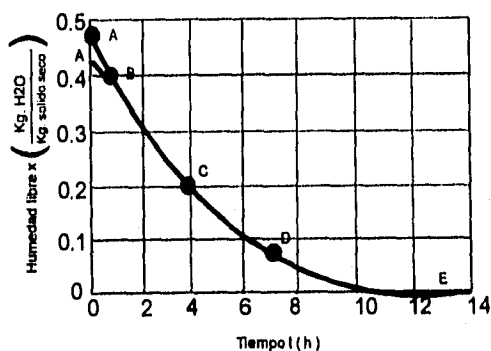
La pérdida del agua del alimento se debe a la transferencia simultánea de calor y masa: la transferencia de calor se efectúa por convección del aire de secado hacia el producto y la transferencia de agua que ocurre en sentido inverso.

Se distinguen varias fases en el curso del secado de un material, según la velocidad con la que se desarrolla la salida del agua en el curso del proceso. Aunque las curvas difieren de un material a otro presentan en general el aspecto de las representadas en la figura 2 y 3.

Empezando con un tiempo cero, el contenido inicial de humedad libre corresponde al punto A. Al principio, el sólido suele estar a una temperatura inferior a la que tendrá al final, y la velocidad de evaporación irá en aumento. Al llegar al punto B, la temperatura de la superficie alcanza su valor de equilibrio. Este período inicial de ajuste con estado inestable suele ser bastante corto y generalmente se ignora en el análisis de los tiempos de secado.

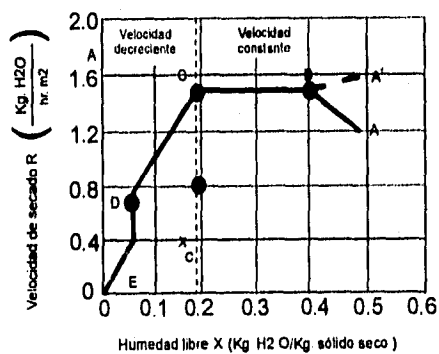
La curva de la figura 2 es recta entre los puntos B y C, por lo que la pendiente y la velocidad son constantes durante este período. Este período de velocidad constante de secado corresponde a la línea BC en la figura 3.

Figura 2. Curva típica de secado. Humedad libre en función del tiempo.



FUENTE. Geankoplis: "Procesos de transporte y operaciones unitarias"; 1991.

Figura 3. Curva de velocidad de secado en función del contenido de humedad libre.



FUENTE. Geankoplis: "Procesos de transporte y operaciones unitarias"; 1991.

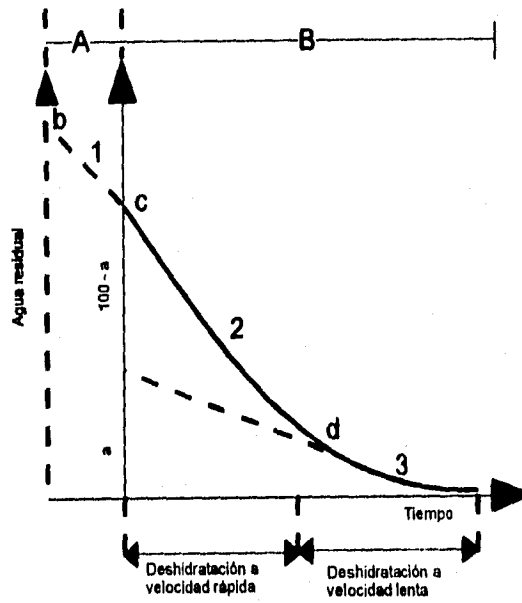
En el punto C de ambas gráficas denominado contenido en humedad crítico, la velocidad de secado comienza a disminuir durante el periodo de velocidad decreciente, hasta llegar al punto D. En este primer periodo de velocidad decreciente, la velocidad corresponde a la línea CD en la figura 3, y por lo general, es lineal.

En el punto D, la velocidad de secado disminuye con más rapidez aún, hasta que llega al punto E. Los periodos de secado descritos pueden no presentarse en todos los casos. Si el contenido en humedad que se desea obtener es mayor que el contenido crítico de humedad, únicamente se presentará el periodo de velocidad constante. En otros casos, el contenido en humedad inicial es menor que el contenido de humedad de equilibrio, por lo que el secado se efectúa en su totalidad en el periodo de velocidad decreciente (19).

En el caso general de secado de carne (figura 4), los dos periodos AB y BC no aparecen, por lo que las curvas se reducen a la parte CD. En el caso de una deshidratación prolongada, se tiene una inflexión más allá del punto C; en esta eventualidad, la deshidratación se efectúa según dos cinéticas: una rápida que afecta al agua libre y la otra lenta que concierne a una fracción del agua libre (20).



Figura 4. Curvas de deshidratación



- 1) de un producto sólido húmedo partes A y B,
- 2) de la carne parte B

FUENTE: Girard J.P. "Tecnología de la carne y productos cárnicos" 1991.

### 1.5.2 Efecto de la temperatura y la humedad.

La ecuación que gobierna la velocidad de secado para el período de velocidad constante, despreciando conducción y radiación, es la siguiente:

$$R_c = \frac{hc(T - T_v)}{\lambda} = k(H_v - H)$$

en donde:

Rc= velocidad de secado ( $\text{Kg}/\text{hm}^2$ )

hc= coeficiente de transferencia de calor ( $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ )

$\lambda$  = calor latente de evaporación del agua a  $T_v$  ( $\text{KJ}/\text{Kg}$ )

T = temperatura de bulbo seco ( $^{\circ}\text{K}$ )

$T_v$ = temperatura de bulbo húmedo ( $^{\circ}\text{K}$ )

K = coeficiente de transferencia de masa ( $\text{Kg}/\text{hm}^2$ )

Hw= humedad del aire a  $T_v$  ( $\text{Kg}/\text{Kg}_{\text{as}}$ )

H = humedad del aire a T ( $\text{Kg}/\text{Kg}_{\text{as}}$ )

Está claro que, aun en el periodo de velocidad decreciente, el material tenderá a secar más rápido a mayor temperatura y menor humedad (excepto posiblemente, en el caso de endurecimiento del material con formación de una capa superficial de baja permeabilidad donde se produce la evaporación, por ello la temperatura máxima a usar la determina muchas veces el mismo material) pero la velocidad de secado es controlada realmente por la velocidad de transferencia de la humedad hacia la superficie, donde se produce la evaporación. Durante el secado la temperatura superficial aumenta desde la temperatura de bulbo húmedo hasta la temperatura de bulbo seco del aire de secado y la transferencia de calor por convección hacia la superficie disminuye en forma correspondiente a pesar de que el coeficiente de transferencia de calor permanece constante.

En forma similar, la influencia de la humedad del aire

de secado disminuirá a medida que el secado avanza; sin embargo, esto se compensa en cierta medida porque en una operación normal con recirculación constante de aire, la humedad de aire en el secador disminuye a medida que disminuye la velocidad de secado.

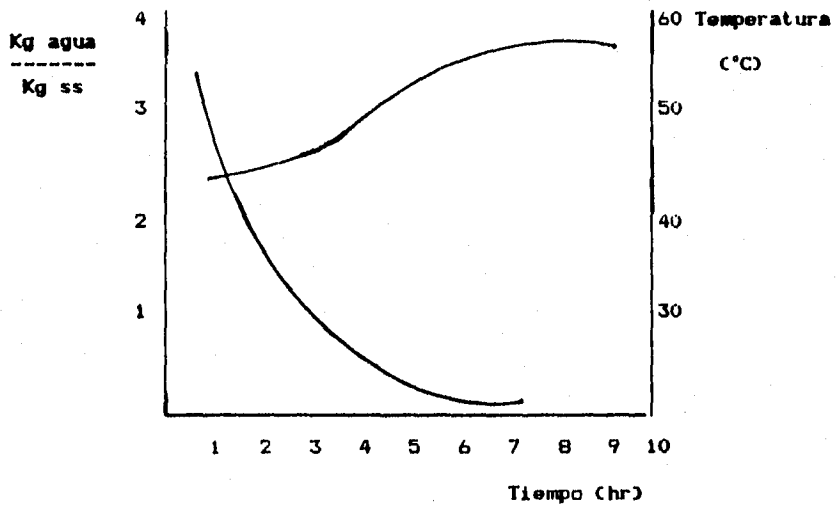
Los secadores de bandeja a presión atmosférica están provistos normalmente de algún control termostático, para mantener la temperatura del aire más o menos constante e independiente de la velocidad de secado. Puede considerarse entonces que la temperatura es constante en todo el ciclo, excepto si se modifica deliberadamente (23).

Para el caso de la carne, la temperatura a la que se realiza el secado es importante, ya que las modificaciones causadas por un exceso de calor se caracterizan por la dureza, fragilidad, sabor y olor a quemado del producto desecado. Cuando el contenido acuoso es aun superior al 77%, el producto tolera durante 2 horas una temperatura del aire de 80°C, pero cuando el contenido acuoso es bajo, incluso resultan perjudiciales las temperaturas de 50°C. Sin embargo, cuando durante todo el proceso se mantiene el aire a una temperatura de 70°C, la calidad del producto se mantiene a un nivel satisfactorio. En la figura 5 se muestra una curva de desecación en la que puede verse el contenido acuoso y la temperatura de la carne en función del tiempo (26).

Las condiciones de operación de la curva mostrada en la figura 5 fueron: velocidad del aire, 180 m/min; temperatura del

aire, 60 °C; humedad relativa del aire, de 40% y carga de la bandeja 10 Kg/m<sup>2</sup> (26).

Figura 5. Curva de desecación de la carne



FUENTE: Lavrie R. A. "Ciencia de la carne" 1977

Puede verse que la temperatura de la carne permaneció relativamente baja (a la temperatura de bulbo húmedo) hasta que el contenido acuoso se redujo aproximadamente a la mitad. Justamente en este momento la velocidad de desecación disminuye debido al elevado contenido graso de la carne, el cual al principio no interfiere con la deshidratación (26).

### 15.3 Efecto de la Velocidad del Alvo.

La velocidad de la corriente de aire de escape,  $V_{ex}$ , afecta los coeficientes de transferencia de masa y calor de la forma que el aumento de la velocidad de escape resulta en la velocidad de escape para un sistema de flujo libre. Para este sistema se pueden ver diagramas de flujo que describen el fenómeno de escape.

$$\frac{V_{ex}}{V_{in}} = \frac{V_{ex}}{V_{in}}$$

donde:

$V_{ex}$  = velocidad de escape del sistema

$V_{in}$  = velocidad de entrada del sistema

donde:

$V_{ex} = V_{in}$

$V_{ex} > V_{in}$

$V_{ex} < V_{in}$

$V_{ex} = V_{in}$

La velocidad de escape del sistema afecta la velocidad de escape del sistema.

La velocidad de escape del sistema afecta la velocidad de escape del sistema.

La velocidad de escape del sistema afecta la velocidad de escape del sistema.

La velocidad de escape del sistema afecta la velocidad de escape del sistema.

La velocidad de escape del sistema afecta la velocidad de escape del sistema.

La velocidad de escape del sistema afecta la velocidad de escape del sistema.

La velocidad de escape del sistema afecta la velocidad de escape del sistema.

La velocidad de escape del sistema afecta la velocidad de escape del sistema.

### 1.5.3 Efecto de la Velocidad del Aire.

La velocidad de la corriente de aire de secado afectará los coeficientes de transferencia de calor y materia de tal forma que el aumento de la velocidad de aire determina un aumento en la velocidad de secado para el periodo de velocidad constante. Para este periodo se tienen las siguientes ecuaciones que describen el fenómeno de secado.

$$Rc = \frac{hc(T - Tv)}{\lambda} = \frac{aG^n(T - Tv)}{\lambda}$$

donde:

a y n son factores que dependen del tipo de flujo del aire ya sea paralelo o perpendicular y dependen además de la velocidad del aire. De manera que:

$$G = \rho V \times 10^3$$

$$G = \text{masa velocidad del aire (Kg/hm}^2\text{)}$$

$$\rho = \text{densidad del aire (Kg/m}^3\text{)}$$

$$V = \text{velocidad del aire (m/h)}$$

La velocidad del aire se controla habitualmente mediante un motor conectado a un ventilador y en la práctica, es independiente de las demás condiciones de secado; la única limitante la impone el producto ya que una velocidad excesiva trae consigo el riesgo de que el aire arrastre parte del material. En general, una vez fijada la velocidad del aire puede suponerse que no habrá variaciones durante el ciclo de secado a menos que se

impongan intencionalmente. También es importante tener en cuenta la uniformidad de la corriente de aire, pues la mala distribución del aire, provoca diferencias de secado en bandejas distintas; esto produce incrementos desproporcionados en el ciclo de secado, ya que en la práctica no se descarga el secador hasta que todo el material esté seco (32).

#### 1.5.4 Efecto de la densidad de carga

El tiempo de desecación de un alimento depende de la densidad de carga; a una mayor densidad de carga se requiere mayor tiempo de secado para llevar al producto a un contenido de humedad final deseado.

La velocidad de secado constante solo depende de las condiciones en la superficie del material y por lo tanto el espesor no influye en este valor. Sin embargo en el periodo de velocidad decreciente la velocidad de secado está controlada por la velocidad de migración del agua a la superficie donde se produce la evaporación, y es evidente que, un incremento en el espesor provocará una disminución de la velocidad media de secado. También puede tener el efecto de aumentar la humedad crítica, con la consiguiente disminución de la velocidad de secado total, debido a la reducción del margen de secado dentro del cual se obtiene la máxima velocidad. Las expresiones cuantitativas del efecto del espesor de la torta dependen entonces del conocimiento cuantitativo de los cambios de la pendiente y de la

forma de la curva de secado a velocidad decreciente y actualmente no son predecibles. Sin embargo el efecto cualitativo es evidente; la velocidad de secado total por unidad de área disminuirá con el aumento del espesor de la torta. Pero el peso del material en el secador aumentará proporcionalmente con el espesor de la torta y es obvio que a un espesor óptimo de carga de las bandejas corresponderá la máxima velocidad de producción de material seco para unas condiciones de secado dadas. Por tal motivo es importante admitir la existencia de esta carga óptima al especificar las condiciones de operación de un secador de bandejas a presión atmosférica (32,35).

#### 1.5.5. Efecto de la recirculación del aire de secado.

Esta operación consiste en recircular una parte del aire que sale del secador y mezclarla con aire fresco calentando esta mezcla hasta la temperatura requerida lo que disminuirá el calor necesario por Kg de agua evaporada. Pero como la humedad media del aire es elevada dará velocidades de secado más bajas (4).

La proporción óptima de recirculación de aire para obtener una eficiencia máxima se encuentra en la zona del 80% al 90% (32).

#### 1.5.6 Efecto de la geometría y del tamaño.

El efecto de la geometría en la velocidad de secado está en función de la superficie específica. Aquellas formas que



presentan una mayor superficie específica se secarán más rápidamente, tal es el caso de las partículas en forma de placa. Pero la forma y el tamaño de las partículas no solo afectan a la superficie de evaporación del agua sino también al recorrido de esta en su difusión a través del producto y a la resistencia del lecho al flujo del aire (10).

Para el caso específico de la carne, el tiempo de desecación no depende del tamaño de las partículas de carne, siempre que este se halle comprendido entre 0.3 y 0.8 cm (26).

#### 1.5.7 Capacidad de retención de agua (CRA)

La CRA es una propiedad de importancia decisiva en la calidad de la carne, tanto la destinada al consumo directo como para la destinada a la industrialización. La ternura, jugosidad y el color están íntimamente relacionados con esta propiedad. Además, todos los procesos tecnológicos de fabricación de productos cárnicos están influenciados por la CRA de la carne. Mientras que en los productos cárnicos cocidos a base de pastas finas, como mortadelas y jamones interesa que la materia prima tenga una elevada CRA, en otros productos cárnicos como chorizo, longaniza y desde luego la carne seca interesa que la carne tenga una baja CRA que facilite la operación de secado (17).

En términos generales, se considera que el 70% del contenido de agua está ubicado en los espacios existentes entre los filamentos gruesos y delgados de la miofibrilla de las

proteínas miofibrilares. Del resto, el 20% en el sarcoplasma y el 10% en el tejido conjuntivo y espacios extracelulares. Generalmente se acepta que una parte pequeña del agua del tejido muscular, aproximadamente un 5%, está fuertemente unida a las moléculas de proteínas y se le considera como agua de hidratación. Esta agua es difícilmente afectada por las modificaciones que pueda experimentar la proteína de manera que los cambios de la CRA de la carne se suelen relacionar con el 95% restante (17).

#### 1.5.7.1 Influencia del pH en la CRA

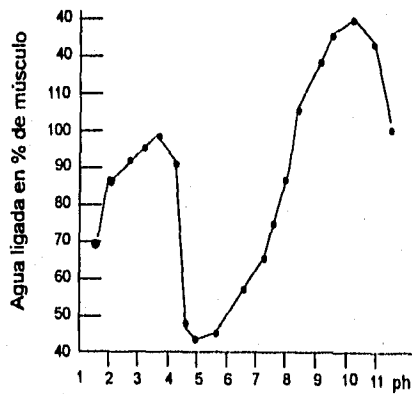
El poder de retención de agua de la carne se muestra muy sensible a las variaciones del pH, como lo ilustra la figura 6. En el terreno de los valores del pH de la carne, esta capacidad es particularmente alta para valores elevados de pH. Para valores bajos de pH, obtenidos por adición de ácido a la carne, esta capacidad es igualmente elevada. En ambos casos, mostrados en la figura, este hecho provoca que la diferencia entre pH y punto isoeléctrico de las proteínas de la carne sea fuerte. Recordemos que el punto isoeléctrico corresponde a un pH para el cual la proteína presenta un mínimo de cargas.

En la figura 6 se observa un mínimo en la CRA a un pH alrededor de 5.0, el cual coincide con el punto isoelectrico de las proteínas miofibrilares. En este punto, donde la carga eléctrica de las proteínas es prácticamente cero, existe un máximo de enlaces iónicos entre ellas y la matriz proteica esta

contraída.

El mínimo de la CRA es consecuencia de la pérdida de atracción eléctrica de los dipolos o moléculas de agua y de la falta de espacio entre las proteínas miofibrilares (20).

Figura 6. Influencia del pH en el poder de retención de agua en carne de bovino.



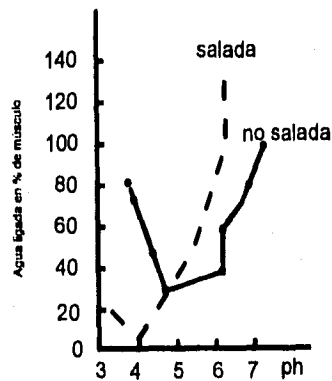
FUENTE: Girard J. P. "Tecnología de la carne y productos cárnicos" 1991

#### 1.5.7.2. Influencia del cloruro sodico en la CRA

La adición de sal a la carne no modifica en absoluto, o lo hace muy ligeramente, el valor de su pH, mientras que por el contrario afecta el punto isoeléctrico de las proteínas cárnicas, consideradas en su conjunto, que disminuye en una unidad aproximadamente para una concentración en sal de 2%. Así, la acción de la sal realiza el poder de retención de agua de las

proteínas de la carne, aunque esta acción es poco sensible para los valores bajos del pH de la carne, y por el contrario, más marcado para los valores más elevados (figura 7) (20).

Figura 7. Efecto de la adición de NaCl en la CRA de carne de bovino, para diferentes valores de pH.



FUENTE: Girard J. P. "Tecnología de la carne y productos carnicos"

### 1.5.8 Efecto de la Adición de NaCl

Además del efecto de predeshidratación (deshidratación osmótica), el tratamiento de salado conduce a la obtención de un producto deshidratado con una actividad del agua inferior a la del no tratado con sal y deshidratado hasta el mismo nivel de humedad residual. De acuerdo con la ley de Rault, este descenso en la actividad de agua es mayor cuanto más elevado es el contenido en

sal del producto (29).

Estas diferencias, sin embargo tienden a reducirse en el periodo de velocidad decreciente y desaparecen en las ultimas fases del proceso (35).

### 1.5.9 Efecto del grado de cocimiento de la carne

El grado de cocimiento de la carne es otro factor importante. Si la carne se cuece excesivamente, la trama del tejido conectivo se convierte en gelatina y, aunque da origen a gránulos secos que se reconstituyen fácilmente, el producto se pulveriza al comprimirlo. Por otra parte, si la carne se halla insuficientemente cocinada la velocidad de desecación es lenta, el producto tiene una textura frágil y seca y, además se reconstituye muy lentamente (26).

Las carnes mejor deshidratadas se obtienen al cocerlas, deshebrarlas y desecarlas tan rápidamente como es posible. Las partículas pequeñas precocidas a bajas temperaturas que oscilan de 74 a 100 °C y con poco contenido de grasa contribuyen a un desecado rápido y a una rehidratación amplia (6).

Brandly (6) reporta que la deshidratación de carne picada cruda no tuvo éxito debido a la rapidez con que se formaba en la superficie una costra dura que impedía la salida del agua hacia el exterior. Sin embargo, cuando la carne es cocida primero en forma de filetes y después se pica y deshidrata bajo condiciones cuidadosamente controladas (sin permitir que la

temperatura se eleve por encima de los 70 °C), se obtiene un producto cuyo sabor y textura apenas se distinguen de los de la carne fresca picada (después de cocinados ambos productos).

#### **1.5.10 Efecto del contenido de grasa en la carne.**

Si el contenido graso en la carne es superior al 35% del peso seco, el tiempo de desecación se prolonga considerablemente, y si es superior al 40% del peso seco la textura porosa de la carne desecada es incapaz de retener la grasa fundida. Por otra parte, cuando el contenido graso es inferior al 35% del peso seco puede obtenerse una carne deshidratada de contenido acuoso satisfactorio en un desecador continuo de aire caliente en tiempo prefijado, a pesar de las variaciones que puedan existir en el contenido graso. En general, no obstante, para la deshidratación es preferible la carne de baja calidad de canales de tipo magro (26).

#### **1.6 Procesos de Elaboración de Carne Seca de Res**

En la bibliografía se encontraron dos métodos para la elaboración de la carne seca.

##### **Método 1. Desecación por aire caliente**

Primeramente se deshuesa la carne, se quita el exceso de grasa y se corta en piezas cúbicas de unos 5 cm de lado. La carne así troceada se cuece en una salmuera en caldera abierta hasta que adquieren una coloración parda; se sacan de la caldera y se

enfrian en corriente de aire filtrado, en una cuba de enfriamiento; posteriormente la carne se deshebra, el deshebrado se extiende en una capa floja y abierta sobre bandejas de tela metálica cargadas con unos 20 kg por metro cuadrado y se introducen en un desecador de armario de corriente superficial. La temperatura de bulbo seco durante la primera hora es de 80 a 82 °C y desciende luego hasta alrededor de 62 °C. La temperatura inicial de bulbo húmedo es de 51 °C (2).

#### **Método 2. Proceso de liofilización**

La carne cruda o cocida en picadillo, filetes o cubos se colocan entre las placas de calentamiento del armario de vacío de placas de contacto, que se colocan inicialmente a 15 °C. La desecación se comienza aplicando el vacío; el enfriamiento evaporativo congela el material o lo conserva congelado si se precongeló; cuando la temperatura cae hasta unos -10 °C, se sube entonces la temperatura de las placas entre 60 y 90 °C, con el correspondiente incremento de la velocidad de evaporación. En las últimas etapas de la desecación se vuelve a reducir la temperatura de las placas, para evitar que el calor dañe al producto (2).

#### **1.7 Rehidratación de la Carne Seca de Res.**

La diferencia entre la carne fresca y la deshidratada lógicamente será mínima si el agua que se ha quitado a esta última puede ser nuevamente reincorporada por rehidratación. La

reincorporación depende de la capacidad de retención de agua del músculo (CRA) (26).

El proceso de rehidratación nunca corresponde a una simple reversión de lo que fué el secado. No solo hay algunos cambios en el producto deshidratado que son irreversibles, sino también el hinchamiento de los tejidos que ocurre cuando el agua es reabsorbida supone un gran estrés, de manera que las estructuras son incapaces de retornar a su configuración original; además de que los solutos de los tejidos tienden a lixiviarse al agua de rehidratación en vez de permanecer en estos contribuyendo a que recobren su turgencia. La carne seca que absorbe solo una fracción del agua original es obvio que ha sido dañada por el secado; sin embargo, aun cuando recuperara el peso inicial, esto no necesariamente significa que la carne ha recuperado su estructura original (42).

La habilidad de reabsorber el agua rápida y completamente es una característica de calidad muy importante en las carnes secas. La pérdida de la capacidad de rehidratación de la carne es debida a la desnaturalización de la proteína (ver factores que afectan la capacidad de retención del agua). A un pH cercano al punto isoelectrico (por lo general 5.0) el tejido muscular pierde agua con mayor facilidad. Cuando el músculo se calienta, sin embargo, hay un cambio hacia el lado alcalino en el punto isoelectrico, de manera que a 80 °C la menor capacidad de retención de agua se encuentra a un pH de 6.1.



También la cantidad de agua absorbida por el producto hidratado decrece conforme la temperatura de secado se eleva (42).

Los métodos de rehidratación influyen considerablemente en la textura y en el aroma tanto de los productos crudos como cocidos. La apariencia y la aceptabilidad mejoran añadiendo al agua de rehidratación un 1.0 - 2.0 % de cloruro sódico o un 0.10 - 0.15 % de pirofosfato sódico. Algunos productos cárnicos pueden rehidratarse con salsas calientes que no deben ser muy espesas para que la reconstitución no sea lenta (39).

## CAPITULO 2. DESARROLLO EXPERIMENTAL Y RESULTADOS

### 2.1 Descripción del Equipo y Material Utilizado

#### 2.1.1 Equipo

##### 1) Descripción del secador utilizado

El secador que se utilizó en las pruebas experimentales fue el secador de charolas intermitente y atmosférico que se encuentra en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán en la nave 2001 de Campo 4. En la figura 8 se muestra dicho secador y en la figura 9 se muestra el diagrama de valvulas y partes del equipo.

Figura 8. Secador de charolas experimental.

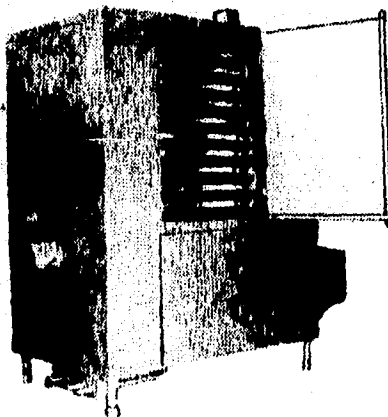
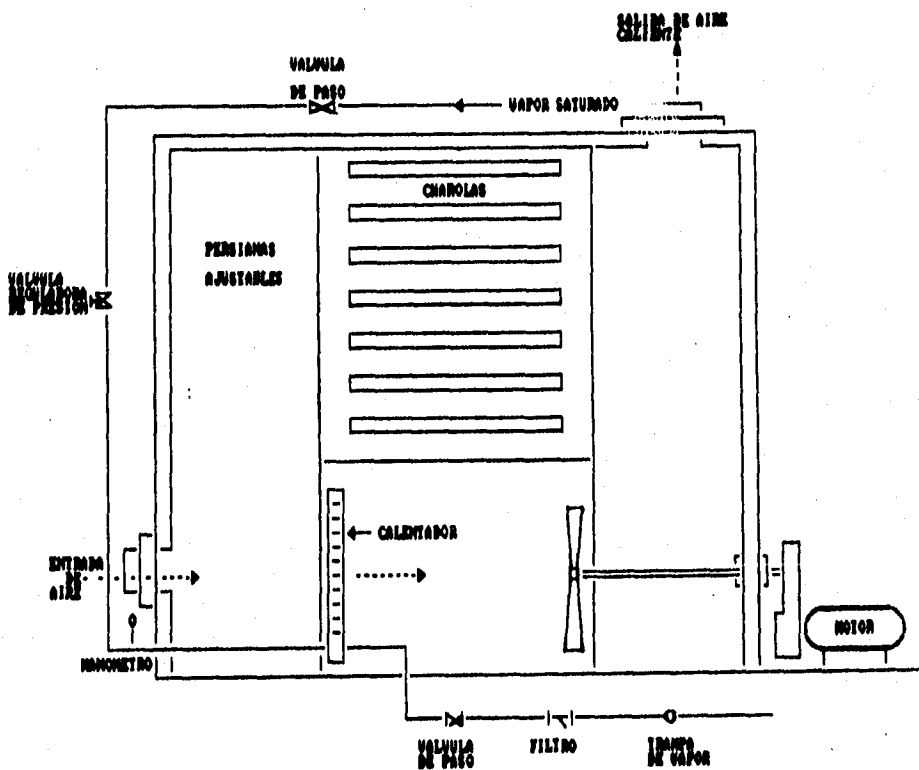


Figura 9. Diagrama de referencia para válvulas y partes del equipo.



En este secador, el aire se mueve mediante un ventilador a través del intercambiador de calor con la finalidad de calentarlo, el medio de calefacción es vapor saturado y es de importancia hacer mención que el intercambiador de calor tiene

conectado un manómetro Bourdon y una válvula reductora de presión para el control de la temperatura del aire de secado. Dicho intercambiador se encuentra ubicado fuera del compartimento de secado. En la cámara de secado del equipo se encuentran los bastidores fijos para colocar las charolas.

El secador empleado tiene las siguientes características generales:

- \* Dimensiones externas: ancho 112 cm x altura 213 cm x 173 cm de largo
- \* Dimensiones de la cámara de secado: largo 75 cm x ancho 101 cm x altura 107 cm
- \* Número de charolas: 20
- \* Dimensiones de cada charola: 75 cm de largo x 50 cm de ancho con malla perforada.
- \* Número de ventiladores: 1 de tipo axial
- \* Diámetro del ventilador: 71.3 cm
- \* Número de aspas del ventilador: 13
- \* Motor: eléctrico trifásico
- \* HP del motor: 0,25
- \* R.F.M. del motor: 840

Calentador o intercambiador de calor:

- \* Dimensiones: largo 56 cm x ancho 26.5 cm x alto 56 cm
- \* Tipo de tubos: aletados
- \* Número de tubos: 98

- \* Diámetro exterior: 0.588 cm
- \* Longitud: 54.3 cm
- \* Número de aletas por tubo: 107
- \* Área de transferencia de calor: 9 m<sup>2</sup>
- \* Diámetro interno de los ductos de entrada y salida del aire: 20 cm

El procedimiento de operación del secador de charolas se describe a continuación:

- a) Cerrar la puerta de la cámara de secado.
- b) Poner en marcha el ventilador.
- c) Abrir las válvulas de purga del equipo.
- d) Abrir la válvula de vapor lentamente para purgar la línea.
- e) Cerrar la válvula de purga del equipo.
- f) Controlar con la válvula reguladora, la temperatura del aire de secado.
- g) Cargar manualmente el material a secar en las charolas.
- h) Colocar las charolas en el interior del secador.
- i) Extraer una muestra del secador casi al final del secado, para checar la humedad.

Una vez que se completa la deshidratación del material, se procede a detener el funcionamiento del equipo de la siguiente manera.

- a) Cerrar las válvulas de suministro de vapor.
- b) Detener el ventilador.

- c) Descargar las charolas del material seco.
- d) Limpiar las charolas y colocarlas dentro del secador.

## 2) Estufa de desecación

- Marca BLUE M, modelo Thelco
- Dimensiones de la cámara de secado: 48 cm de largo \* 38 cm de ancho \* 46 cm de alto
- Control automático de temperatura, temperatura máxima de operación: 250 °C; temperatura mínima: 25 °C
- Flujo de aire: 27 m<sup>3</sup>/hr

## 2.1.2 Material e Instrumentos

### 1) Balanza electrónica digital

- marca: OHAUS. 120 volts, 60 ciclos
- peso máximo: 8 000 g
- peso mínimo: 0.1 g
- precisión: 0.1 g

### 2) Termohigrómetro

- marca: LUFFT, Cole Parmer Instrument Company
- modelo: No. 3310 - 00
- diámetro de la carátula: 13.3 cm
- margen de temperatura: mínima 0 °F, máxima 82 °F
- margen de humedad: 0 - 100%

**3) Anemómetro**

- marca: JULES RICHARD
- diámetro del ventilador: 9.3 mm
- número de aspas: 8

**4) Soporte de malla para la carne con orificios cuadrados de: 0.05 x 0.05 cm**

- de forma semi-cúbica: 10.5 x 10.5 x 8 cm
- del forma cilíndrica: 19 cm diámetro x 15 cm de altura

**5) Cronómetro**

**6) Recipiente de aluminio**

- dimensiones: 17.5 x 18.5 cm
- capacidad: 3.55 lt

**7) Balanza Analítica METTLER, sensibilidad de 0.1 mg**

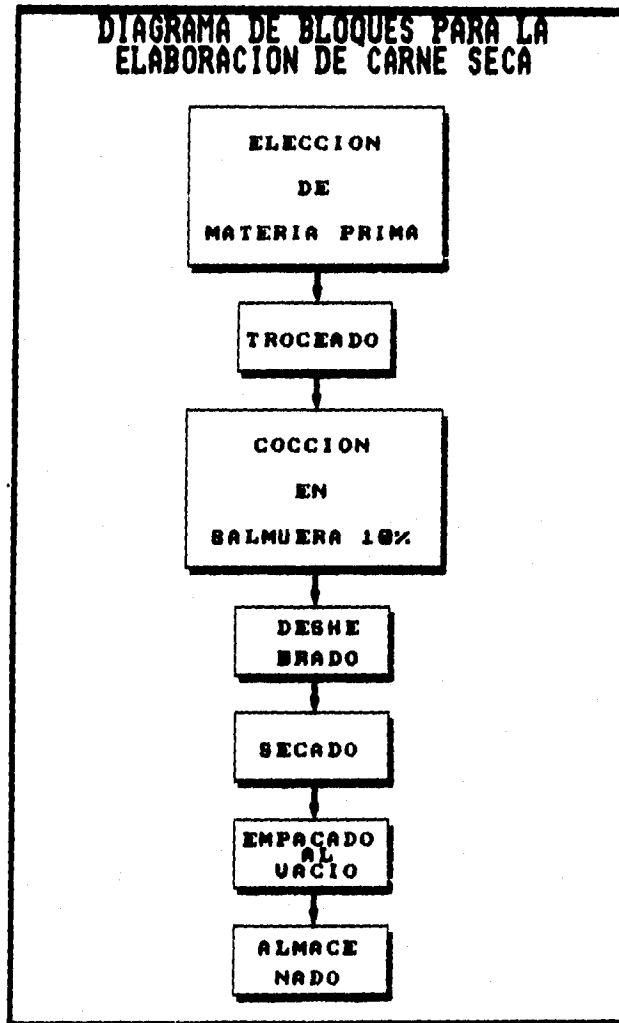
**8) Termómetro con escala de 0 a 110 °C**

**9) Material de vidrio de laboratorio**

**2.2 Diagrama de Elaboración de la Machaca y Descripción del Proceso.**

Por la imposibilidad de elaborar la machaca por el proceso de liofilización, dado que no se cuenta con el equipo necesario, se optó por elaborarla por el método de desecación con aire caliente. El diagrama de elaboración se presenta en la siguiente página.

**DIAGRAMA DE BLOQUES PARA LA  
ELABORACION DE CARNE SECA**





### **Elección de la materia prima.**

En general la carne que se utiliza para la elaboración de machaca puede provenir de cualquier parte de la canal bovina (incluso puede ser de la limpieza de los huesos) siempre y cuando se limpie previamente del exceso de grasa y cartilagos.

Para la elaboración de la machaca se pueden utilizar carnes consideradas mal trabajadas o de baja calidad con un pH alto, lo que las hace inadecuadas para productos madurados ya que la reserva de glucógeno está agotada. La carne debe de tener buena calidad sanitaria y no estar a punto de putrefacción. Pueden usarse carnes mal desangradas pues la cocción cubre lo que para carnes que se venden frescas es un criterio de calidad como el color rojo (17).

De las marcas comerciales de machaca ninguna especifica en el envase la región anatómica del bovino de la cual se obtuvo la carne. Solo especifica "carne seca de res".

La carne elegida como materia prima fue la proveniente del cuarto trasero de la canal bovina que es comercialmente conocida como "falda". En el cuadro 8 se presenta su composición química.

La razón por la cual se eligió dicha parte es por presentar las siguientes características que la hacen adecuada para el proceso:

- \* tejido magro.
- \* tejido fibroso que la hace fácilmente deshebrable una

vez cocida.

\* escasa en tejido conjuntivo.

Cuadro 8 Composición química de la falda

(100 gramos de porción comestible cruda)		
Agua	(%)	71.7
Proteína	(gr)	14.4
Grasa	(gr)	5.7
Carbohidratos	(gr)	0.0
Calcio	(mg)	12.0
Fósforos	(mg)	180.0
Hierro	(mg)	3.2
Vitamina A	(UI)	10.0
Tiamina	(mg)	0.09
Riboflavina	(mg)	0.19
Niacina	(mg)	5.2

FUENTE: Charley H. "Tecnología de los alimentos"

#### Troceado.

La carne fue proporcionada por el Taller de Carnes de la FES-Cuautitlán: ésta venía en forma de filete. En el mercado hay marcas que presentan la machaca en forma de filete; esta presentación tiene el inconveniente de que la fracción grasa es perfectamente visible y, además, la carne tendría que ser deshebrada por el consumidor para hacer el típico machacado. El troceado de la carne presenta las siguientes ventajas adicionales: como el tiempo de cocción se ve afectado por el tamaño de la pieza, al trocear la carne este tiempo se reduce, además de facilitar la penetración de la sal y el posterior deshebrado. La carne cruda se troceó en tiras de aproximadamente 10 cm de largo

por 5 cm de ancho y 2 cm de grosor.

#### **Cocción.**

La carne se coció durante una hora a temperatura de ebullición de la salmuera al 10% (96 °C) de acuerdo a la determinación de cloruros al producto comercial.

La cocción permite un buen deshebrado, facilita el secado de la carne y la rehidratación de la misma (6).

#### **Deshebrado.**

En el proceso de deshidratación de carne, es esencial que la relación entre la superficie y el volumen de la carne sea elevada para facilitar la desecación por la corriente de aire y por ello se utiliza como materia prima carne deshebrada.

El deshebrado se realizó manualmente y su importancia radica en el aumento del área superficial expuesta a la corriente de aire y por consiguiente la disminución en el tiempo de secado y que éste sea más homogéneo ya que facilita el flujo de aire a través del lecho. Otra de las razones por la cual se deshebra es porque ésta es la forma típica de presentar el producto. Comercialmente existen máquinas que realizan el deshebrado. Estas máquinas operan de la siguiente manera.

Una vez cocida la carne se hace pasar a la máquina deshebradora, la cual corta primero la carne en rebanadas y posteriormente por acción de unas cuchillas rotatorias queda en

forma de hebras o tiras. Las hebras se obtienen por el tipo especial de cuchillas y el espacio entre ellas (15).

Otro equipo utilizado para el deshebrado de la carne es el denominado "squirrel cage". Este consiste en dos jaulas cilíndricas concéntricas dotadas de unas cuchillas que alcanzan toda su longitud instaladas en el interior de una carcasa. Al rodar estas dos jaulas en direcciones opuestas, la carne es sometida al pasar entre ellas a potentes fuerzas de corte y cizallas (15).

#### Secado

El secado de la carne se llevó a cabo en el secador de charolas intermitente y atmosférico de la FES-C ubicado en la nave 2001 de campo 4. En la figura 8 se muestra el secador utilizado. Las condiciones de secado fueron las siguientes:

- \* Temperatura del aire de secado:  $60\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$
- \* Velocidad del aire: 3 m/s
- \* Humedad relativa del aire: 15%
- \* Densidad de carga: 20 Kg/m<sup>2</sup>
- \* Circulación del aire: transversal

La justificación de la elección de dichas condiciones de secado se detallan en el apartado 2.4.

#### Empaque.

El efecto conservador de la cocción de la carne debe

reforzarse con un manejo higiénico y desde luego con un correcto empaqueo de la carne ya seca para su posterior distribución y venta. Si se toma en cuenta que la carne seca no lleva más conservador que la sal común será entonces el empaque el que la protegerá de una posible contaminación ya que es en el empaque en el que pasa la mayor parte del tiempo antes de ser consumida; de tal manera que la elección del empaque correcto es de vital importancia.

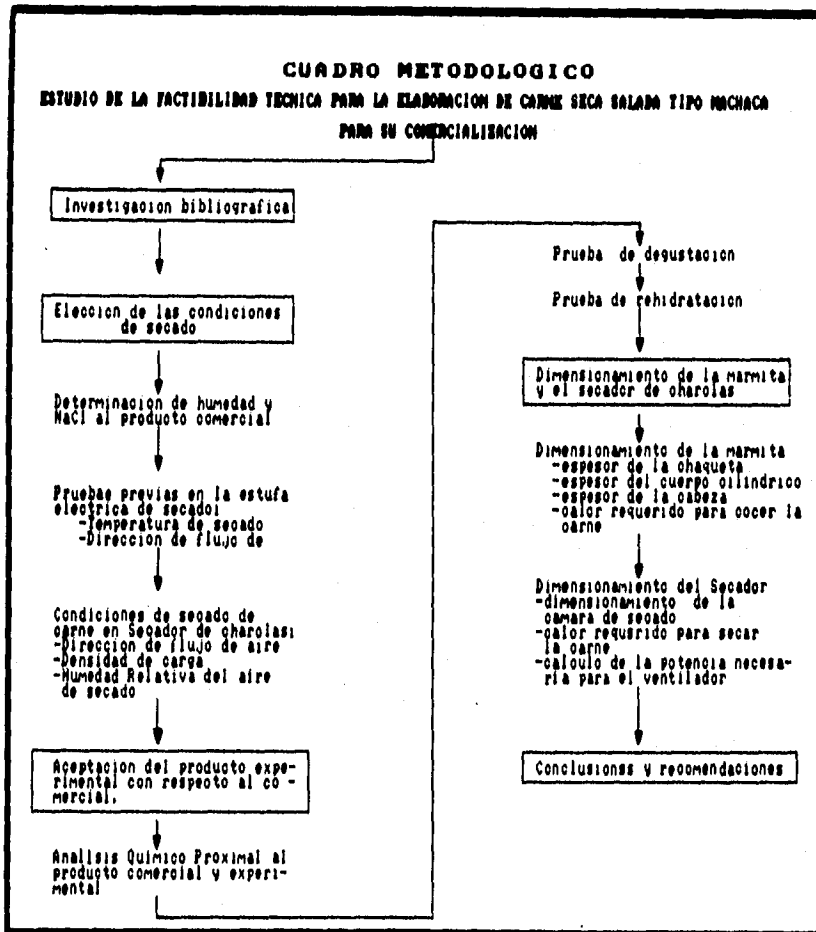
Es recomendable para los productos deshidratados que el empaqueo se haga al vacío y con un material impermeable al vapor de agua y al oxígeno, esto con la finalidad de evitar la absorción del agua del aire ambiente por la carne seca y la oxidación de las grasas. La presentación comercial de la machaca se hace en bolsas polipropileno y polietileno; la carne seca se empacó a una presión de vacío de 0.4 bar en bolsas de polietileno de alta densidad con una permeabilidad al vapor de agua de 1 g/m<sup>2</sup> día (2) por ser este material el recomendado para carne seca además de estar disponible en el Taller de Carnes. Este empaque tiene la ventaja de permitir la apreciación visual del producto.

#### **Almacenado.**

El almacenamiento de la carne seca debe hacerse en un lugar seco, fresco, protegido de la luz solar y de plagas (2).

### 2.3 Cuadro Metodológico

En el cuadro metodológico se presenta de manera esquemática la secuencia seguida durante el desarrollo del presente trabajo.



## 2.4 Elección de las Condiciones de Secado

### 2.4.1. Determinación de humedad y cloruro de sodio a la carne seca comercial.

Con la finalidad de tener una referencia de las características que tienen las diversas presentaciones comerciales de carne seca, se seleccionó aquella que tenía mejores características físicas como son: apariencia, forma de presentar el producto, olor y sabor.

Se determinó humedad y Cloruros a la carne comercial. La primera con la finalidad de saber a que humedad final llevar el producto experimental y la segunda como referencia de la concentración de sal en la salmuera.

La determinación de humedad al producto comercial dio como resultado un 16.5% por lo que el producto experimental se llevó a esta humedad final.

Bifani (4) recomienda usar la salmuera a la mayor concentración posible que tolere el producto, esto con el fin de secar lo más posible la carne durante la cocción y que ayude a la conservación del producto y de la misma salmuera para su reutilización.

Como primera prueba se coció 0.5 Kg de carne en 1 litro de salmuera al 15% en peso en el recipiente de aluminio durante una hora, utilizando como fuente de energía gas doméstico.

Una vez deshidratada la carne se observó un color no

uniforme ya que presentaba tonalidades blanquecinas y un sabor a sal casi intolerable lo cual indica la presencia excesiva de sal. Por este motivo se le determinó Cloruros a la carne comercial (33), obteniéndose un resultado de 7.21%. Por lo que se cocio la carne en una salmuera al 10%, la cual ya deshidratada presento 7.45% de cloruros.

#### **2.4.2. Pruebas previas en estufa eléctrica.**

Se realizaron pruebas previas en la estufa eléctrica de desecación disponible en el laboratorio de la nave 2001 para la determinación de las condiciones de secado a manejar en el secador de charolas para lo cual se empleó el soporte de forma semicúbica.

La cantidad de carne cocida y deshebrada que se empleó en cada prueba fue la misma: 80 g, con densidad de carga de 7.25 Kg/m<sup>2</sup>; la humedad final a la que se llevaron todas las muestras fue siempre la misma, 16.0% en peso según el contenido de humedad del producto comercial; el registro de la disminución del peso durante el secado se llevó a cabo pesando la carne en la balanza digital cada cinco minutos.

##### **2.4.2.1 Temperatura de secado**

La temperatura máxima recomendada bibliográficamente para el secado de carne cocida es de 70 °C (6), pero los resultados sensoriales que se obtuvieron al experimentar con esta temperatura fueron adversos ya que resultó demasiado alta



impartiendo a las hebras superficiales una apariencia quebradiza, debido al excesivo secado de las mismas, observándose además que las hebras centrales estaban húmedas indicando un secado no uniforme. Por tales razones se redujo la temperatura del aire de secado a 60 °C. Con estas condiciones se obtuvieron mejores resultados ya que las hebras superficiales no se quebraban; pero la carne que se encontraba en el centro del lecho aun permanecía muy húmeda. En la figura 10 se muestran las curvas correspondientes para ambas temperaturas.

Para la elaboración de las gráficas se procedió a registrar la disminución del peso de la carne conforme transcurria el tiempo de secado cada 5 minutos. De los datos experimentales se procedió al tratamiento con el siguiente método de acuerdo con Geankoplis (19):

$$m = m_v + m_{ss}$$

$$m_{ss} = m - m_v$$

$$H_b = m_v / m_{ss}$$

$$H_m = \frac{H_{b(1)} + H_{b(2)}}{2}$$

$$R = - \frac{M_{ss}}{A} \frac{H_{b(1)} - H_{b(2)}}{\Delta t}$$

donde:

$m$  = masa total de carne cocida (Kg)

$m_{ss}$  = masa de sólidos secos (kg)

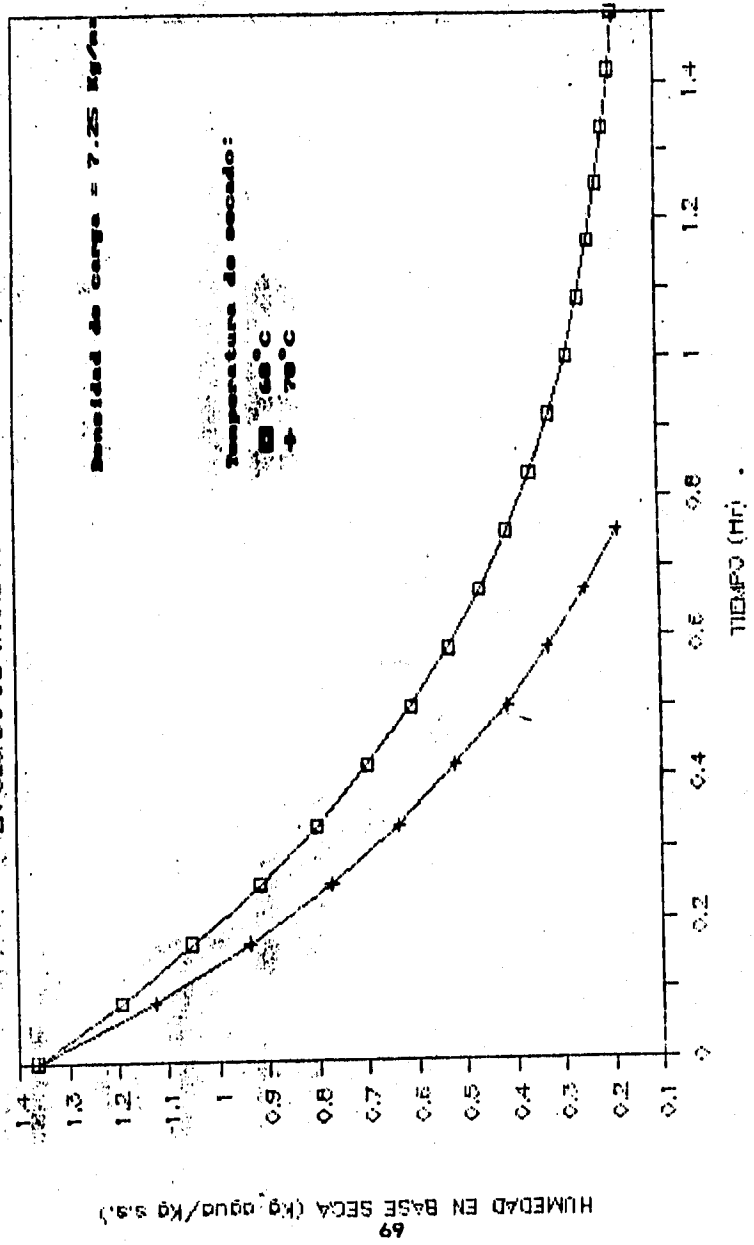
$m_v$  = masa de agua en la carne (Kg)

$H_b$  = humedad en base seca (Kgagua/Kgsólido seco)

$H_m$  = humedad media (Kgagua/Kgsolido seco)  
 $R$  = velocidad de secado (kg agua/h  $m^2$ )  
 $\Delta H$  = diferencia de humedad (Kgagua/Kgsolido seco)  
 $\Delta t$  = diferencia de tiempo (h)  
 $A$  = Area de charola ( $m^2$ )  
 $t$  = tiempo de secado (h)

Como se observa de la figura 10, el tiempo total de secado se reduce al aumentar la temperatura del aire de secado; sin embargo, por lo expuesto anteriormente, la temperatura seleccionada para el secado de la carne es la de 60 °C.

FIGURA 10. EFECTO DE LA TEMPERATURA  
EN SECADO DE CARNE CON FLUJO PARALELO



#### 2.4.2.2. Eleccion de la direccion de flujo del aire.

Las pruebas indicadas anteriormente fueron con flujo de aire en paralelo debido a que la estufa está diseñada para trabajar con este flujo. Como ya se indicó, la temperatura de secado fue de 60 °C y el producto no se secó homogéneamente.

Al realizar las pruebas con flujo paralelo en el secador de charolas, el tiempo de secado se redujo en 10 minutos pero la apariencia fue la misma que la obtenida en la estufa de secado. En la figura 11 se muestran las curvas de secado tanto de la estufa como del secador. Como se observa hay un comportamiento similar en la forma de las curvas de secado, la diferencia radica en los últimos 20 minutos donde hay una disminución en la velocidad de secado de la carne en la estufa con el correspondiente aumento en el tiempo total de secado esto debido a las diferentes velocidades del aire de secado en ambos equipos.

Debido a que no se obtuvieron resultados satisfactorios en cuanto al secado de carne con flujo en paralelo, se decidió realizar las pruebas con flujo transversal en el secador de charolas, para lo cual fue necesario colocar un soporte de malla en el ducto de salida del aire de secado para obligar al aire a circular por el ducto se cerraron todas las persianas, lo cual dio como resultado un producto de mejor apariencia: no quebradiza, color café característico y olor característico a carne seca ya que el secado fue más homogéneo, el tiempo de secado se redujo en 69 minutos (de 80 a 11 min.), en la figura 12 se muestran las

**FIGURA 11. SECADO DE CARNE**  
**CON FILLO EN PARRILLO**

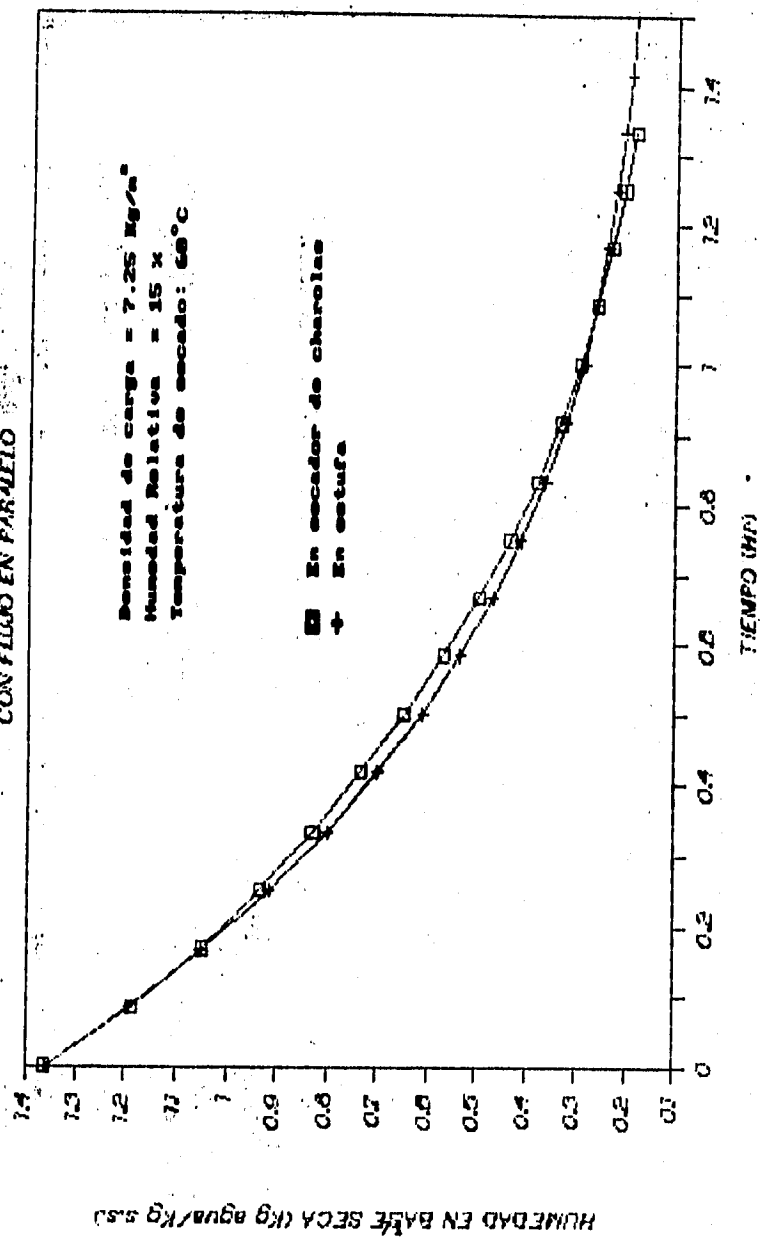
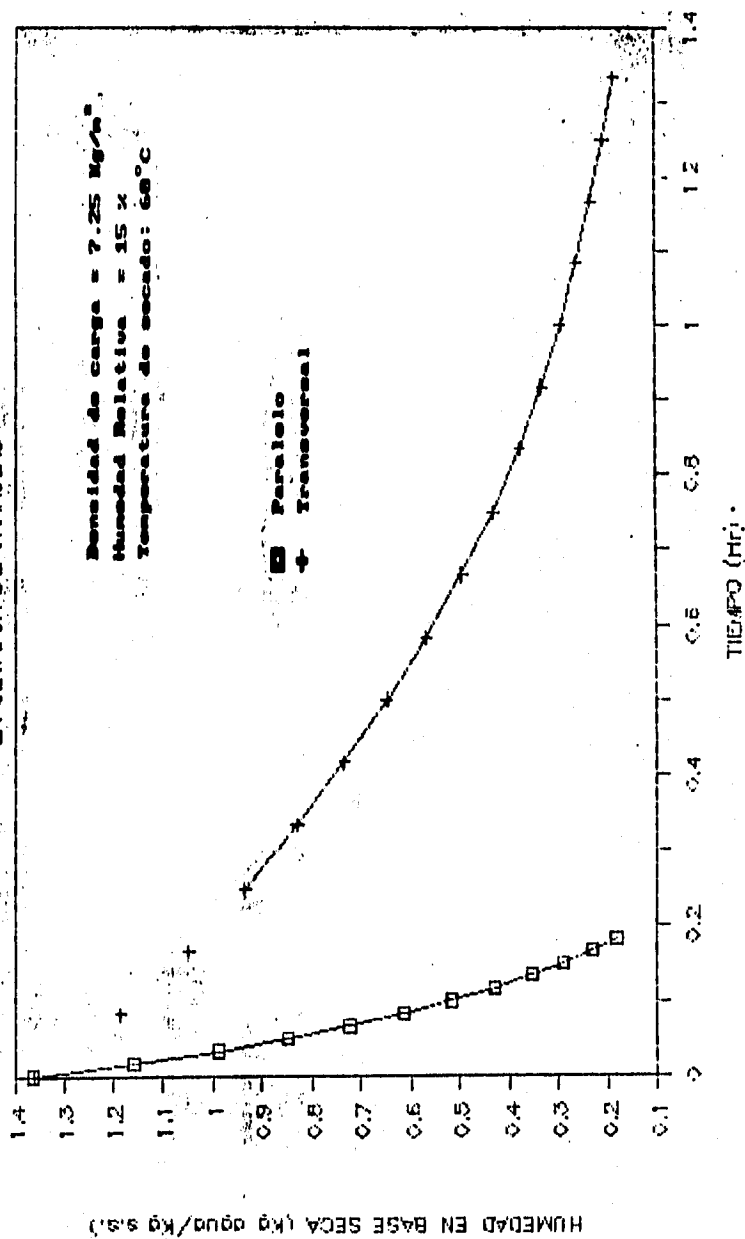


FIGURA 12. EFECTO DE DIRECCION DEL AIRE  
EN SECADOR DE CHAFOLAS



curvas de secado con flujo de aire en paralelo y transversal al lecho de carne. Al comparar las curvas de la figura 12 se observa que bajo las condiciones de trabajo empleadas, el efecto de la velocidad y dirección del medio secante son muy importantes en la cinética de secado de la carne pues influye no solo en las velocidades de secado sino también en la apariencia del producto.

Por lo anteriormente expuesto se decidió trabajar en las siguientes pruebas con flujo de aire transversal al lecho de carne.

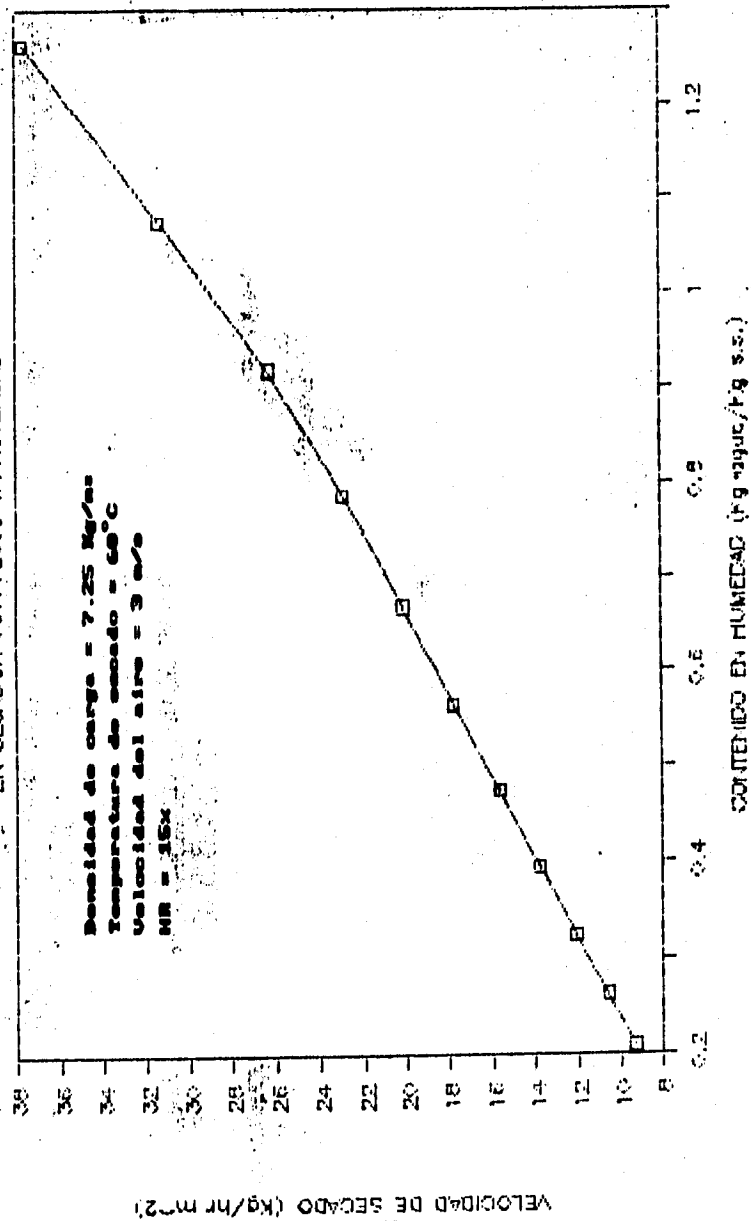
#### 2.4.2.3 Efecto de la densidad de carga.

En el apartado 1.5.4 se mencionó con detalle el efecto que tiene la densidad de carga en la velocidad de secado y su importancia económica. Por tal motivo una vez determinada la temperatura de bulbo seco, 60°C; velocidad del aire de secado, 3 m/s; dirección de flujo del aire, transversal; se procedió al estudio de la cinética de secado de la carne a distintas densidades de carga: 7.25, 10, 15, 20 y 25 kg/m<sup>2</sup>. En las figuras 13, 14, 15, 16 y 17 se presentan las curvas de velocidad de secado para cada densidad de carga. Como puede observarse en estas curvas no existe periodo de velocidad constante solo el periodo de velocidad decreciente. En la figura 18 se presentan las curvas de secado para dichas densidades de carga.

FIGURA 13. SECADO DE CARNE

EN SECADOR CON FLUJO TRANSVERSAL

Densidad de carga = 7.25 kg/m<sup>2</sup>  
Temperatura de secado = 60°C  
Velocidad del aire = 3 m/s  
MR = 15%

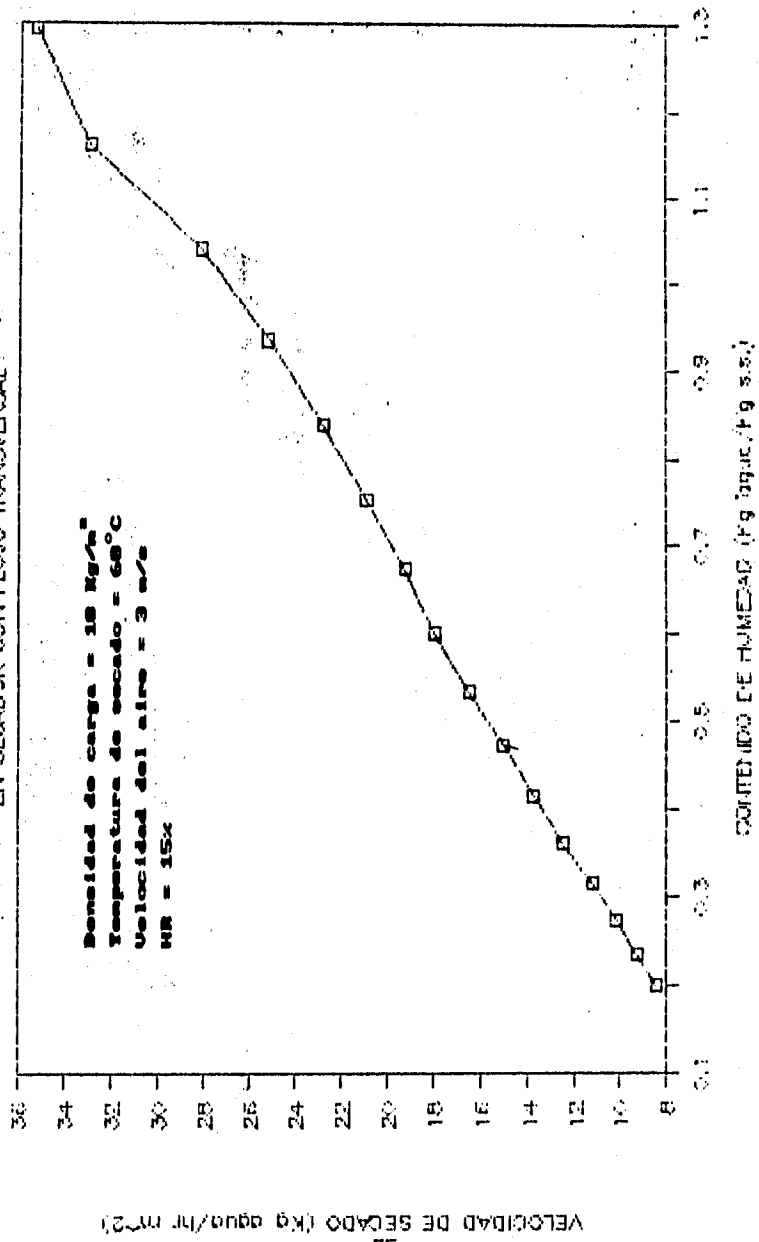


VELOCIDAD DE SECADO (kg/hr m<sup>2</sup>)



FIGURA 14. SECADO DE CARNE

EN SECADOR CON FLUIDO TRANSVERSAL



**FIGURA 15. SECADO DE CARNE**  
 EN SECADOR CON FLUJO TRANSVERSAL

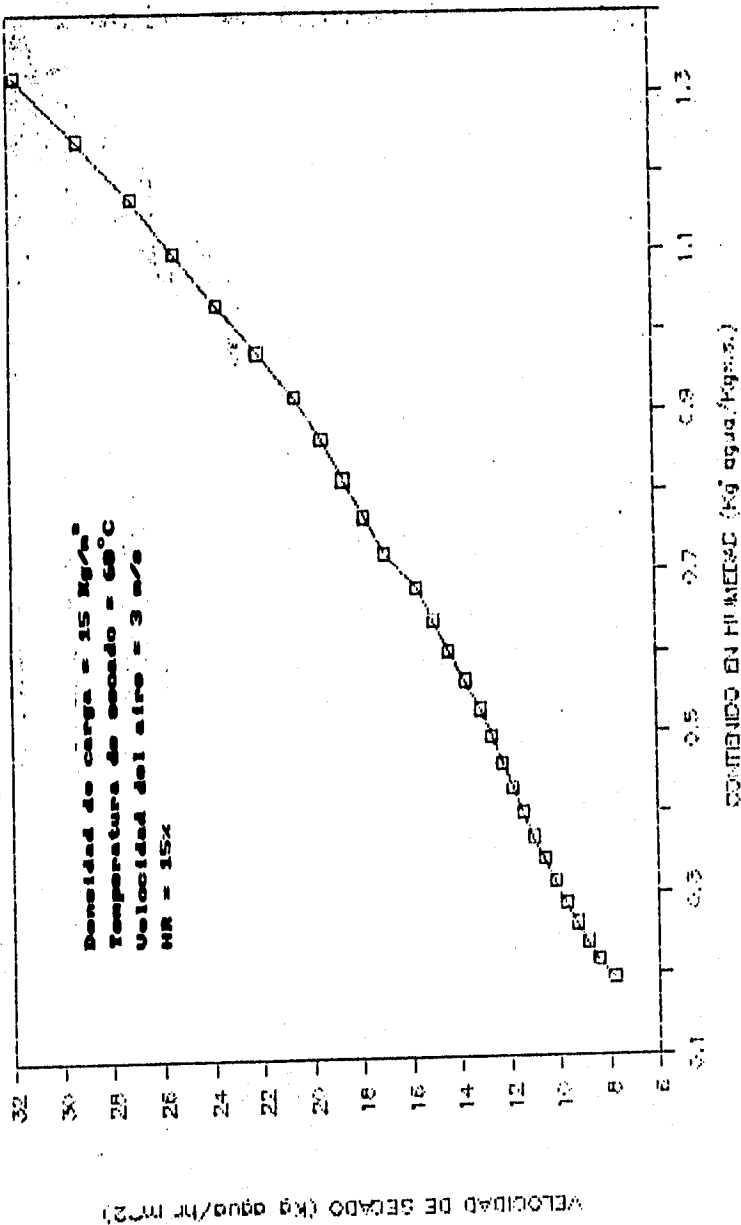
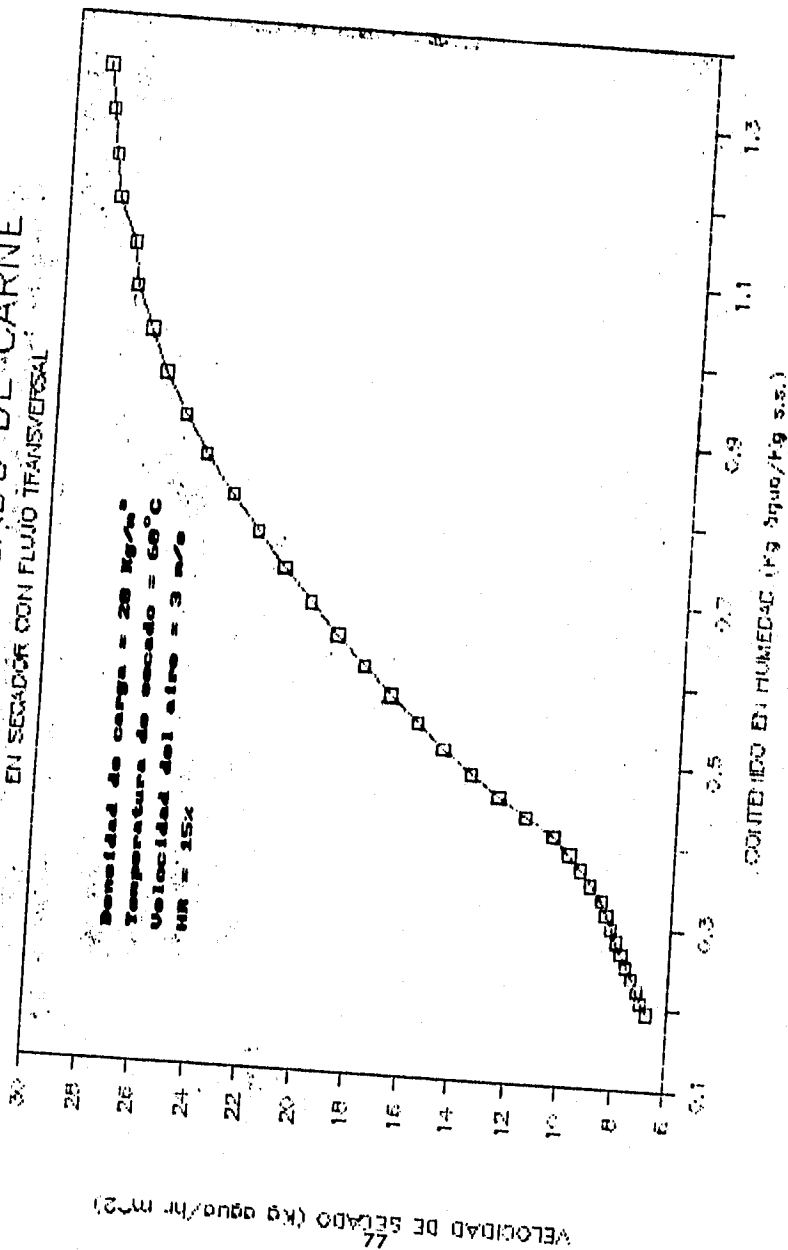


FIGURA 16. SECADO DE CARNE  
 EN SECADOR CON FLUJO TRANSVERSAL



VELOCIDAD DE SECADO (kg agua/hr m<sup>2</sup>)

## FIGURA 17. SECADO DE CARNE

EN SECADOR CON FLUJO TRANSVERSAL

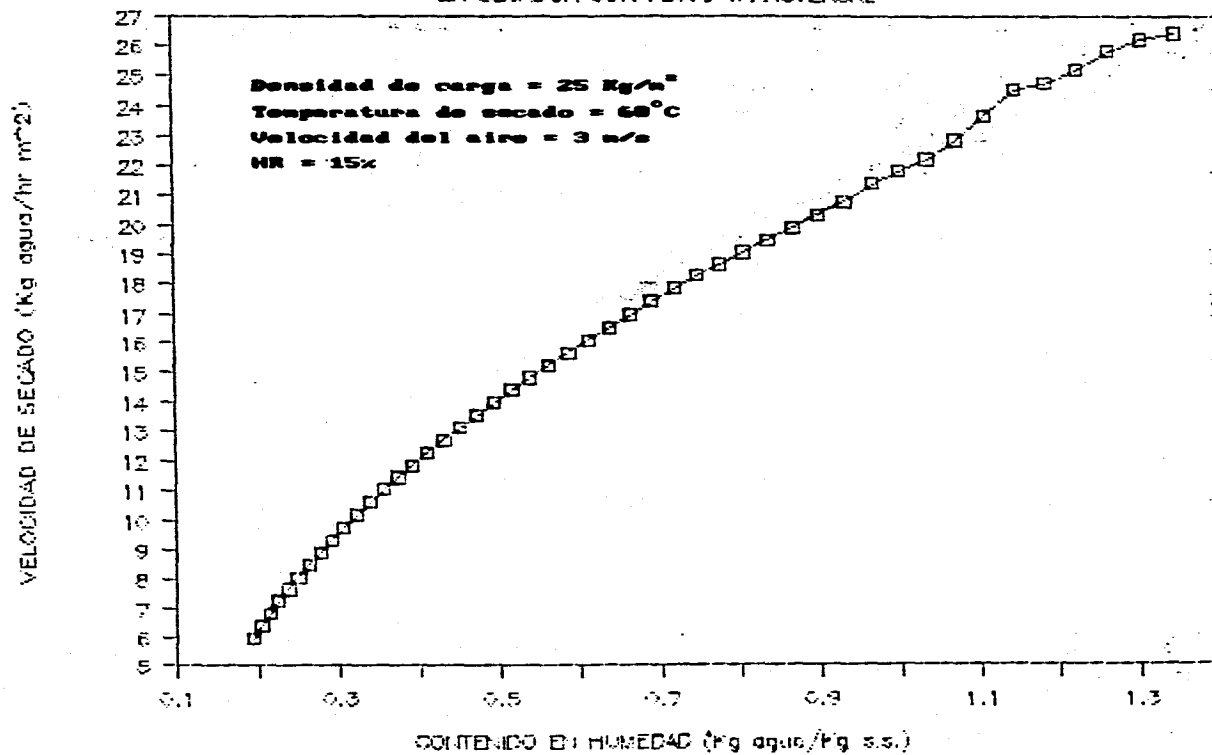
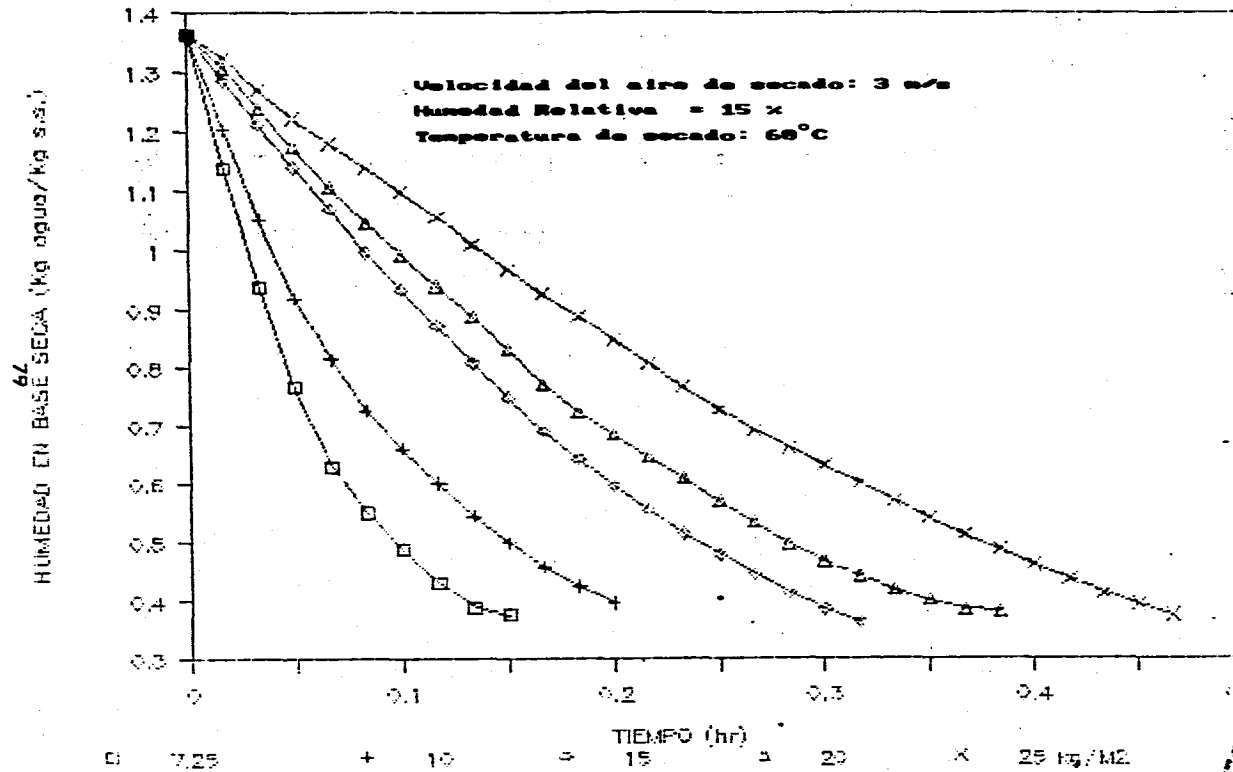


FIGURA 18. EFECTO DE DENSIDAD DE CARGA  
EN SECADO DE CARNE, FLUJO TRANSVERSAL.



ESTA TESIS  
 SALIÓ DE LA  
 BIBLIOTECA  
 NO DEBE  
 REENTRARSE

Los tiempos de secado de la carne en todos los experimentos son relativamente cortos, menos de una hora (ver cuadro 9), ésto debido a lo siguiente:

Se ha eliminado previamente el 44.29 % del agua en el cocido de la carne ( del 71% de humedad en el corte fresco al 57.7 % humedad que contiene la carne cocida en salmuera) y que correspondería al agua a eliminar en el periodo de velocidad constante, como lo expuso Omoloso (20).

Cuadro 9. Efecto de la densidad de carga en el tiempo de secado con una humedad final de 0.19 Kg agua/ Kg sól. seco.

DENS.CARGA (Kg/m <sup>2</sup> )	TIEMPO DE SECADO (hr)	MASA CARNE INICIAL (Kg)	MASA CARNE FINAL (Kg)	PRODUCTO/ TIEMPO
7.25	0.1833	0.2055	0.1028	0.5608
10	0.2667	0.2835	0.1419	0.5320
15	0.4667	0.4253	0.2133	0.4570
20	0.6000	0.5670	0.2850	0.4750
25	0.7873	0.7088	0.3568	0.4531

Como se observa en el cuadro 9 y en la figura 1B el comportamiento general es el esperado: es decir, conforme aumenta la densidad de carga disminuye la velocidad de secado con el correspondiente incremento en el tiempo total de secado. Considerando que a la mayor densidad de carga corresponde la mayor producción de carne seca que en este caso es la de 25 kg/m<sup>2</sup> pero como el producto no se seca homogéneamente se descarta esta densidad; la que le sigue en cantidad es la de 20 kg/m<sup>2</sup>, con un secado homogéneo. Considerando además que el secado es por lotes y una densidad de carga menor incrementaría considerablemente los tiempos muertos se elige dicha carga.

#### 2.4.2.4 Efecto de la humedad relativa (HR)

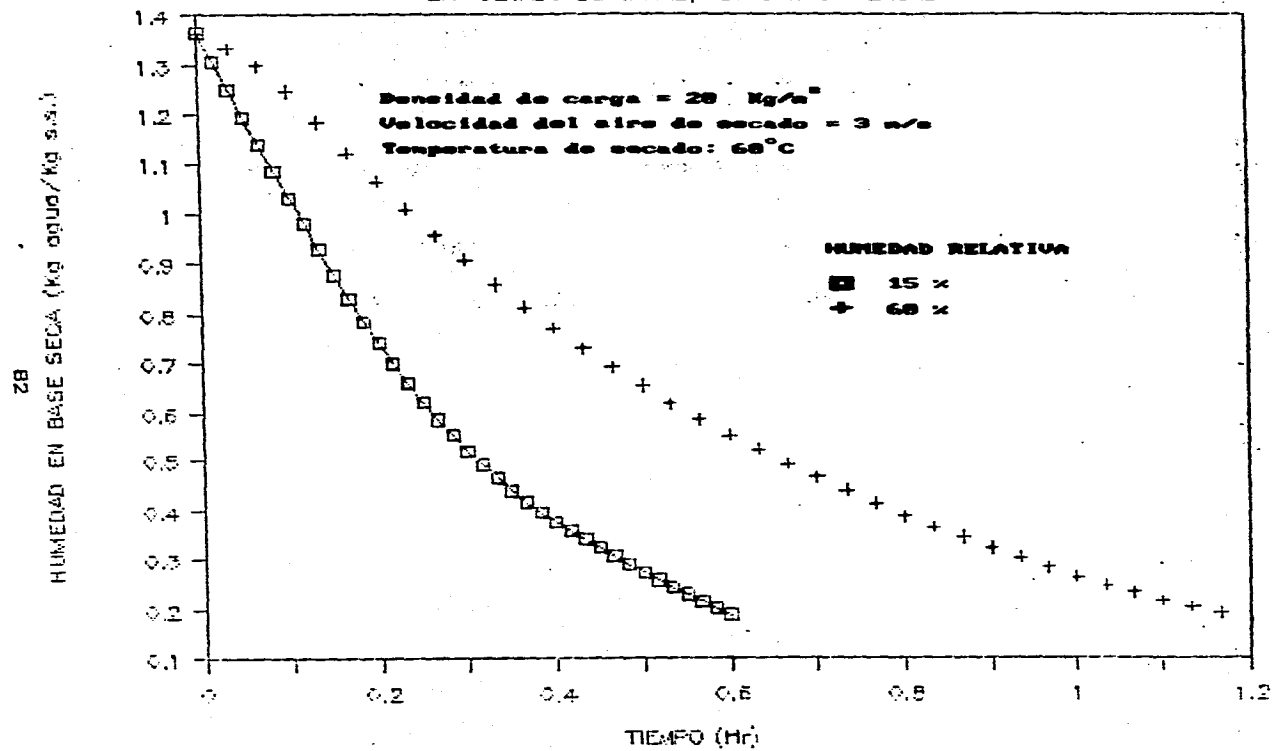
Con la finalidad de evaluar el efecto de la humedad relativa en la cinética de secado de la carne, se secó esta con aire al 15% y al 60% de HR. Se aumentó la humedad del aire de secado colocando una línea de vapor a la entrada del ducto del aire al secador. En la figura 19 se muestran las curvas de secado para ambas humedades relativas. En la figura 20 se muestra la curva de velocidad de secado para la humedad relativa de 60 %.

Como se observa de la figura 19 el efecto general de aumentar la HR del aire es el equivalente al de utilizar una densidad de carga mayor. Esto debido a que el gradiente de  $H_w$  (humedad a la temperatura de bulbo húmedo) y de  $H$  (humedad a la temperatura de bulbo seco) se reduce con el aumento de la humedad relativa (ver apartado 1.5.2).

En lo que respecta a la velocidad de secado, si comparamos la figura 16 con la 20, se puede observar que en la segunda hay una disminución de la velocidad de secado con el consecuente incremento del tiempo de secado; factor que además produce al inicio del secado un período de acondicionamiento hecho que en ninguna de las gráficas anteriores se presentó, esto debido a que como el aire a una HR de 60% está más húmedo e impide un secado rápido y homogéneo ya que el centro del lecho estaba más húmedo que la superficie.

Por lo anteriormente expuesto se considera que es mejor trabajar con la humedad relativa de 15%.

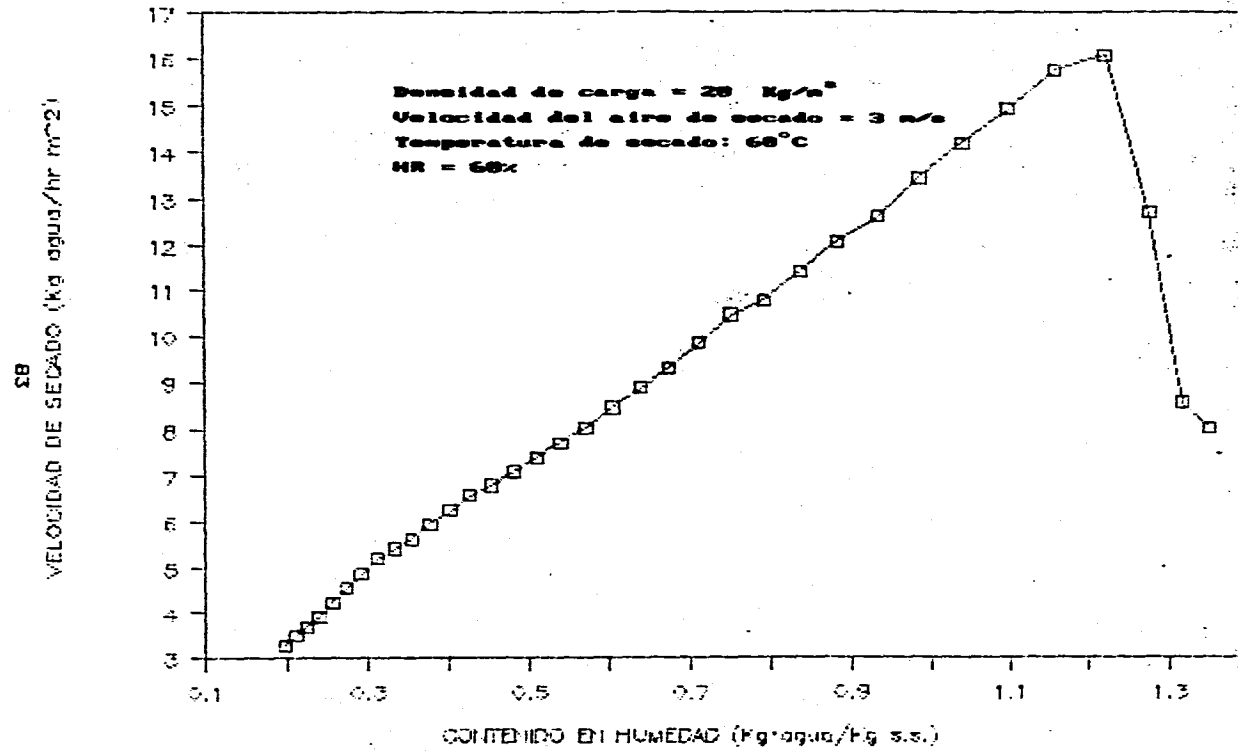
FIGURA 19. EFECTO DE HUMEDAD RELATIVA  
EN SECADO DE CARNE, FLUJO TRANSVERSAL





# FIGURA 20. SECADO DE CARNE

EN SECADOR CON FLUJO TRANSVERSAL



## 2.5 Análisis Químico Proximal (AQP) de la machaca comercial y del producto experimental.

Con la finalidad de comparar el producto experimental con el comercial se les realizó a ambos productos el A.Q.P. Las técnicas empleadas para las determinaciones se encuentran en las referencias 24, 33 y 37. Los resultados se presentan en el cuadro 10.

Cuadro 10. Composición química de la machaca comercial y la experimental (%).

	TECNICA EMPLEADA	PRODUCTO COMERCIAL	PRODUCTO EXPERIMENTAL
Proteína	Kjeldahl	56.7	58.2
Agua	Estufa	16.5	16.0
Grasa	Soxhlet	15.5	13.6
Cenizas	Método General	11.2	12.0

En lo que se refiere a Cloruros de Sodio estos se determinaron de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana (33), la machaca comercial presentó un 7.21 % y la experimental 7.45 %.

Como se observa en el cuadro 10, los resultados del AQP de la machaca experimental se asemejan bastante a los de la marca comercial, por lo cual es de esperarse que el producto experimental tenga la misma aceptabilidad y para corroborarlo se realizó una prueba de degustación, la cual se presenta a continuación.

## 2.6 Prueba de Degustación.

Con la finalidad de conocer la aceptación del producto, comparado con el comercial en cuanto a cualidades sensoriales como son sabor, olor y apariencia, se realizó una prueba de degustación. Esta prueba consistió en dar a probar a 28 personas la carne ya preparada en forma de machacado con huevo ya que es la manera típica de prepararla.

Para la prueba de preferencia se aplicó el siguiente cuestionario.

Prueba de preferencia							
Favor de probar las dos muestras y calificarlas con base en la puntuación siguiente:							
PUNTOS		SABOR		OLOR		APARIENCIA	
		M1	M2	M1	M2	M1	M2
5	ME GUSTA MUCHO	—	/—	—	/—	—	/—
4	ME GUSTA REGULAR	—	/—	—	/—	—	/—
3	ME GUSTA POCO	—	/—	—	/—	—	/—
2	NO ME GUSTA	—	/—	—	/—	—	/—
1	ME DISGUSTA MUCHO	—	/—	—	/—	—	/—

M1 = MUESTRA 1  
M2 = MUESTRA 2

donde:

M1 = Machaca Comercial

M2 = Machaca Experimental

Los resultados del cuestionario aplicado se muestran en el cuadro 11.

Cuadro 11. Puntuaciones obtenidas para cada una de las muestras.

Juez Numero	Sabor				Olor				Apariencia			
	M1	M2	D	D <sup>2</sup>	M1	M2	D	D <sup>2</sup>	M1	M2	D	D <sup>2</sup>
1	5	4	1	1	4	4	0	0	5	4	1	1
2	5	4	1	1	5	4	1	1	5	4	1	1
3	5	5	0	0	5	5	0	0	5	5	0	0
4	5	5	0	0	4	4	0	0	5	5	0	0
5	5	4	1	1	5	5	0	0	5	4	1	1
6	5	4	1	1	4	5	-1	1	5	5	0	0
7	4	5	-1	1	4	5	-1	1	4	5	-1	1
8	5	5	0	0	4	5	-1	1	4	5	-1	1
9	5	4	1	1	4	4	0	0	5	5	0	0
10	5	4	1	1	5	4	1	1	4	5	-1	1
11	4	4	0	0	4	3	1	1	3	3	0	0
12	5	5	0	0	5	5	0	0	4	5	-1	1
13	5	3	2	4	4	5	-1	1	5	4	1	1
14	5	2	3	9	5	3	2	4	5	3	2	4
15	5	5	0	0	4	5	-1	1	4	5	-1	1
16	5	5	0	0	4	4	0	0	5	5	0	0
17	4	4	0	0	4	3	1	1	3	3	0	0
18	5	4	1	1	4	5	1	1	5	4	1	1
19	5	4	1	1	4	5	-1	1	5	5	0	0
20	5	4	1	1	5	4	1	1	5	4	1	1
21	5	4	1	1	5	5	0	0	5	4	1	1
22	5	4	1	1	4	4	0	0	5	4	1	1
23	4	5	-1	1	4	5	-1	1	4	5	-1	1
24	4	4	0	0	4	4	0	0	5	5	0	0
25	5	5	0	0	5	5	0	0	5	5	0	0
26	5	4	1	1	5	4	1	1	4	5	-1	1
27	5	3	2	4	5	5	0	0	4	5	-1	1
28	5	5	0	0	4	5	-1	1	4	5	-1	1
$\Sigma$	118	136	18	32	124	123	-1	19	126	127	1	21
$\bar{x}$	4.2	4.8			4.4	4.4			4.5	4.5		

Una vez concluida la encuesta se procedió a efectuar la prueba de hipótesis estadística, usando la t de Student para determinar si hay o no una diferencia perceptible de ambas

muestras(34).

Hipótesis nula ( $H_0$ ): declara que no hay diferencia entre las muestras que se estudian.

$$H_0 = M_1 = M_2$$

Hipótesis alternativa ( $H_a$ ): declara que si hay diferencia entre las muestras que se estudian.

$$H_a = M_1 \neq M_2$$

Este planteamiento se conoce como de dos colas (bilateral) ya que no se declara sentido alguno de la diferencia (34).

Debido a que cada juez calificó a cada par de muestras, el procedimiento señala tomar la diferencia de cada par de calificaciones ( $D$ ) y el cuadrado de la diferencia ( $D^2$ ). La fórmula  $t$  de Student es la siguiente:

$$t = \frac{\sum D}{\sqrt{\frac{n\sum D^2 - (\sum D)^2}{n-1}}}$$

con los grados de libertad (g.l.) =  $n - 1$ .

La  $t$  calculada para cada caso es:

	Sabor	Olor	Apariencia
$t$	3.9	0.2	0.2

Finalmente el valor de  $t$  se compara con el valor correspondiente al grado de libertad y al nivel de significancia

( $\alpha$ ) de las tablas. Prosiguiendo a aceptar o rechazar la hipótesis planteada ( $H_0$ ) según sea el caso (34).

El valor de tablas "Valores críticos para  $t$  de Student", para una  $t$  con g. l. = 27, dos colas y para  $\alpha = 0.05$ , es equivalente a 2.052; al compararlo con los valores calculados de  $t$  se observa que este último es mayor en este caso; por lo tanto, la hipótesis nula ( $H_0$ ) para este aspecto se rechaza o sea que sí hay diferencia en el sabor de ambas muestras. El valor calculado de  $t$  para olor y apariencia es menor a 2.052 por lo que se concluye que la hipótesis nula ( $H_0$ ) para estos casos no se rechaza. Esto a la vez indica que los valores medios calculados (4.2 y 4.8) para el caso del sabor sí muestran diferencia entre sí; no así en el caso del olor y la apariencia.

## 2.7 Prueba de Rehidratación.

Con el propósito de valorar la capacidad de rehidratación de la carne seca comercial y de la carne seca experimental, se rehidrataron ambas carnes primero en agua a temperatura ambiente y después en agua caliente, esto debido a la imposibilidad de realizar la medición con la salsa (que es en realidad la que aporta el agua para la rehidratación) y en condiciones que no corresponden a las que imperan durante la rehidratación.

El procedimiento empleado fue el siguiente: primero se pesaron 100 gr de carne seca, esta se depositó en una malla de

plástico muy fina y se sumergió en agua a temperatura de 23°C durante un tiempo de 10 minutos, después se dejó escurrir por 2 minutos y posteriormente se registró el peso de la carne ya rehidratada. Esto se realizó de igual manera a una temperatura del agua de 90 °C. Los resultados que se obtuvieron son los mostrados en el cuadro 12.

**Cuadro 12. Pruebas de rehidratación. Cantidad de agua absorbida por 100 g de carne seca.**

CARNE SECA	TEMPERATURA DE REHIDRATACION (°C)	gr agua/ 100 gr carne seca
Comercial	23	93.3
	92	101.0
Experimental	23	86.25
	92	96.0
Bibliográfico	93	110
FUENTE: Price (1976)		

Como se puede observar, para ambas temperaturas el porcentaje de rehidratación de la carne seca comercial es ligeramente superior al de la experimental: de un 7.6% para agua a temperatura ambiente y del 5% para agua a 92 °C; esto puede deberse a que las condiciones de secado y tamaño de partícula fueron diferentes. Además, la capacidad de rehidratación no influye decisivamente en el ánimo de los compradores ya que esta es

difícil de estimar objetivamente sobre todo después de ser mezclada con los demás ingredientes por lo que consideramos más definitiva la prueba sensorial para evaluar la aceptación del producto.

### 2.8 Rendimiento de la Carne Seca Tipo Machaca.

El rendimiento en la elaboración de la carne seca de res tipo machaca es del 28% de acuerdo a resultados experimentales.

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Producto elaborado}}{\text{Materia prima}} * 100$$

$$\text{Rendimiento} = \frac{0.280 \text{ Kg}}{1 \text{ kg}} * 100 = 28\%$$



### CAPITULO 3      DIMENSIONAMIENTO DEL EQUIPO PRINCIPAL PARA LA ELABORACION DE CARNE SECA TIPO MACHACA.

El dimensionamiento del equipo a emplear, es una fase importante en el diseño de cualquier proceso ya que el adecuar el equipo a las necesidades particulares del productor repercute directamente no solo en los costos de producción sino también en la calidad del producto. Es por esta razón que a continuación se describe con detalle el dimensionamiento de la marmita para la cocción de la carne y el secador de charolas para el secado de la misma.

#### 3.1 Elección de la Base de Cálculo.

Naturalmente que el tamaño y capacidad de los distintos equipos que se requieren para la elaboración del producto dependerán de la elección de la base de cálculo. La base de cálculo que se propone es de 500 Kg de carne cruda a procesar por día. La elección es arbitraria ya que no se hizo ningún estudio de mercado; sin embargo, se piensa que podría cumplir con las necesidades de un taller de carnes o de procesar los excedentes de una fábrica o bien de utilizar carne residual de otros productos.

### 3.2 Dimensionamiento de la Marmita.

La jornada laboral es de un turno de ocho horas, pero considerando el tiempo requerido para preparar la salmuera, para llevarla a la temperatura de ebullición, para carga y descarga del secador y demás operaciones; se estima que el tiempo efectivo de operación de la marmita es de seis horas al día.

Ahora bien, si el tiempo de cocción de la carne es de una hora; tomado a partir de que empieza a ebullición la salmuera, y se tienen que cocer 500 Kg de carne en seis horas tenemos:

$$500 \text{ Kg carne} / 6 \text{ horas} = 84 \text{ Kg carne/hora para cocción.}$$

De acuerdo a determinaciones experimentales se obtuvo que un kilogramo de carne más la salmuera de cobertura ocupan un volumen de 1.5 litros por lo tanto se tiene:

$$84 \text{ Kg} * 1.5 \text{ lt/Kg} = 126 \text{ litros.}$$

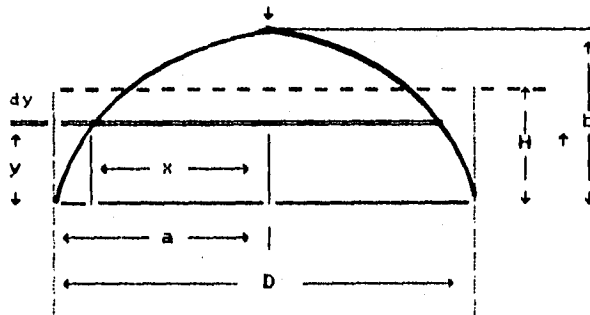
Por lo anterior, la marmita deberá tener una capacidad mínima para 126 litros; sin embargo, hay que considerar el agua de reposición (la cual estará disponible para evaporación), la espuma y el aumento en el volumen del agua durante la cocción. Por tal motivo la marmita elegida deberá tener un volumen total de 150 litros.

El recipiente está formado por dos elementos. la parte cilíndrica o carcasa y el fondo. La forma usual de las marmitas de cocción es cilíndrica con fondo elíptico (la forma semiesférica se descarta por razones económicas ya que son más costosas y su

utilización se reduce a casos específicos de grandes espesores o materiales especiales). De acuerdo con F. Baquero (3) los fondos más comúnmente utilizados son los elípticos con relación de ejes de 2 a 1.

Para la determinación de las dimensiones de la marmita se empleó el método descrito por Brownell (8). En este método, el volumen contenido en una cabeza elipsoidal puede expresarse en términos de un cilindro equivalente teniendo el mismo diámetro interior como el de la sección cilíndrica de la cabeza. La figura 21 muestra la sección de un cabezal elipsoidal que tiene una relación de ejes de 2:1.

Figura 21. Dimensiones para un cabezal elipsoidal con relación de ejes de 2:1.



Las ecuaciones para las relaciones de volumen son las siguientes:

La ecuación de una elipse es:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1 \quad (1)$$

en donde a, b, x, e y son las dimensiones mostradas en la figura 21.

Para un cabezal elipsoidal 2:1, tenemos:

$$\begin{aligned} a &= 2b \\ b &= 0.5a \end{aligned}$$

Sustituyendo a en (1) :

$$\frac{x^2}{4b^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$$

$$x^2 + 4y^2 = 4b^2$$

Resolviendo para  $x^2$  tenemos:

$$x^2 = 4b^2 - 4y^2 \quad (2)$$

$$x^2 = 4(b^2 - y^2)$$

La diferencial de volumen:

$$dV = A \, dy$$

$$dV = \pi x^2 dy$$

Integrando obtenemos:

$$V = \int_0^b \pi x^2 dy = 4\pi \int_0^b (b^2 - y^2) dy$$

$$V = 4\pi \int_0^b b^2 dy - 4\pi \int_0^b y^2 dy$$

$$V = 4\pi \left[ b^2 y - \frac{y^3}{3} \right]_0^b \quad (3)$$

por los límites de integración se tiene:

$$V = \frac{8}{3} \pi b^3 \quad (4)$$

como  $b = 0.5a$ :

$$V = \frac{\pi a^3}{3} \quad (5)$$

El volumen de un cilindro equivalente es:

$$V = \pi a^2 H \quad (6)$$

Donde H es la altura del cilindro, igualando ec. 6 en 5:

$$\pi a^2 H = \frac{\pi a^3}{3} \quad (7)$$

De acuerdo a la figura 21  $D = 2a$

$$H = \frac{a}{3} = \frac{D}{6} \quad (8)$$

Por lo tanto el volumen de un recipiente elíptico ( $V_h$ ) con una relación de ejes de 2 a 1 es:

$$V_h = \frac{\pi D^2}{4} \frac{D}{6} = \frac{\pi D^3}{24} \quad (9)$$

Entonces el volumen contenido en el recipiente ( $V_{rec}$ ) es:

$$V_{rec} = \left[ \frac{\pi D^2}{4} L + \frac{\pi D^3}{24} \right] \quad (10)$$

Teniendo en cuenta las siguientes consideraciones: el volumen total,  $V_t = 150 \text{ lt} = 0.15 \text{ m}^3$  y que la relación longitud-diámetro ( $L/D$ ), por recomendación de Brownell (8) es:

$$\text{Si el Volumen: } V < 50 \text{ m}^3 \quad L = 2D$$

$$V > 50 \text{ m}^3 \quad L = 4D$$

Como el volumen es menor de  $50 \text{ m}^3$ , sustituyendo  $L$  en la ecuación 10, tenemos:

$$V = \frac{\pi D^2}{4} (2D) + \frac{\pi D^3}{24} \quad (11)$$

$$V = \frac{2\pi D^3}{4} + \frac{\pi D^3}{24} \quad (12)$$

Resolviendo la ec. 12, tenemos:

$$V = \frac{13 \pi D^3}{24} \quad (13)$$

Despejando el diámetro de la ec. 13:

$$D = \frac{24 V}{13 \pi} \quad (14)$$

Sustituyendo el Volumen =  $0.150 \text{ m}^3$  en la ecuación 14, se tiene:  $D = 0.445 \text{ m}$

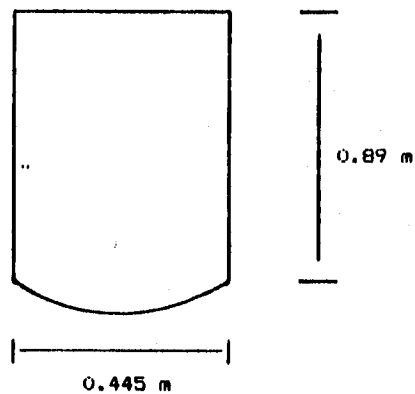
Entonces, las dimensiones de la marmita son:

diámetro interno (D) = 0.445m

altura = 0.89m

como se ilustra en la figura 22.

Figura 22. Dimensiones de la marmita para la cocción de la carne.



### 3.2.1 Determinación del área útil de la marmita.

Tomando como base el volumen calculado de 126 litros y considerando un volumen adicional del 10% (por la ebullición del agua durante la cocción), se tiene un volumen útil ( $V_u$ ) de 139 litros ( $0.139 \text{ m}^3$ ).

De acuerdo con Baquero (3) el volumen ocupado por la cabeza elipsoidal está dado por:

$$V_s = 0.13D^3 = 0.1146 \text{ m}^3 \quad (15)$$

donde  $D$  es el diámetro interno de la marmita.

Por lo tanto de estos 139 litros la fracción que

corresponde al volumen ocupado del cilindro ( $V_{cu}$ ) es:

$$V_{cu} = V_u - V_o \quad (16)$$

sustituyendo ec. 15 en 16, se tiene:

$$V_{cu} = 0.139 - 0.01146 = 0.127 \text{ m}^3$$

y como el volumen útil del cilindro está dada por la ecuación:

$$V_{cu} = \pi r^2 L_u \quad (17)$$

donde  $L_u$  es la altura del cilindro que está ocupada por el líquido. Despejando  $L_u$  de la ec. 17, se tiene:

$$L_u = \frac{V_{cu}}{\pi r^2} = \frac{0.127}{\pi (0.445/2)^2} = 0.817 \text{ m}$$

ahora bien, el área que ocupa la chaqueta para la transferencia de calor ( $A$ ) es igual al área de la elipse ( $A_e$ ) más el área útil del cilindro ( $A_{cu}$ ). Para determinar  $A_e$  hay que considerar que se trata de un fondo semielíptico con relación de ejes de 2:1.

$$A = A_{cu} + A_e \quad (19)$$

$$A = 2\pi r L_u + 1/4\pi r^2$$

$$A = 2\pi (0.445/2) (0.817) + 1/4\pi (0.445/2)^2$$

$$A = 1.182 \text{ m}^2$$

### 3.2.2 Determinación del espesor de la chaqueta.

Para el diseño de recipientes, el código A.S.M.E. (1) contempla dos casos: el primero, para recipientes que operan a presión externa y que incluye a los recipientes enchaquetados



donde el medio de calentamiento tiene una presión superior a la presión del fluido en el interior del tanque; y el segundo, para recipientes que operan a presión interna.

El espesor mínimo para una envolvente cilíndrica sujeta a presión externa que tenga valores de diámetro externo ( $D_e$ ) entre el espesor ( $t$ ) iguales o mayores de 10, se determinará mediante el siguiente procedimiento propuesto por A.S.M.E. (1).

Inicialmente se establece la presión externa máxima de diseño ( $P_d$ ) y en segundo lugar, se supone un espesor inicial ( $t$ ). El diseño del espesor del cilindro se debe hacer por separado del diseño del espesor de la cabeza.

### 3.2.2) Cálculo del espesor del cuerpo cilíndrico

En el caso de diseño de recipientes operando a presión externa, de acuerdo al código A.S.M.E. (1), no existe ninguna regla para suponer el espesor inicial pero hay que considerar que no incluye el espesor por corrosión. Cabe mencionar que en el cálculo se empleó el Sistema Inglés dado que las gráficas están en dicho sistema.

#### Datos:

La presión de diseño propuesta es de 3 Kg/cm<sup>2</sup> ya que ésta es la presión a cual los fabricantes de marmitas las diseñan (13).

$P_d$  = presión de diseño = 3 Kg/cm<sup>2</sup> (42.6 lb/in<sup>2</sup>) man.

$t$  = espesor propuesto = 0.00318 m (0.125 in)

$D_i$  = diámetro interno = 0.445 m (17.5 in)

$D_e$  = diámetro externo =  $D_i + 2t = 0.445$  m (17.75 in)

$T_{max}$  = temperatura máxima de operación calculada a la  
presión de diseño = 132.3 °C (271 °F)

$L_t$  = longitud total = 1.00125 m (39.35 in)

Material de construcción: Acero inoxidable 316 (por ser  
el recomendado en la industria alimentaria (28)).

Utilizando el espesor propuesto y el diámetro exterior  
ya calculado se determina el valor de los parámetros  $D_e/t$ , y  
 $L_t/D_e$ :

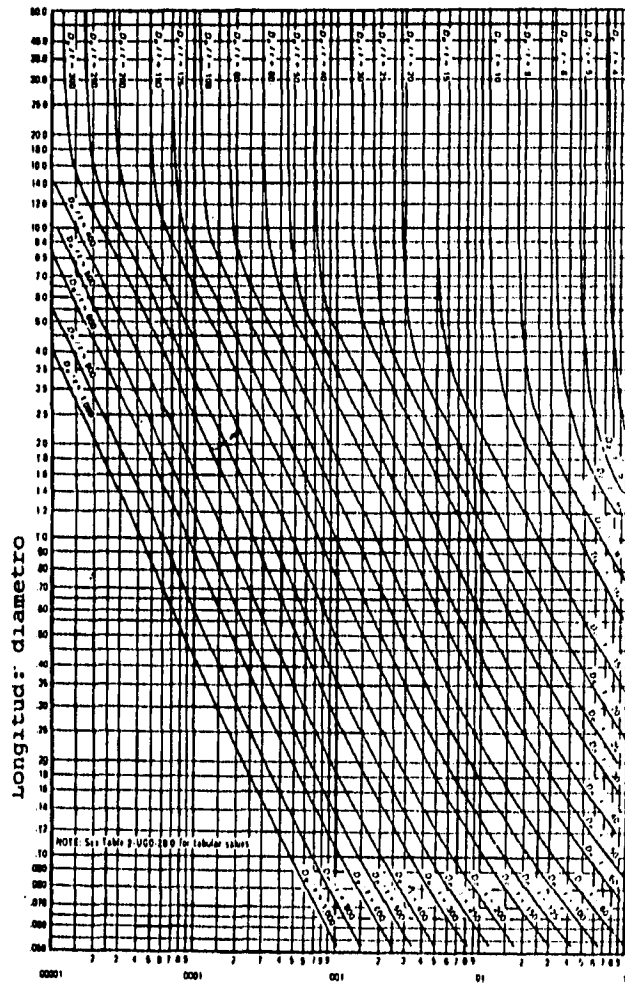
$$D_e/t = 17.75/0.125 = 142 \text{ (adim) y}$$

$$L_t/D_e = 39.35/17.75 = 2.217 \text{ (adim)}$$

en la figura 23, con el valor de  $L_t/D_e$  se cortará la línea de  $D_e/t$   
y verticalmente podrá leerse el valor del factor A (factor  
equivalente a la deformación unitaria en el diseño de envolventes  
cilíndricos y esféricos).

$$A = 0.00033 \text{ (adim)}$$

Figura 23. Carta geometrica para recipientes (1).



En la figura 24. correspondiente al material de construcción, el factor A se interseca con la curva de resistencia a la temperatura de diseño (271 °F) y en dirección horizontal se lee el valor del factor B (factor auxiliar que es proporcional al esfuerzo de trabajo del material).

$$B = 4\,550 \text{ (lb/in}^2\text{)}$$

Una vez encontrado el factor B, se determina la presión permisible (Pp) de acuerdo con la siguiente fórmula:

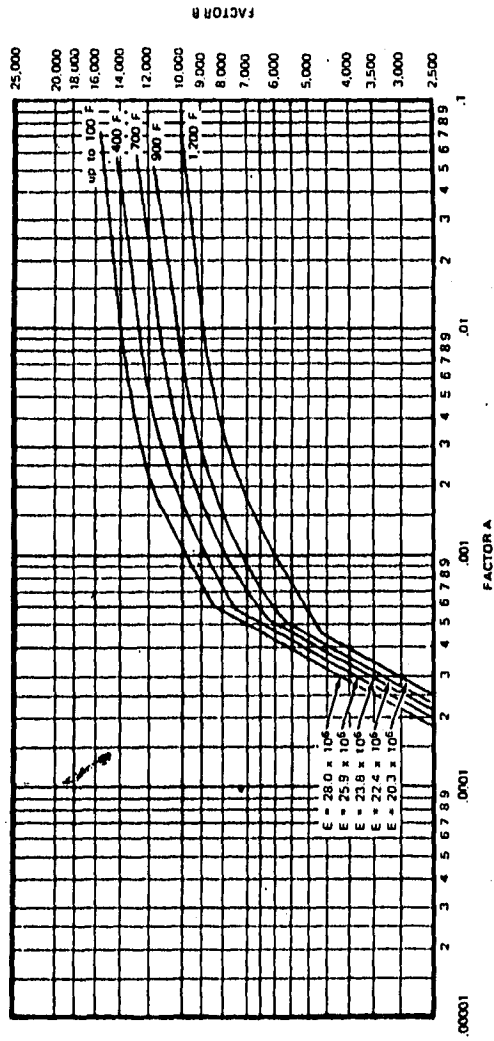
$$P_p = \frac{4B}{3(D_o/t)}$$

$$P_p = 42.72 \text{ lb/in}^2$$

Si la presión permisible calculada es mayor a la presión externa de diseño, el espesor es correcto. De lo contrario, es necesario suponer otro espesor y repetir el procedimiento.

Puesto que la  $P_p > P_d$ , el espesor de 3.18 mm (0.125 in) es el adecuado.

Figura 24. Acero inoxidable, Tipo 316 (1).



### 32.2.2 Cálculo del espesor de la cabeza.

De acuerdo al código A.S.M.E. (1) la práctica actual de diseño consiste en suponer un espesor inicial de la cabeza ( $t_h$ ) y con el valor apropiado del radio de abombamiento ( $r_c$ ), según el tipo de cabeza se calcula la deformación unitaria como:

$$A = 0.125/(r_c/t_h)$$

Puesto que se trata de una cabeza elíptica,  $r_c$  puede obtenerse del cuadro 13 (B).

Cuadro 13. Relaciones adimensionales en tapas elípticas

K	$r_c/D_o$	K	$r_c/D_o$
1.0	0.50	2.2	0.99
1.2	0.57	2.4	1.08
1.4	0.65	2.6	1.18
1.6	0.73	2.8	1.27
1.8	0.81	3.0	1.36
2.0	0.90		

FUENTE: Brownell L. E., "Process Equipment Design", 1979.

donde K es igual a la relación de eje mayor a eje menor en una elipse (adim).

$$K = D_i/2L_o \text{ y como la altura de la elipse}$$

( $L_o$ ) es  $0.25D_i$  tenemos:

$$L_o = D_i/4$$

sustituyendo valores:  $K = 2$

$$r_c/D_o = 0.90$$

usando el mismo espesor que para la parte cilíndrica.

$$D_o = 17.75 \text{ in}$$

$$rc = 0.90(17.75) = 15.975$$

$$rc/th = 15.975/0.125 = 128$$

Calculando el factor A:

$$A = 0.125/(rc/th) = 0.125/128 = 0.000976$$

En la figura 24 y con el factor A, se cruza la línea de resistencia según la temperatura de diseño y horizontalmente puede leerse el factor B:

$$B = 9\ 000\ \text{lb/in}^2$$

La presión externa máxima permisible es calculada como:

$$Pp = B/(rc/th) = 9000/128 = 70.3$$

Como en el caso anterior, la presión permisible es mayor que la presión de diseño por lo que el espesor elegido es el correcto.

### 3.3 Determinación de Consumo de Vapor para la Cocción de la Carne.

Con el objeto de determinar los requerimientos energéticos para la cocción de la carne, se calcula la masa de vapor requerida, ya que el consumo de este vapor repercute significativamente en los costos de producción.

El calor total requerido para la cocción de la carne es igual a la suma de los calores requeridos para:

- a) llevar la salmuera desde la temperatura inicial a la temperatura de ebullición,
- b) llevar la carne desde una temperatura inicial a la temperatura de la salmuera en ebullición y

c) mantener en ebullición la salmuera y reponer el agua evaporada durante la cocción.

A continuación se describe el cálculo para cada uno de los calores arriba mencionados.

### 3.3.1 Calor requerido para llevar la salmuera de la temperatura inicial a la temperatura de ebullición.

El calor requerido para llevar la salmuera desde una temperatura inicial ambiente ( $T_{amb}$ ) a la temperatura de ebullición ( $T_{eb}$ ), está dada por:

$$Q_s = M_s C_p \Delta T \quad (18)$$

donde:

$M_s$  = masa de la salmuera (Kg)

$C_p$  = capacidad calorífica de la salmuera al 10%  
= 0.993 Kcal/Kg°C (21)

$\Delta T$  = diferencia de temperatura (°C) =  $T_{eb} - T_{amb}$

$T_{eb} = 96 \text{ °C}$      $T_{amb} = 20 \text{ °C}$

Para conocer la cantidad de salmuera hay que considerar que por determinación experimental se requieren 0.5 litros de salmuera por cada kilogramo de carne y considerando un 10 % del volumen total para cobertura y evaporación se tiene:

$$84 \text{ Kg carne} \times 0.5 \text{ lt/kg} = 42 \text{ litros}$$

$$42 \text{ lt} + 126(0.1) = 54.6 \text{ litros de salmuera}$$

como la densidad de la salmuera al 10 % es 1074 Kg/m<sup>3</sup> (21).



entonces la masa de la salmuera es:

$$0.0546 \text{ m}^3 * 1074.6 \text{ Kg/m}^3 = 59 \text{ Kg de salmuera}$$

sustituyendo valores en la ec. 18, la cantidad de calor necesario es:

$$Q_c = 59 * 0.993 * (96 - 20) = 3980 \text{ Kcal}$$

Este calor se debe considerar unicamente al inicio de la jornada, ya que la salmuera caliente será reutilizada.

### 3.3.2 Calor requerido para calentar la carne.

El calor requerido para llevar la carne de la temperatura de refrigeración ( $T_r$ ) a la temperatura de la salmuera en ebullición ( $T_{eb}$ ) es:

$$Q_c = M_c C_p \Delta T \quad (19)$$

donde:

$$M_c = \text{masa de carne} = 84 \text{ Kg}$$

$$C_p = \text{calor específico de la carne} = 0.77 \text{ Kcal/Kg}^\circ\text{C} \quad (21)$$

$$\Delta T = \text{diferencia de temperaturas } (^\circ\text{C}) = T_{eb} - T_r$$

$$T_{eb} = 96 \text{ }^\circ\text{C} \quad T_r = 0 \text{ }^\circ\text{C}$$

sustituyendo valores en ec. 19,  $Q_c$  es igual a:

$$Q_c = 84 * 0.77 * (96 - 0) = 6210 \text{ Kcal}$$

### 3.3.3 Cálculo del calor transmitido durante la cocción

La energía transmitida por el vapor durante la cocción de la carne está dada por la ecuación:

$$Q_{coc} = UA\Delta T \quad (20)$$

donde:

$U$  = coeficiente global de transferencia de calor = 850  
Kcal/hrm<sup>2</sup>°C. Kern D. O. reporta este valor como típico  
para vapor en la chaqueta y agua hirviendo en el  
recipiente, usando como material de construcción acero  
inoxidable (25).

$A$  = área de transferencia de calor = 1.18 m<sup>2</sup>. De acuerdo a  
la ec. 18.

$\Delta T$  = diferencia de temperaturas (°C) =  $T_v - T_{eb}$

$T_v$  = temperatura del vapor en la chaqueta = 105 °C  
calculada a una presión de vapor de 1.23 Kg/cm<sup>2</sup> abs.

$T_{eb}$  = temperatura de ebullición de la salmuera 96 °C

sustituyendo valores en ec. 20, se tiene:

$$Q_{coc} = 850 * 1.18 * (105 - 96) = 9027 \text{ Kcal/h}$$

Considerando que el tiempo de cocción de la carne es  
de una hora, tenemos:

$$Q_{coc} = 9027 \text{ Kcal}$$

### 3.3.4. Cálculo de la masa de vapor requerida para la cocción de la carne.

Durante la cocción se evapora agua de la salmuera,  
esta agua debe ser repuesta para evitar que la salmuera se  
concentre salando en exceso la carne, por lo tanto:

$$Q_{coc} = Q_r + Q_{evap} = M_s(C_p \Delta T + \lambda) \quad (21)$$

donde:

$Q_r$  = calor requerido para calentar el agua de reposición hasta la temperatura de ebullición.

$Q_{\text{evap}}$  = calor transmitido para evaporar agua durante la cocción.

$M_a$  = masa de agua evaporada, que es igual al agua de reposición.

$C_{pa}$  = calor específico del agua = 1 Kcal/Kg°C.

$\lambda$  = entalpía de evaporación del agua a 96 °C  
= 541.4 Kcal/kg (25).

$\Delta T$  = diferencia de temperatura °C

despejando  $M_a$  de la ec. 21 y sustituyendo valores, se tiene:

$$M_a = 9027 / (1 * (96 - 20) + 541.4) = 14.62 \text{ kg/h}$$

Para calcular la masa de vapor de calentamiento hay que considerar:

a) el tiempo de cocción de la carne ( $\theta_1$ ), que es de una hora (obtenido experimentalmente)

b) el tiempo que se requiere para llevar la salmuera de la temperatura ambiente a la temperatura de ebullición ( $\theta_2$ );

$$\theta_2 = Q_s / Q_m \quad (22)$$

donde:

$Q_m$  = calor que es capaz de transmitir la marmita (Kcal/hr)

$$Q_m = UA\Delta T_m \quad (23)$$

Considerando que no se tiene una diferencia de temperatura constante ya que al inicio del calentamiento se tiene una diferencia de temperatura entre el vapor y la salmuera de 85°C

y una vez que la salmuera está en ebullición la diferencia es de 9 °C se propone un valor de temperatura promedio ( $\Delta T_m$ ).

$$\Delta T_m = \frac{(105 - 96) + (105 - 20)}{2} = 47 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (24)$$

sustituyendo  $\Delta T_m$  en ec. 23, se tiene:

$$Q_m = 850 * 1.18 * 47 = 47141 \text{ Kcal/h}$$

por lo tanto sustituyendo  $Q_m$  en ec.22, se tiene:

$$\theta_2 = 3980/47141 = 0.085 \text{ hr} = 5.1 \text{ min}$$

c) el tiempo requerido para que una vez que se ha introducido la carne en la salmuera ésta comience nuevamente a ebullición ( $\theta_3$ ).

$$\theta_3 = Q_c/Q_m = 6210/47141 = 0.1317 \text{ hr} = 7.9 \text{ min.}$$

El tiempo total ( $\theta_t$ ) del primer ciclo es:

$$\theta_t = \theta_1 + \theta_2 + \theta_3 = 73 \text{ minutos} = 1.21 \text{ horas}$$

De acuerdo a los resultados anteriores el calor total ( $Q_1$ ) que se requiere para la cocción de la carne durante el primer ciclo es:

$$Q_1 = Q_s + Q_c + Q_{coc} \quad (25)$$

$$Q_1 = 3980 + 6210 + 9027 = 19217 \text{ Kcal}$$

La masa de vapor para el primer ciclo es:

$$M_{v1} = Q_1/\lambda_v \quad (26)$$

donde  $\lambda_v$  es el calor latente de vaporización del vapor de calentamiento a 105°C que es igual 536 Kcal/Kg (25).

Sustituyendo ec. 25 en 26, se tiene:

$$M_v = 19217/536 = 35.85 \text{ Kg}$$

por lo tanto el gasto másico de vapor ( $G_{v1}$ ) durante el primer ciclo es:

$$G_{v1} = M_v/\theta_c = 35.85/1.21 = 29.62 \text{ Kg/h}$$

Considerando que la salmuera del primer ciclo se reutiliza para las posteriores cocciones, se tiene que el calor total del segundo al sexto ciclo es:

$$Q_{2-6} = (6210 + 9027) * 5 = 76185 \text{ Kcal.}$$

La masa de vapor que se requiere del segundo al sexto ciclo es:

$$M_{v2-6} = Q_{2-6}/\lambda_v = 76185/536 = 142.13 \text{ Kg}$$

considerando unicamente el tiempo de cocción (1 hora) y el tiempo transcurrido desde que se introduce la carne hasta que la salmuera comienza a ebullición.

$$\theta_{2-6} = 67.9 \text{ min.} * 5 = 340 \text{ min} = 5.6 \text{ h}$$

El gasto másico de vapor que se requiere del segundo al sexto ciclo es:

$$G_{v2-6} = M_{v2-6}/\lambda = 142.13/5.65 = 25.15 \text{ Kg/h}$$

el calor total requerido del primero al sexto ciclo es:

$$Q_T = Q_1 + Q_{2-6} = 95402 \text{ Kcal}$$

la masa de vapor total ( $M_{vT}$ ) por día que se requiere para la cocción de los 500 Kg de carne es:

$$M_{vT} = 35.85 + 142.13 = 178 \text{ Kg/día.}$$

#### 3.4. Dimensionamiento del Secador de Charolas.

El secador utilizado para la elaboración de la carne

seca tipo machaca será del mismo tipo que el utilizado en las pruebas de secado, salvo que específicamente diseñado para trabajar con flujo de aire transversal al lecho y con la carga elegida de 20 kg/m<sup>2</sup>.

### 3.4.1 Dimensionamiento de la cámara de secado

Considerando que la jornada laboral es de ocho horas; y que el tiempo efectivo de trabajo del secador es de seis horas, esto, tomando en cuenta que la primera carga tarda poco más de una hora en estar lista para ser deshidratada, sin olvidar los tiempos muertos (carga, descarga, etcétera). Ahora bien, considerando que el rendimiento de la carne durante la cocción es del 56% (de acuerdo a la experimentación), tenemos:

$$500 \text{ Kg/día} * 0.56 = 280 \text{ Kg de carne cocida al día}$$

y como el tiempo de operación del secador es de seis horas al día, tenemos:

$$280 \text{ Kg/6} = 46.7 \text{ Kg/h}$$

Recordando que el tiempo de secado para una temperatura del aire de 60 °C y una densidad de carga de 20 Kg/m<sup>2</sup> es de 36 minutos y suponiendo un tiempo muerto de 15 minutos, se tiene que un ciclo de secado dura 51 minutos (0.85 horas).

Por lo anterior, la cantidad de carne a secar por ciclo es:

$$46.7 \text{ Kg/h} * 0.85 \text{ h/ciclo} = 39.7 \text{ Kg/ciclo}$$

y si la carga recomendada es de 20 Kg/m<sup>2</sup>; se tiene un área

requerida para el secado de:

$$39.7 \text{ Kg/ciclo} * 1/(20 \text{ Kg/m}^2) = 1.985 \text{ m}^2/\text{ciclo}$$

Las charolas pueden ser cuadradas o rectangulares, con dimensiones variables y se fabrican de cualquier material que sea compatible con las condiciones de corrosión y temperatura prevalecientes. En general, se prefieren las charolas metálicas, ya que conducen el calor con mayor facilidad. Las charolas elegidas tienen las siguientes dimensiones: 0.8 m \* 0.64 m \* 0.08 m de espesor (41). Este espesor de las charolas no corresponde al bibliográfico sino al que ocupa el lecho de carne con una densidad de carga de 20 Kg/m<sup>2</sup>.

El área transversal de cada charola es:

$$0.8 \text{ m} * 0.64 \text{ m} = 0.512 \text{ m}^2/\text{charola}$$

por lo que el número de charolas que se requieren son:

$$\frac{1.985 \text{ m}^2}{0.512 \text{ m}^2/\text{charola}} = 3.87 = 4 \text{ charolas/ciclo}$$

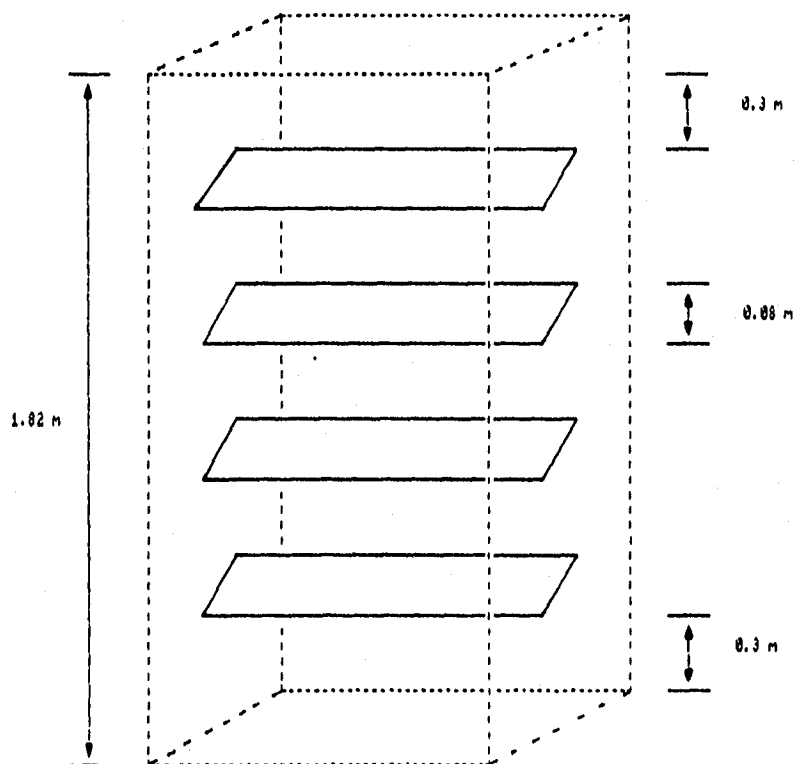
Considerando un espacio entre charolas para un secador por lotes con circulación transversal de 0.3 m (38), se tienen las siguientes dimensiones internas de la cámara de secado. En la figura 25 se muestra dicha cámara.

Largo = largo de la charola = 0.8 m

Ancho = ancho de la charola = 0.64 m

$$\begin{aligned} \text{Alto} &= (\text{altura de la charola} * \text{numero de charolas}) + (\text{espacio} \\ &\text{charola-charola}) + (\text{espacio charola-techo}) + (\text{espacio} \\ &\text{charola-piso}). \\ &= 0.08(4) + 0.3(3) + 0.3 + 0.3 = 1.82 \text{ m} \end{aligned}$$

Figura 25. Dimensiones de la cámara de secado.





### 3.4.2 Cálculo del calor requerido para secar la carne

El calor requerido para calentar el aire de secado ( $Q_a$ ) está dado por la siguiente fórmula:

$$Q_a = G C_s \Delta T \quad (27)$$

donde:

$G$  = gasto másico de aire (Kg/h)

$C_s$  = calor húmedo del aire (KJ/Kg°K)

$\Delta T$  = diferencia de temperatura entre el aire a la entrada y la temperatura requerida para el secado (°K)

Primeramente, hay que calcular la masa velocidad de aire que se requiere para secar la carne. Para ello, se utiliza la siguiente fórmula:

$$G = V \rho / (1 + H^*) \quad (28)$$

donde:

$V$  = velocidad del aire (m/h)

$\rho$  = densidad del aire (Kg/m<sup>3</sup>)

$H^*$  = humedad del aire a la entrada (Kg/Kg as)

El valor de la velocidad es con el que se trabajó experimentalmente (10800 m/h). Con el valor de la temperatura de bulbo seco del aire (60 °C) y con la humedad relativa (15%), de la carta psicrométrica se conoce el valor de la humedad absoluta del aire a la entrada del secador.

$H^* = 0.019$  kg/Kg as

con este valor se calcula el volumen húmedo ( $V_H$ ).

$$V_H = (2.83 \times 10^{-3} + 4.56 \times 10^{-3} H^*) T \quad (29)$$

$$V_H = (2.83 \times 10^{-3} + 4.56 \times 10^{-3} (0.019)) (273 + 60)$$

$$V_H = 0.971 \text{ m}^3/\text{Kg as}$$

obtenidos  $H^*$  y  $V_H$  se procede a calcular la densidad.

$$\rho = \frac{(1 + H^*)}{V_H} = \frac{(1 + 0.019)}{0.971} = 1.049 \text{ Kg/m}^3 \quad (30)$$

por lo que sustituyendo valores en ec. 28 la masa velocidad de aire seco es:

$$G = \frac{10800(1.049)}{(1 + 0.019)} = 11118 \text{ Kg as/hm}^2$$

Como se tiene un área para el secado con flujo transversal equivalente al área de las 4 charolas de  $2.0 \text{ m}^2$ .

El gasto másico por hora es:

$$G = 11118 \text{ Kg as/hm}^2 * 2.0 \text{ m}^2 = 22236 \text{ Kg as/h}$$

calculando el calor húmedo del aire se tiene:

$$C_s = 1.005 + 1.88H^* = 1.005 + 1.88(0.019) = 1.041 \text{ kJ/Kg} \quad (31)$$

$$= 0.2488 \text{ Kcal / Kg } ^\circ\text{C}$$

por lo que la cantidad de calor requerido para elevar la temperatura del aire de las condiciones ambientales a las requeridas para el secado, sustituyendo ecs. 28 y 31 en 27, se tiene:

$$Q_a = 22236 * 1.041 * (60 - 20) = 925907 \text{ KJ/h}$$

$$= 221297 \text{ Kcal/h}$$

Si el elemento calefactor es vapor, y suponiendo que no hay pérdidas de energía, el requerimiento de masa de vapor se puede calcular con la siguiente ecuación:

$$M_v = Q_a / \lambda$$

considerando vapor a una presión absoluta de 1.23 Kg/cm<sup>2</sup> abs

$$M_v = 221397 \text{ Kcal/h} / 536 \text{ Kcal/Kg} = 698 \text{ Kg/h}$$

Si el calentamiento se lleva a cabo por medio de un elemento calefactor eléctrico hay que empezar por calcular la cantidad de Kilowatts (KW) que se requieren.

$$\begin{aligned} \text{KW} &= 925907 \text{ KJ/h} * 0.2389 \text{ Kcal/KJ} * 1.163 \text{ W/(Kcal/h)} \\ &= 258 \text{ KW} \end{aligned}$$

El material más usado por sus propiedades físicas es el Nicromel. Para conocer la cantidad de metros de Nicromel que se requieren, considerando que se usará alambre calibre 18 con una resistencia de 10 KW, será necesario un banco de 26 resistencias.

Si el voltaje es de 120 volts, la corriente para cada resistencia es:

$$I = P/v = 10000/120 = 83.33 \text{ amp}$$

donde:

$$I = \text{corriente (amperes)}$$

$$P = \text{potencia (Watts)}$$

$$v = \text{voltaje (volts)}$$

como el área transversal para este calibre es  $8.17 \times 10^{-7} \text{ m}^2$  y el Nicromel tiene una resistibilidad (R) de  $112 \times 10^{-8} \text{ ohm}$ , por lo

tanto la longitud individual es:

$$L = \frac{Av}{IR} = \frac{8.17 \times 10^7 (120)}{83.3 (112 \times 10^6)} = 1.05 \text{ m}$$

para las 26 resistencias:

$$L_t = 1.05 (26) = 27.3 \text{ m}$$

El consumo de energía, ya sea eléctrica o de vapor, puede reducirse sustancialmente si se recircula parte del aire: considerando que el 90% del aire es recirculado (32) y tomando en cuenta que la temperatura del aire a la salida del secador es de 50°C y la del aire a temperatura ambiente es de 20°C, se estima que la temperatura del aire de recirculación es aproximadamente de 45°C; se tiene un calor requerido (Qr) de:

$$Q_r = G (0.1) C_s (T_s - T_r)$$

donde:

G = gasto másico de aire (Kg/h)

C<sub>s</sub> = calor húmedo del aire (Kcal/Kg °C)

T<sub>s</sub> = temperatura del aire de secado (°C)

T<sub>r</sub> = temperatura de la mezcla de aire (°C)

por lo tanto:

$$Q_r = 22236 (0.1) (0.2488) (60 - 45) = 22129 \text{ Kcal/h}$$

por lo anterior, se tiene una masa de vapor de:

$$M_v = Q_r / \lambda$$

$$M_v = 22129 / 536 = 41.28 \text{ Kg/h}$$

De acuerdo a este resultado, podemos observar que la recirculación del aire disminuye en gran medida la cantidad de vapor lo que contribuye a un ahorro considerable de energía.

En el caso de usar energía eléctrica se requerirían 25.86 KW (3 resistencias de 10 KW cada una).

### 3.4.3 Cálculo de la potencia necesaria para el ventilador.

El funcionamiento satisfactorio del secador depende en gran parte del mantenimiento de una temperatura constante y una velocidad de aire uniforme.

Conviene tener una circulación de aire con velocidades de 60 m/min a 600 m/min, para mejorar el coeficiente de transmisión de calor en la superficie y con el propósito de eliminar bolsas de aire estancado. La corriente de aire adecuada para estos secadores depende de que el ventilador tenga una capacidad suficiente, del diseño de la red de ductos para considerar cambios repentinos de dirección y de desviadores correctamente ubicados. La corriente de aire no uniforme es uno de los problemas más graves que se presentan en el funcionamiento de los secadores de bandejas y este problema se agrava si el flujo de aire es transversal al lecho (38).

De acuerdo a Coin (12), La potencia del ventilador está dada por:

$$HP = \frac{G * \Delta P}{63.5 * \eta}$$

donde:

G = gasto volumétrico de aire, ft<sup>3</sup>/min  
= 2236 Kg/h = 12464 ft<sup>3</sup>/min.

ΔP = caída de presión, pulgada de agua

η = eficiencia, porcentual

Perry (38), reporta que la caída total de presión por las bandejas, los calentadores y los ductos no sobrepasa usualmente de una pulgada de agua.

Por tratarse de un secador pequeño se propone una caída de presión máxima de 0.5 pulgadas de agua y considerando que la eficiencia de los ventiladores ordinarios de tipo axial del 50% al 65% (12), se tiene que, al hacer el cambio de unidades correspondiente y sustituyendo valores en la ecuación anterior:

$$\text{HP} = \frac{12464 * 0.25}{63.5 * 65} = 0.75$$

por lo tanto se requiere una potencia instalada de 0.75 HP.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. La materia prima o carne cruda puede ser de cualquier parte anatómica del bovino pero esto no implica que no deba cumplir con ciertas características que la hacen apta al proceso por ejemplo deberá tener un contenido máximo de grasa del 15%.

2. La concentración máxima de salmuera que tolera el producto es del 10% y durante la cocción se debe reponer el agua de ebullición para evitar su concentración.

3. Durante la cocción se elimina el 44.29% del agua de constitución de la carne cruda (del 71% al 57.7%) que corresponde al agua eliminada en el período de velocidad constante por tal motivo solo existe el período de velocidad decreciente como se observa en las gráficas experimentales.

4. Las mejores condiciones para el secado de carne de res en un secador de charolas atmosférico intermitente de acuerdo a los resultados experimentales son:

Humedad relativa = 15%

Temperatura de bulbo seco = 60 °C

Densidad de carga = 20 Kg/m<sup>2</sup>

Flujo de aire transversal al lecho

5. El rendimiento en la elaboración de la carne seca tipo machaca es del 28%.

6. La carne seca experimental se rehidrata en un 95% a temperatura de 92°C y en un 88% a 23°C en comparación con la comercial.

7. La machaca experimental está en condiciones de competir con la machaca comercial según lo demuestra la evaluación sensorial y el análisis químico proximal (AQP).

8. Debido a que la machaca no lleva más conservadores que la sal común y el proceso de secado en sí, se debe poner especial interés en el empaque de la carne recomendándose el empaque al vacío.

9. Es económicamente recomendable la recirculación del aire de secado de un 90% en la deshidratación de la carne ya que conlleva a un ahorro considerable de energía de 656 kg/hr de vapor, aunque este cálculo de recirculación es teórico.

10. La carne seca experimental sigue conservando su apariencia original después de 12 meses de haber sido deshidratada. Posteriormente la carne se empieza a quebrar, a perder su olor y sabor característico.



11. El equipo que se diseñó tiene las siguientes dimensiones y capacidades:

**Marmita:**

Capacidad: 150 lts, diámetro= 44.5 cm, altura= 89.0 cm,  
volumen total = 150 lts, espesor de la chaqueta = 3 mm.

**Becador de charolas:**

Cámara de secado: Capacidad de 47 Kg/h, altura= 182 cm, largo= 80 cm y ancho = 64 cm, potencia del motor del ventilador: 0.75 HP

El equipo que se diseñó no es muy grande ni muy costoso por la simplicidad de su diseño pero esta sujeto a un estudio económico detallado para su conveniente aplicación.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. American Society of Mechanical Engineers (ASME Code): "Boiler and Pressure Vessel Code" Section VIII; 1993.
2. Amos A. J., Billington A.C., et. al.; "Manual de Industrias de los Alimentos"; Editorial Acribia; Zaragoza España; 1970.
3. Baquero F.J. "Equipo para la Industria Química y Alimentaria"; Ed. Alhambra; Madrid-México; 1985.
4. Badger T. W., "Introducción a la Ingeniería Química"; Ed. McGraw-Hill; 1985.
5. Bifani C. V., Paredes R. C.; "Deshidratación de la carne"; Rev. Agroq. y Tecnol. Aliment.; 24 (2) 1984.
6. Brandly P.; "Higiene de la carne"; Ed. CECSA; 1977.
7. Brennan J. G., et.al.; "Las operaciones de la Ingeniería de los Alimentos"; Ed. Acribia; Zaragoza España; 1980.
8. Brownell L.I. E., Edwing H. Y.; "Process Equipment Design"; Ediciones John Wiles and Sons; New York U.S.A. 1979.
9. Charley H.; "Tecnología de los Alimentos"; Ed. LIMUSA; 1991.
10. Cheftel J. C., Cheftel H.; "Introducción a la Bioquímica y Tecnología de los Alimentos"; Vol. I; Ed. Acribia, Zaragoza España; 1992.
11. Idem. Vol II.
12. Coyne; "Manual de equipo Eléctrico y Electrónico "; Editorial Union Tipográfica Hispanoamericana, 1987.
13. Diccionario de Especialidades para la Industria Alimentaria; Ed. FLM, S.A. de C.V.; 1994.
14. Esain E. J.; "Tecnología Práctica de la Carne"; Ed. Acribia; Zaragoza España; 1973.
15. Fellows P.; "Tecnología del Procesado de los Alimentos"; Ed. Acribia; Zaragoza España; 1994.
16. Fennema O. R.; "Introducción a la Ciencia de los Alimentos"; Ed. Reverte; Barcelona-México; 1985.

17. Flores J., Bermell S.: "Propiedades funcionales de las proteínas miofibrilares: Capacidad de retención de agua"; Rev. Agroq. Tecnol. Aliment.; 24 (2) 1984.
18. Forrest J., et. al.; "Fundamentos de Ciencia de la Carne" Ed. Acribia; Zaragoza España 1979.
19. Geankopolis C. J. "Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias"; Ed. CECSA; 1991.
20. Girard J.P.; "Tecnología de la Carne y de los Productos Cárnicos"; Ed. Acribia, Zaragoza España; 1991.
21. Hayes D. G.: "Manual de Datos para Ingeniería de Alimentos"; Ed. Acribia, Zaragoza España; 1992.
22. Hiscox G.D.; "Enciclopedia Práctica de Recetas Industriales y Fórmulas Domésticas"; Ed. G. Gili S. A. de C.V.; México 1993.
23. Hougen O. A., Watson K. M., et.al.; "Principios de los Procesos Químicos"; Ed. Reverte, Barcelona España; 1986.
24. Instituto Nacional de la Nutrición; "Manual de Técnicas de Laboratorio para el análisis de Alimentos"; México 1984.
25. Kern D. Q.; "Procesos de transferencia de calor", Ed. CECSA; México 1990.
26. Lawrie R. A.: "Ciencia de la Carne"; Ed. Acribia; Zaragoza España; 1977.
27. Leniger H. A., Beverlo W.A. "Food Process Engineering"; Published by D. Reydel Publishing Company Boston S. A. 1975
28. López G. A.; "Diseño de Industrias Agroalimentarias"; Ed. A. Madrid Vicente, España.
29. Madarro A., Peña L; "Utilización del aire ambiente en el secado de alimentos"; Rev. Agroq. Tecnol. de Aliment.; 24 (3), 1984.
30. Moreno B., García M. L.; "El Sistema de Análisis de Riesgos y Puntos Críticos: su introducción en las Industrias de Alimentos en los años 90s"; Rev. Alimentaria; Marzo de 1992.
31. Ninnivaara F. P.; "El valor nutritivo de la carne"; Ed. Acribia; Zaragoza España 1975.

32. Nonhebel G.; "El Secado de Sólidos en la Industria Química"; Ed. Reverté; Barcelona-México; 1989.
33. Norma Oficial Mexicana F-150-S-1981; "Alimentos para Humanos-Determinación de Cloruro de Sodio en Salmueras".
34. Pedrero L. P.; "Evaluación Sensorial de los Alimentos, Métodos Analíticos"; Ed. Alhambra Mexicana; 1989.
35. Piñaga S., Carbonell; "Deshidratación de frutas y hortalizas con aire ambiente"; Rev. Agroq. y Tecnol. de Aliment.; 21 (4), 1981, 525-533.
36. Idem. 23 (2), 1983, 251-261.
37. Pearson E. G.; "Análisis Químico de Alimentos"; Ed Acribia Zaragoza España; 1990.
38. Perry H. R., "Manual del Ingeniero Químico"; Ed. Mc Graw Hill; México 1989.
39. Price J. C.; "Ciencia de la carne y de los productos cárnicos"; Ed. Acribia; Zaragoza España; 1976.
40. Proctor; "Conveyors, Dryers, and Heat Processing Equipment for the Food and Chemical Processing Industries"; catalogo.
41. Saenz E. C.; "Enciclopedia de la carne"; Ed. Espasa Calpe; Madrid España; 1967.
42. Van A., Copley M. J., et.al.; "Food Dehydration" Vol II; AVI Publishing Company Inc. 1973.