

58



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTITLÁN

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN



Departamento de
Exámenes Profesionales

**“SISTEMAS MODERNOS DE ENFRIAMIENTO DE
CANALES DE CERDO”**

TRABAJO POR MEDALLA GABINO BARREDA

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN ALIMENTOS

P R E S E N T A :

CARLOS GERMAN SALCEDO GARCIA

ASESOR : I.A. FRANCISCO JAVIER MORENO LOPEZ

CUAUTITLÁN IZCALLI, EDO DE MEX.

2002

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.

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MEXICO

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS



DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN
P R E S E N T E

ATN: Q. Ma. del Carmen García Mijares
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán

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

Trabajo por Medalla Cabino Barreda: "Sistemas Modernos de Enfriamiento de Canales de Cerdo".

que presenta el pasante: Carlos Germán Salcedo García
con número de cuenta: 9352637-3 para obtener el título de:
Ingeniero en Alimentos

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

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

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 26 de Octubre de 2001.

PRESIDENTE	<u>I.B.Q. Jaime Flores Minutti</u>	
VOCAL	<u>I.A. Alfredo Alvarez Cárdenas</u>	
SECRETARIO	<u>I.A. Francisco Javier Moreno López</u>	
PRIMER SUPLENTE	<u>I.A. Rosalía Meléndez Pérez</u>	
SEGUNDO SUPLENTE	<u>Dr. José Luis Arjona Román</u>	

Agradecimientos

A mi mamá.

A mi papá.

A mi hermano Mauricio; ahora sigues tú.

A mi esposa, por todo lo que hemos vivido juntos.

A mis 4 abuelitos, especialmente a mi abuelito José.

A Javier Moreno, por su orientación y apoyo.

A mis compañeros y amigos de la escuela.

A mis compañeros y amigos de trabajo, especialmente Mauricio e Ignacio.

A los profesores que ayudaron a mi formación.

A la Universidad.

Índice

1.0 Introducción	01
2.0 Producción y consumo de carne de cerdo en México	04
2.1 Producción primaria	04
2.2 Características de la producción	08
2.2.1 Infraestructura de sacrificio	09
2.3 Consumo nacional	15
2.4 Situación del mercado internacional	17
3.0 Enfriamiento del cerdo y problemas de calidad	20
3.1 Propósito del enfriamiento y almacenamiento refrigerado	20
3.2 Calidad de la carne	20
3.2.1 Factores microbiológicos	20
3.2.2 Estructura de la carne	26
3.2.2.1 PSE – Pálida, Suave y Exudativa	26
3.2.2.2 DFD – Oscura, Firme y Seca	27
3.2.2.3 Endurecimiento por frío	27
3.2.2.4 Oscurecimiento óseo	28
4.0 Sistema de Enfriamiento Rápido "Quick Chilling" y Enfriamiento en Túnel "Tunnel Cooling"	29
4.1 Desarrollo de los sistemas de enfriamiento	29
4.2 Enfriamiento Rápido: características y operación	30
4.2.1 Ubicación de los evaporadores en los cuartos de enfriamiento rápido	34
4.3 Enfriamiento en Túnel	36
4.3.1 Dimensiones y distribución del túnel	38
4.3.2 Transportador	38

4.3.3	Evaporador y sistema de distribución de aire	39
4.3.3.1	Diseño de la superficie aleteada	40
4.3.3.2	Selección de los abanicos	41
4.3.4	Equipo de refrigeración	45
4.3.5	Condiciones de operación	46
4.3.6	Operación del túnel durante la semana de trabajo	47
4.3.7	Clasificación y eculización	47
4.3.8	Pérdidas de peso y vida de almacenamiento	49
4.3.9	Ventajas	49
	Recomendaciones y Conclusiones	51
	Bibliografía	55

Índice de Figuras

Figura	Nombre	Página
01	Producción de carne de porcino en México, 1992 – 2000	05
02	Producción total de carnes en México, 1990, 1999	05
03	Valor de la producción de ganado para abasto y carne en canal porcino, 1990 – 1999	08
04	Principales entidades productoras de carne de porcino en 1999	09
05	Distribución geográfica de los rastros TIF por especie productiva	12
06	Sacrificio de ganado porcino en rastros TIF, 1994 – 2000	13
07	Distribución por nivel de matanza de porcinos, 2000	14
08	Evolución del Consumo Nacional Aparente de productos Porcinos, 1994 – 2000	16
09	Evolución de la producción mundial de carnes, 1990 – 1999	17
10	Principales países productores de carne de cerdo en 1997	18
11	Exportaciones definitivas de carne de puerco, 1990 – 1999	19

12	Curva de crecimiento bacteriano	21
13	Tasa de crecimiento bacteriana	22
14	Tipos de crecimiento bacteriano	23
15	Crecimiento de bacterias, mohos y levaduras con respecto a la humedad relativa	24
16	Curva de enfriamiento de canales de cerdo	32
17	Lay-out de cuarto de enfriamiento rápido	33
18	Cuarto de enfriamiento rápido con evaporador de cielo	34
19	Cuarto de enfriamiento rápido con evaporador de piso	34
20	Ilustración de aletas continuas y aletas variables	41
21	Ilustración de abanicos axiales	42
22	Curvas de operación de abanicos axiales	43
23	Evaporador para túnel de enfriamiento de cerdos	44
24	Diseño de túnel de enfriamiento	45

Índice de Cuadros

Cuadro	Nombre	Página
01	Pronóstico de la producción pecuaria, 2001	07
02	Porcentajes de merma y ahorros de los sistemas de enfriamiento	50

1.0 Introducción

Las actividades pecuarias en México son de un gran importancia en el contexto socioeconómico y al igual que el resto del sector primario, han servido de base al desarrollo de la industria nacional, ya que proporcionan alimentos, materias primas, divisas y empleos.

La ganadería, y en específico la producción de carne, es la actividad productiva más diseminada en el medio rural. Se estima que la superficie total aprovechada por la ganadería es superior a los 110 millones de hectáreas (6), lo que representa aproximadamente un 60% de la superficie del territorio nacional.

La producción de carne se da en una amplia gama de sistemas productivos, incluyendo los altamente tecnificados e integrados. El crecimiento de la producción de carne durante el periodo 1990 – 1999 ha sido del 5.1% anual, superado únicamente dentro del ramo ganadero por el huevo, con un crecimiento del 5.4% anual (6).

Uno de los más importantes productos en este ramo es la carne de cerdo, la cual representa el 24% del volumen de carne producida en el país. La cifra preliminar de producción de carne de cerdo en el 2000 fue de 1,035,000 toneladas, 4.1% mayor al volumen de 1999 (12).

Esta producción, junto con un volumen de 294,560 toneladas de carne de importación, representan un valor de Consumo Nacional Aparente de 1,299,560 toneladas, 2.3% mayor que en 1999, con lo que la disponibilidad per cápita se situará en 13.3 kg. al año (5). Con este valor de producción, es muy importante introducir y utilizar métodos y sistemas que nos permitan un mejor rendimiento y una mejor calidad del producto.

La carne de cerdo es un producto del que se ha empezado a explotar su potencial de exportación, especialmente a los mercados de Asia y principalmente a Japón. Esto ha sido posible ya que México cuenta con regiones productoras libres de Fiebre Porcina Clásica (5).

Hay varios factores que se deben considerar para obtener un producto (carne) de buena calidad: la raza y salud del animal, las condiciones de crianza, su alimentación, el transporte al rastro, el tiempo de descanso en el establo, el tipo de matanza, etc. (4). Sin embargo, uno de los factores más importantes y que más repercuten en el rendimiento y calidad del producto es el enfriamiento de las canales de cerdo después de la matanza.

El método de enfriamiento empleado es muy importante ya que influenciará aspectos vitales del producto tales como (4):

- La apariencia del producto
- La textura de la carne
- La vida útil o de anaquel
- Las pérdidas de peso en la carne debidas a evaporación de agua durante el proceso de extracción de calor

Este último punto es de vital importancia, ya que las pérdidas en peso disminuyen la cantidad de producto que se puede vender y por tanto, afectan negativamente la economía del rastro, aumentando sus costos de producción. A la pérdida de peso en la carne debido a la evaporación de agua durante el proceso de enfriamiento de la canal también se le conoce como "encogimiento".

Durante los últimos años se han desarrollado, principalmente en Dinamarca (10), nuevas técnicas y procesos de enfriamiento para las canales de cerdo. Los resultados han sido una mejor calidad de producto, una mayor vida de anaquel y

una reducción en el porcentaje de encogimiento del producto, lo que ha ocasionado que los rastros y mataderos se vuelvan más eficientes operativa y financieramente.

Hay dos sistemas modernos para el enfriamiento de las canales de cerdo:

1. Cuarto de Enfriamiento Rápido o "Quick Chilling". Este es un proceso que se lleva a cabo en lotes.
2. Túnel de Enfriamiento o "Tunnel Cooling". Este es un proceso continuo.

En este trabajo se describirán las ventajas y características principales de diseño y operación de ambos sistemas, y veremos a detalle las características de los evaporadores que se requieren, ya que son una parte esencial de los mismos. También se revisarán los problemas de calidad que pueden presentarse en la carne, y se profundizará en la situación actual de la producción y consumo de carne de cerdo en el país.

2.0 Producción y Consumo de Carne de Cerdo en México

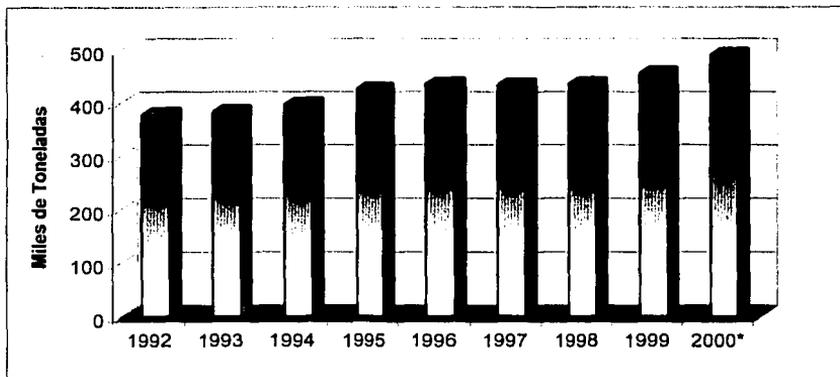
2.1 Producción Primaria

Durante la última mitad de la década de los 90, la porcicultura en México estuvo marcada por precios bajos del producto y un aumento en las importaciones de carne de cerdo, lo que hizo que la planta productiva se depurara. Los productores con baja eficiencia se vieron orillados a salir del mercado, mientras que los productores tecnificados e integrados se consolidaron expandiendo sus operaciones, lo que posibilitó el crecimiento de la producción nacional.

Este crecimiento se benefició por precios bajos en los insumos alimenticios de los animales, además de un muy bajo crecimiento de la oferta de carne de res (debido principalmente a la sequía que sufre el país desde hace varios años), que creó un vacío que fue ocupado por la carne de cerdo y de pollo. Además de esto, en febrero de 1999 se logró eliminar la influencia de los precios dumping en la importación de ganado porcino proveniente de USA, mediante la aplicación de un arancel compensatorio de 0.351 Dólares por kg. de ganado en pie (12).

La producción de carne de cerdo ha mantenido un crecimiento sostenido durante la última década (Figura 1), aunque su porcentaje en la participación total del mercado ha disminuido. En 1990, un 28% de la producción nacional total de carne correspondía al cerdo. Para el año de 1999, el valor había disminuido a un 24% del total (Figura 2) (6).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



2000* Preliminar

Figura 1: Producción de Carne de Porcino en México, 1992 – 2000

Referencia: Centro de Estadística Agropecuaria / SAGAR (5)

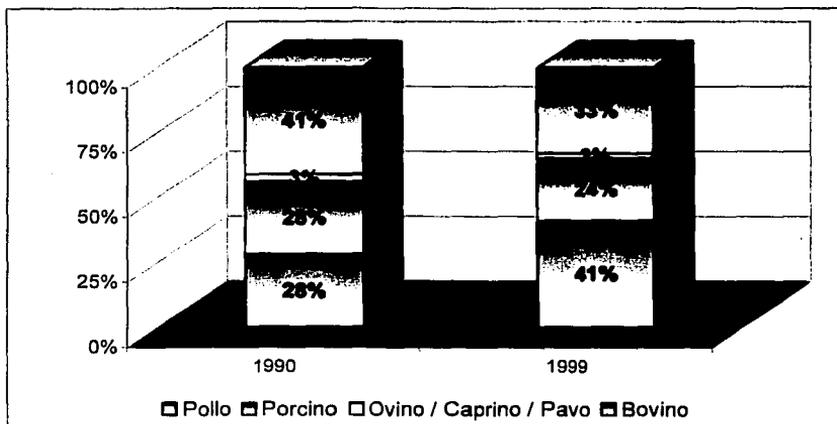


Figura 2: Producción Total de Carnes en México

Referencia: Centro de Estadística Agropecuaria / SAGAR (6)

De la Figura 2 se observa que ha habido un cambio en los hábitos de consumo de carne en los últimos del año, ya que la carne de pollo es actualmente la carne de mayor producción en México, reemplazando a la carne de res que era la de mayor producción en 1990. Esto se debe en gran medida a que el proceso de producción de carne de pollo es más sencillo y no depende tanto de los factores climáticos, mientras que la producción de carne de res se ha visto afectada por la sequía que ha sufrido el país en los últimos años. Esto ha influido también en los niveles de precio que tienen estos productos, lo que favorece el consumo de carne de pollo, especialmente en las clases sociales más bajas.

La carne de cerdo, en cambio, se ha mantenido constante en el tercer lugar de producción nacional, sufriendo un ligero retroceso en la última década al bajar de un 28% a un 24% de participación en la producción total.

En cuanto a la producción, la cifra preliminar en el año 2000 es de 1,033,170 toneladas de carne, y el pronóstico para el año 2001 es una producción de 1,065,138 toneladas, lo que representa un crecimiento del 3.1%, mientras que el pronóstico del crecimiento del Producto Interno Bruto nacional es actualmente de sólo el 1.97%. En el Cuadro 1 se indican los valores de producción para los años 2000 y 2001.

Con respecto al valor de la producción, para 1999 éste fue de \$ 14,241 millones de pesos para el ganado en pie, y de \$ 17,310 millones de pesos considerando a la carne en canal.

La participación de la carne porcina en el valor total del mercado de la carne fue de un 24% (6). En la Figura 3 se muestran el comportamiento del valor de la producción durante de 1990 a 1999. Se observa que a partir de 1994, debido a los problemas que sufrió la economía mexicana, el valor de la producción de la carne de cerdo ha tenido un comportamiento sostenido a la alza, con excepción de 1998 en que tuvo una ligera caída.

Por otra parte, la diferencia entre el valor del ganado porcino en pie y el ganado en canal se ha incrementado, lo que hace más atractiva y rentable la actividad de matanza y procesamiento de carne.

Cuadro 1: Pronóstico de la Producción Pecuaria, 2001

	<input checked="" type="radio"/> Toneladas	<input type="radio"/> Miles de litros	
Leche			
Bovino	9,304,979	9,455,038	1.6
Caprino	131,948	140,898	6.8
Otros productos			
Huevos para plato	1,800,856	1,813,659	0.7
Miel	58,550	61,233	4.6
Cera en greña	2,324	2,383	2.5
Lana sucia	4,229	4,293	1.5

* Cifras preliminares

** Pronóstico con base a la producción del mes de marzo del 2001

Referencia: Centro de Estadística Agropecuaria con datos de las Delegaciones Estatales y de la Dirección General de Ganadería, SAGARPA (12)

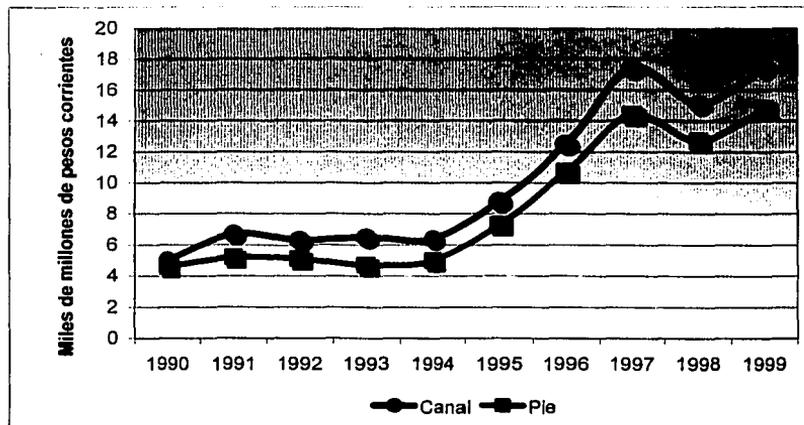


Figura 3: Valor de la Producción de Ganado para Abasto y Carne en Canal Porcino, 1990 – 1999

Referencia: Centro de Estadística Agropecuaria / SAGAR (6)

2.2 Características de la Producción

La producción de cerdo en el país se encuentra muy regionalizada, ya que los estados de Jalisco, Sonora, Guanajuato, Puebla, Yucatán, Veracruz y Michoacán aportan el 75% (5) de la producción nacional (Figura 4). La producción en estos estados es fuerte debido al crecimiento o consolidación de compañías y grupos porcícolos ubicados en ellos.

Se ha incrementado también la producción por el aumento en las exportaciones de carne en los últimos años, principalmente a Japón. Algunos de los grupos más importantes que exportan carne al mercado asiático son Kowi (Cd. Obregón, Son.), Norson (Hermosillo, Son.) y Kekén (Mérida, Yuc.).

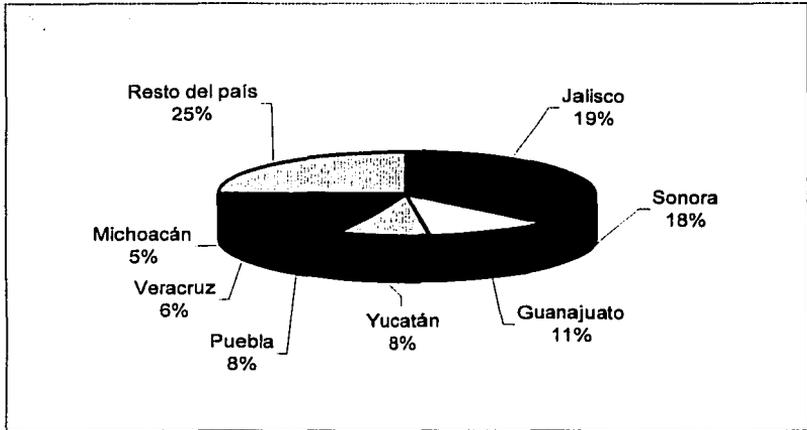


Figura 4: Principales Entidades Productoras de Carne de Porcino en 1999

Referencia: Centro de Estadística Agropecuaria / SAGAR (6)

2.2.1 Infraestructura del sacrificio

México, al igual que otros países, cuenta con diferentes tipos de establecimientos para el procesamiento de ganado, diferenciados por el grado de equipamiento, los controles sanitarios y el tamaño de la infraestructura. Estos establecimientos se dividen en 3 niveles (6).

El primer nivel es el correspondiente a los rastros Tipo Inspección Federal o TIF, los cuales cuentan con la infraestructura más moderna, un mejor equipamiento y los más estrictos controles higiénicos, cuya inspección es responsabilidad de la Secretaría de Agricultura y Ganadería (SAGARPA). Este sistema de inspección se ha ido transformando desde sus orígenes en 1947, incluyendo actualmente el

control de los puntos de riesgo de contaminación del producto y del medio ambiente.

Otras características de estos rastros es la existencia de instalaciones específicas para el enfriado de las canales, a fin de asegurar su mejor conservación, así como la práctica del sacrificio humanitario del animal. Estos niveles de proceso y de higiene hacen que estos rastros sean los únicos autorizados para procesar productos cárnicos para exportación.

Algunas de las características y especificaciones de construcción requeridas para las cámaras de refrigeración de un rastro TIF, son (8, 9):

- Para las cámaras frigoríficas de conservación de carne fresca, la temperatura mínima de la cámara debe ser de 0°C, y la temperatura máxima de 4°C.
- En áreas de deshuese, la temperatura máxima debe ser de 10°C.
- Para cámaras de conservación de producto congelado, la temperatura óptima será a partir de -18°C.
- En áreas de procesamiento de productos cárnicos, la temperatura máxima debe ser de 15°C.
- Para constatar la temperatura, en todas las áreas se instalarán termómetros o termógrafos.
- Se instalarán en todos los cuartos refrigerados alarmas que se accionen desde el interior.

- Para cerdos, la distancia entre rieles tendrá como mínimo 50 cm, la distancia mínima hacia las paredes será de 60 cm, y la altura debe ser tal que la canal quede como mínimo a 30 cm del techo y a 30 cm del piso.
- Cuando se utilicen estanterías, éstas serán de un material inoxidable y de fácil lavado.
- No se permite el almacenaje de ningún producto sobre el piso, ni colocar simultáneamente en una misma cámara frigorífica carnes, subproductos o derivados de distintas especies animales.
- Podrá utilizarse cualquier sistema de refrigeración o congelación, siempre que su aplicación no altere las características organolépticas de los productos.
- Cuando el sistema de enfriamiento o congelación sea con base a la circulación de líquidos, y sus dispositivos se encuentren ubicados en la parte superior de las paredes, próximos al techo, deberán protegerse para evitar el goteo de agua de condensación hacia el suelo o sobre los productos almacenados.

La distribución geográfica de estos rastros guarda una importante relación con las principales zonas de producción. En la Figura 5 se muestra la distribución de estos establecimientos. En 1999, México contaba con un total de 87 rastros TIF, de los cuales 43 corresponden a proceso de bovinos, 31 para porcinos y 13 para aves. La capacidad instalada para porcinos es de 25,000 cabezas por turno de 8 horas (6).

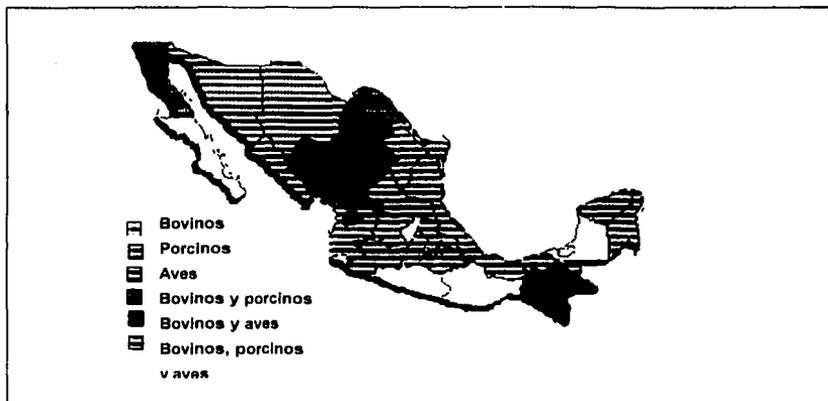
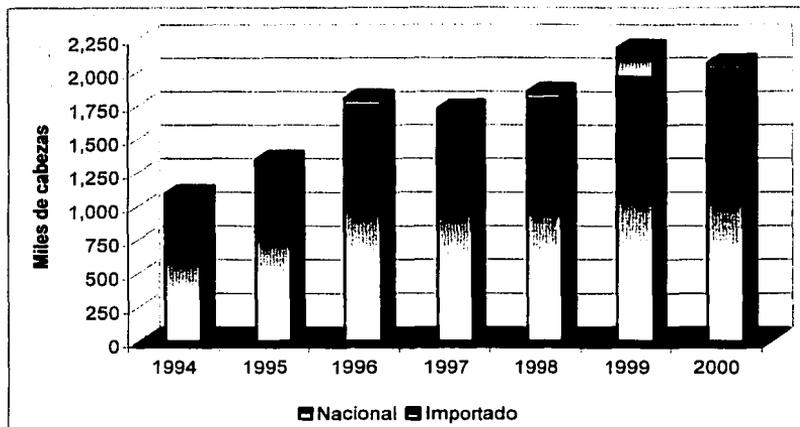


Figura 5: Distribución Geográfica de los Rastros TIF por Especie Productiva
Referencia: Dirección General de Ganadería con información de la Dirección General de Salud Animal, SAGAR (6)

En 1990, el 10% de la matanza de cerdos se realizaba en rastros TIF; para 1998, el 35% de la matanza se realizaba en estos establecimientos. El sacrificio total de cerdos en rastros TIF durante 1999 ascendió a 4,190,268 cabezas, lo que implicó un crecimiento del 3.4% con respecto al año anterior (5).

Para el primer semestre del 2000, el sacrificio de ganado porcino en rastros TIF acumuló un total de 2,067,314 cabezas, que es un valor 2.7% inferior al obtenido en el mismo periodo durante 1999, pero 11% mayor a lo procesado en 1998 (12).

La [Figura 6](#) muestra la evolución del sacrificio de ganado porcino en rastros TIF, en el periodo comprendido entre los años 1994 y 2000. Se aprecia claramente la tendencia positiva de este tipo de matanza.



Nota: Las series de 1999 y 2000 se adecuaron, ya que existen rastros que no reportan en ciertos meses

Figura 6: Sacrificio de Ganado Porcino en Rastros TIF, 1994 – 2000

Referencia: Dirección General de Ganadería, con información de la Dirección General de Salud Animal / SAGAR y Sistema de Información Comercial – México / SECOFI (5)

En los últimos años, la infraestructura de los rastros TIF se ha visto complementada con la instalación de salas de corte y deshuese de carne, a fin de obtener un producto de valor agregado con un mejor precio de mercado. En el caso concreto del cerdo, estas salas de corte permiten atender demandas específicas de la industria (carnes frías, embutidos, manteca) con productos certificados TIF, los cuales pueden trasladarse a todo el territorio nacional sin restricciones zoonosanitarias. En 1999, la SAGAR autorizó 18 establecimientos de corte y deshuese para porcinos, con una capacidad total de 1,648 toneladas por turno (5).

El segundo nivel en las instalaciones de procesamiento de animales corresponde básicamente a los rastros municipales, los cuales cuentan con una menor tecnología, infraestructura y control higiénico. En el país hay aproximadamente 1,300 rastros municipales (considerando todas las especies animales), cuyo control está a cargo de los gobiernos locales. La matanza en estos rastros corresponde a un 34% del total del procesamiento de cerdos en el país (6).

El tercer y último nivel de las instalaciones de procesamiento, son los mataderos y el denominado sacrificio in situ, el cual se da principalmente en especies menores. Este tipo de establecimientos cuentan con tecnología muy primitiva y se localizan principalmente en comunidades alejadas de los medios de comunicación.

En la Figura 7 se muestra la distribución de la matanza de cerdos en los tres niveles: rastros TIF, rastros municipales y matanza in situ.

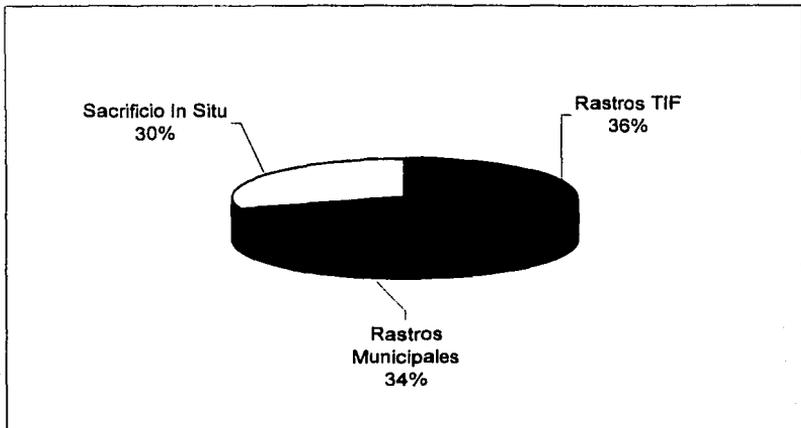


Figura 7: Distribución por Nivel de Matanza de Porcinos, 2000

Referencia: Dirección General de Ganadería / SAGARPA (5)

2.3 Consumo Nacional

Las carnes y los productos cárnicos desempeñan parte importante del consumo de alimentos de alta calidad de la dieta del mexicano. El balance de aminoácidos y la calidad de sus proteínas difícilmente puede ser aportado por productos agrícolas, de ahí que es necesario incluir la carne dentro de la dieta del pueblo mexicano.

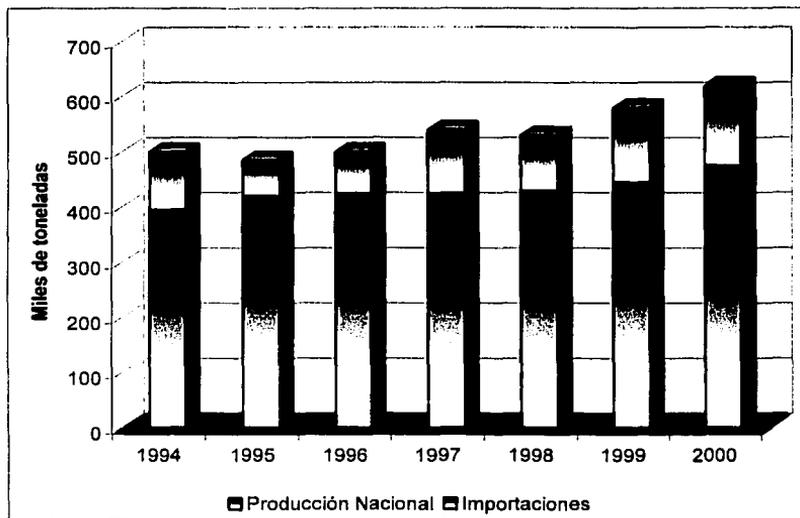
El consumo de carnes se realiza bajo dos grandes sistemas: el consumo directo de carnes frescas, y el consumo de productos industrializados, principalmente carnes frías y embutidos. Aunque el consumo directo es mayor al consumo de embutidos, la industrialización ha mantenido una expansión permanente.

En 1999, el Consumo Nacional Aparente (CNA) de carne de cerdo a nivel nacional se ubicó en 1,270,487 toneladas, el valor más alto de la década de los 90, y un 4.3% superior al valor de 1998. El Consumo Nacional Aparente es la suma de la producción nacional más las importaciones (6).

Para el primer semestre del 2000, el crecimiento de la producción de carne de cerdo disponible para consumo interno, así como el nivel de las importaciones, se traduce en un aumento pronunciado en el nivel del CNA, alcanzando 634,468.6 toneladas, monto que representa un incremento de 10.5% con respecto al CNA del mismo periodo de 1999 (12). Este CNA se inscribe como el de mayor nivel en los últimos 6 años, manifestando un crecimiento promedio de 4.1% en el periodo 1994-2000.

En términos absolutos, el CNA en el primer semestre del 2000 es 60,495 toneladas mayor al de 1999, donde la producción nacional aporta alrededor de 23,400 toneladas y las importaciones 26,500 toneladas (12).

El crecimiento de la disponibilidad de carne y productos porcícolas, tanto nacionales como de importación, permiten prever que el abasto del mercado doméstico está satisfecho en niveles adecuados. En la **Figura 8** se muestra el desarrollo del consumo de productos porcinos de 1994 al 2000.



Nota: Para efectos del CNA, al volumen de producción nacional se le restan las Exportaciones

Figura 8: Evolución del Consumo Nacional Aparente de Productos Porcinos, 1994 – 2000

Referencia: Dirección General de Ganadería, con información de SECOFI y SAGAR (5)

2.4 Situación del Mercado Internacional

Según estimaciones de la FAO, la producción mundial de carnes en 1999 fue de 208 millones de toneladas, y el ritmo de expansión de esta industria durante la década de los 90's fue de 2.3%. La rama que representó un mayor volumen de producción fue la carne de cerdo, con un 39% del total. En segundo lugar se ubicó la carne de res, con un 25%, y en tercer lugar la carne de pollo, con un 24% (Figura 9).

A nivel mundial China es el principal país productor de carne, con 55 millones de toneladas, seguido por Estados Unidos con 34.5 millones de toneladas y por Brasil, con 12.6 millones de toneladas. México se encuentra en el octavo lugar, con 4.1 millones de toneladas (6).

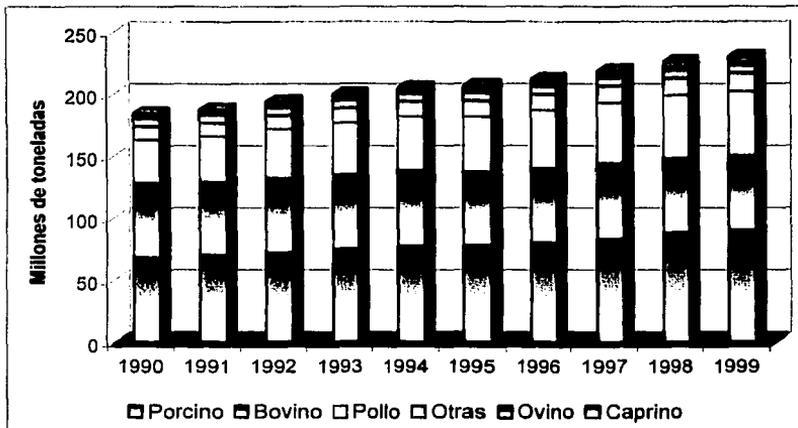


Figura 9: Evolución de la Producción Mundial de Carnes, 1990 - 1999

Referencia: FAOSTAT, FAO (6)

Con respecto a la producción de carne de cerdo, China es el líder mundial. En 1997, México se encontraba en el 7°. lugar, al igual que la Federación Rusa (Figura 10).

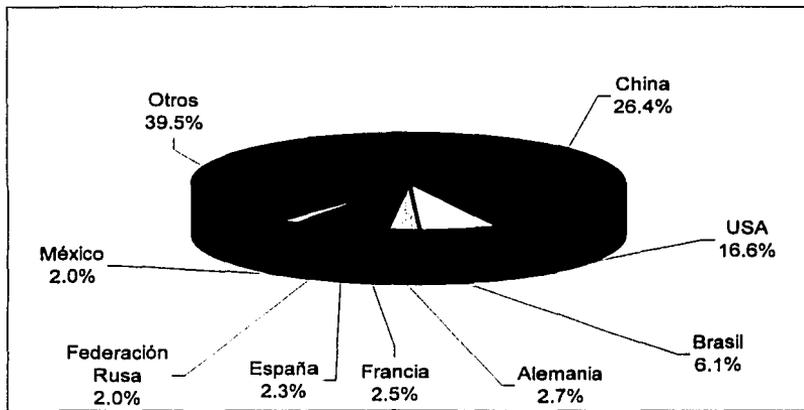


Figura 10: Principales Países Productores de Carne de Cerdo en 1997

Referencia: FAOSTAT, FAO (5)

México aún no es autosuficiente en producción de carne de cerdo, por lo que se importan de USA cerdos en pie que se procesan en nuestro país. Sin embargo, la tendencia está disminuyendo, debido a un sostenido aumento en la producción nacional. En el primer semestre del 2000 ingresaron al país un total de 48,784 cerdos en pie, lo cual comparado con la cifra de 1999, representa una disminución del 70% (12).

En el mercado de las exportaciones de carne de cerdo, Estados Unidos es el líder con 3.3 millones de toneladas, que representan el 22.5% del total mundial. En segundo lugar se ubican Australia y Holanda con el 8%, y en tercero Dinamarca con un 7%.

Durante 1999, la consolidación de grupos de poricultores enfocados a la exportación de carne porcina siguió rindiendo frutos, ya que las ventas al exterior alcanzaron las 25,600 toneladas (Figura 11), lo que representa un aumento del 17.4% con respecto al 98. Estas exportaciones aportaron ingresos al país por aproximadamente 90 millones de dólares.

El principal destino de las exportaciones mexicanas es Japón, país del cual somos el quinto proveedor de carne de cerdo con un 6% de participación de mercado (5).

Un punto importante también para el crecimiento futuro de las exportaciones, es el reconocimiento del estado de Yucatán como zona libre de la Fiebre Porcina Clásica. Este reconocimiento, aunado a la ubicación geográfica estratégica, convertirá a este estado en punta de lanza para la apertura de los mercados de Centro y Sudamérica.

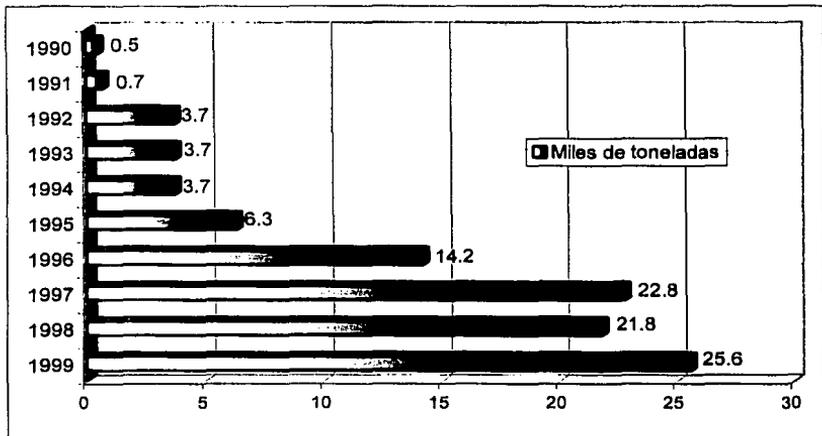


Figura 11: Exportaciones Definitivas de Carne de Puerco, 1990 - 1999

Referencia: Sistema de Información Comercial México / SECOFI (5)

3.0 Enfriamiento del Cerdo y Problemas de Calidad

3.1 Propósito del Enfriamiento y Almacenamiento Refrigerado

Todos los alimentos están sujetos a la acción de dos agentes que regulan su calidad y su vida útil: microorganismos y enzimas. Estos agentes se pueden controlar, en mayor o menor grado, por métodos físicos o químicos.

La refrigeración (y la congelación) es un método físico de preservación de los alimentos, ya que nos permite retrasar la acción de los microorganismos y de las enzimas.

Al someter la carne a enfriamiento en un ambiente controlado de refrigeración se obtienen los siguientes beneficios (4):

- Un proceso uniforme y controlado
- Mejores condiciones de trabajo para los operadores
- Se cumple con la reglamentación y normas sanitarias
- Una mejor calidad de la carne
- Un mayor tiempo de vida útil del producto
- Una menor pérdida de peso debido a evaporación de agua

3.2 Calidad de la Carne

3.2.1 Factores Microbiológicos

La vida de anaquel de la carne ha expirado cuando el olor, la apariencia y el sabor se apartan tanto de las condiciones de una carne de animal recién sacrificado, que ya no puede ser consumida placenteramente por la persona.

Una parte de esta descomposición de la carne se debe a los microorganismos, los cuales pueden ser clasificados como bacterias, hongos o levaduras.

La Figura 12 muestra una curva típica de crecimiento de una bacteria. Siempre empieza con una fase de latencia seguida de una fase de crecimiento exponencial. Después de un cierto periodo de tiempo el crecimiento se hará más lento, pero para este tiempo el alimento ya no se puede considerar comestible.

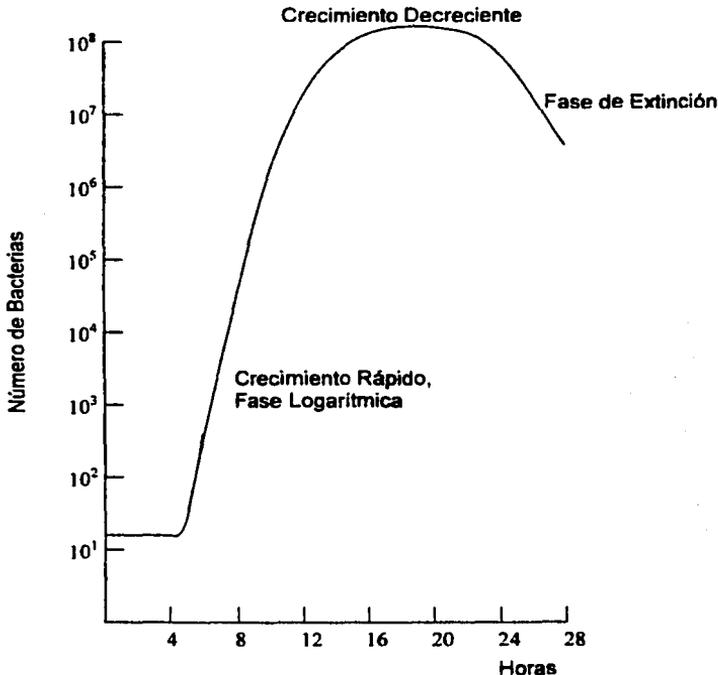


Figura 12: Curva de Crecimiento Bacteriano

Referencia: "Pig Chilling and Quality Problems" (4)

La **Figura 13** muestra la influencia de la temperatura en el crecimiento de las bacterias. Se observa que mientras menor es la temperatura, más tarda el microorganismo en abandonar la fase de latencia, y la velocidad de crecimiento es menor.

En la práctica, se puede considerar que el crecimiento bacteriano cesa a temperaturas menores a 5°C (4).

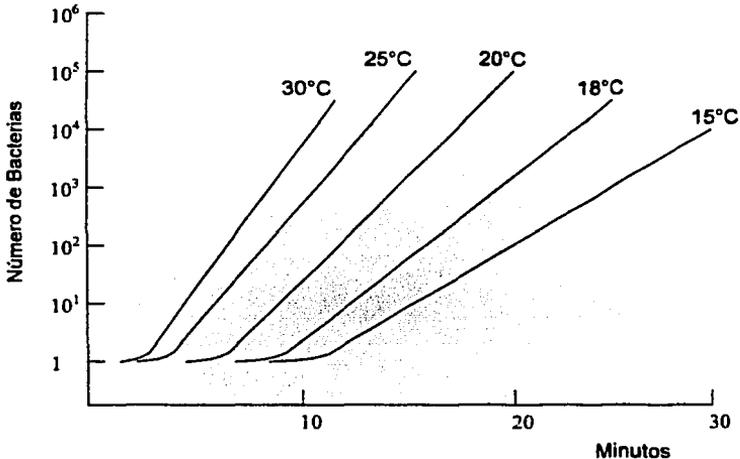


Figura 13: Tasa de Crecimiento Bacteriana

Referencia: "Pig Chilling and Quality Problems" (4)

La **Figura 14** muestra cómo se puede prolongar la vida de anaquel del producto. La mejor vida de anaquel se obtiene mediante un enfriamiento rápido de la carne, el cual prolonga la fase de latencia del microorganismo, aunado a una buena

limpieza y sanitización de la carne para reducir la carga bacteriana. Esta combinación de enfriamiento y limpieza se muestra en la curva "e". El inicio del crecimiento se retarda por la baja cuenta bacteriana, y una vez que inicia le velocidad de crecimiento es menor debido a la baja temperatura del producto.

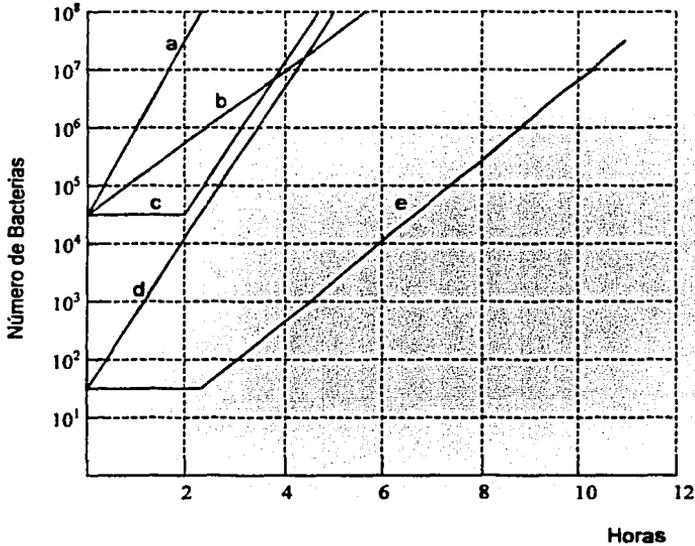


Figura 14: Tipos de Crecimiento Bacteriano

Referencia: "Pig Chilling and Quality Problems" (4)

Donde:

- a) Crecimiento bacteriano "normal"
- b) Restricción de la tasa de crecimiento
- c) Extensión de la fase latente
- d) Disminución el número de microorganismos después de la matanza
- e) Combinación de c) y d): enfriamiento y sanitización

El crecimiento de los microorganismos depende en buena medida de la humedad que hay en y sobre el alimento. El grado de humedad en la carne se expresa por su actividad de agua. Los hongos y las levaduras continúan su crecimiento hasta una temperatura de -10°C , lo que significa que continúa a las temperaturas normales de enfriamiento (4).

La manera como se puede controlar su crecimiento es regulando la humedad relativa en las cámaras de enfriamiento. La Figura 15 muestra el crecimiento de los microorganismos en relación con la humedad relativa. Si las canales de cerdo se encuentran colgando muy cerca, fácilmente se pueden tener regiones de aire donde la humedad relativa sea cercana al 100% (4). También es muy importante evitar la condensación sobre el producto después del enfriamiento y durante el periodo de almacenamiento.

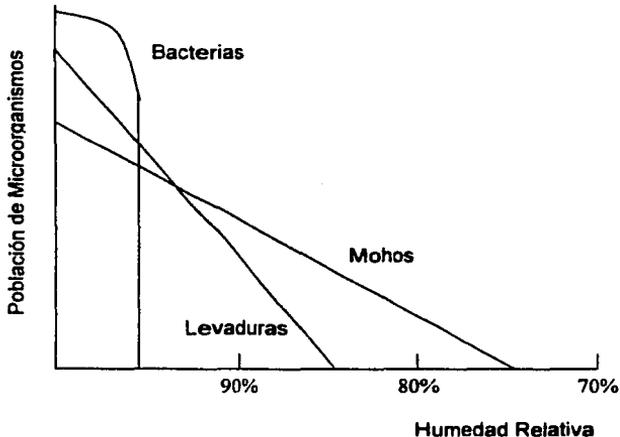


Figura 15: Crecimiento de Bacterias, Mohos y Levaduras con Respecto a la Humedad Relativa

Referencia: "Pig Chilling and Quality Problems" (4)

En algunas plantas procesadoras se utilizan sistemas con humidificadores en la fase de enfriamiento de la canal para evitar o minimizar la pérdida de peso. Estos sistemas combinan el enfriamiento tradicional con el espreado de agua helada sobre la canal. El agua helada se maneja a temperaturas de 1° a 5°C, y el espreado se hace en intervalos fijos, (por ejemplo, 60 segundos de espreado cada 15 min.) combinado con velocidades de aire de 1.5 a 3 ft./seg, durante 10 horas (3).

Estos sistemas ayudan a controlar la pérdida de peso del producto, pero tienen la desventaja que se debe mantener un control sanitario muy estricto sobre el agua que se esprea, a fin de no contaminar el producto. Otra desventaja es que al manejar agua dentro del cuarto frío, aumenta su humedad relativa, lo que genera condiciones favorables para el desarrollo de microorganismos.

Con respecto a los microorganismos, hay que considerar las siguientes recomendaciones para obtener la mejor vida útil posible (4):

- Enfriamiento rápido de la canal a 5°C o menos
- Minimizar la carga microbiana después de la matanza, mediante un sistema de limpieza y sanitización adecuado
- Rápida equalización de la temperatura en la canal después del enfriamiento, con una buena circulación de aire
- Evitar juntar demasiado los cerdos en los rieles de transporte
- No se debe hacer limpieza utilizando agua en un cuarto con canales de cerdo
- Evitar cualquier otra posibilidad de condensación en la superficie de la canal

3.2.2 Estructura de la Carne

3.2.2.1 PSE – Pálida, Suave y Exudativa

Quando un músculo vivo es transformado en carne ocurre un cambio en el metabolismo, ya que la sangre deja de transportar oxígeno alrededor del organismo. El metabolismo se vuelve anaeróbico (sin oxígeno) y crea una descomposición del glucógeno en glucosa, la cual a su vez, se transforma en ácido láctico y finalmente en dióxido de carbono y agua, liberando energía. Todos los cerdos tienen un valor pH de 7.0 antes de la matanza, y de 5.5 a 5.6 después del sacrificio.

En algunos cerdos la descomposición del glucógeno ocurre muy rápidamente, especialmente si los cerdos son sensibles al stress o si han sido estresados justo antes de la matanza. Estos cerdos pueden tener un pH menor a 5.5 y los músculos firmes en la línea de matanza. Si se combina un pH bajo con una temperatura alta, se obtiene una desnaturalización de las proteínas del músculo.

El resultado es una carne pálida y exudativa, ya que las proteínas desnaturalizadas tienen problemas para retener el agua en los músculos. La carne que tiene esta condición se llama PSE: Pálida, Suave y Exudativa. Esta es una carne de mala calidad y su producción se debe evitar lo más posible. Este es un proceso natural que ocurre con algunos cerdos, que puede variar de acuerdo al sexo, edad y raza, pero que se puede controlar y minimizar aumentando el nivel de pH. Esto se logra (4):

- Manteniendo el tiempo en la línea de matanza lo más corto posible
- Reduciendo la temperatura de la carne lo más pronto posible

3.2.2.2 DFD – Oscura, Firme y Seca

Si los cerdos están exhaustos en el momento del sacrificio (ya sea por una pelea o por un stress prolongado), el contenido de glucógeno será muy bajo. Consecuentemente, la formación de ácido láctico será baja y el pH disminuirá únicamente a valores de 5.8 a 6.0.

La carne obtenida de estos animales se denomina DFD: Oscura (Dark), Firme y Seca (Dry). Esta condición no está influenciada por la herencia o por el enfriamiento de las canales, sino únicamente por el tratamiento al cerdo el día que es sacrificado.

3.2.2.3 Endurecimiento por Frío

Cuando la carne es expuesta a bajas temperaturas antes del rigor mortis, ésta tratará de contraer los músculos. Esta carne será, después de la cocción, seca y dura para comer. A esta condición se le llama endurecimiento por frío.

El rigor mortis es una condición de la carne que se presenta debido a cambios bioquímicos originados después del sacrificio del animal. Estos cambios, ya comentados, provocan la acumulación de ácido láctico, el cual origina una contracción muscular y el endurecimiento del músculo (3). Después de este periodo, el tejido muscular se ablanda de manera natural por la acción de diversas enzimas proteolíticas.

Debido al rápido rigor mortis del cerdo y a la protección que ofrece la capa de grasa que tiene, el riesgo de que sufra endurecimiento por frío es limitado. Este riesgo es eliminado si la temperatura promedio del filete de la canal está entre 18 y 20°C dentro de 1.5 a 1.75 horas después de la matanza. Esto significa que un procedimiento de enfriamiento adecuado debe eliminar este riesgo. Las únicas excepciones a esta regla son los cerdos muy delgados y los cerdos tipo DFD.

3.2.2.4 Oscurecimiento Óseo

En algunos rastros ocurren problemas por decoloración de los huesos de la espalda aproximadamente 24 horas después de la matanza. Los huesos se vuelven cafés o negros, y a esta situación se le denomina oscurecimiento óseo. La razón de este cambio en la coloración es la transformación de la mioglobina en metamioglobina, debido a un proceso de oxidación, la cual se desarrolla más rápido si las células sanguíneas están atrapadas en un área con alta humedad.

El riesgo de oscurecimiento óseo puede ser minimizado o eliminado por un proceso donde la temperatura y la velocidad de aire en la parte final del enfriamiento de la canal se cambien hasta un punto donde la temperatura superficial de los huesos de la espalda sea más alta que el punto de rocío del aire en los cuartos de eculización. También es importante mantener una buena circulación de aire en los cuartos de eculización.

4.0 Sistema de Enfriamiento Rápido "Quick Chilling" y Enfriamiento en Túnel "Tunnel Cooling"

4.1 Desarrollo de los Sistemas de Enfriamiento

Dentro de los muchos procesos que se llevan a cabo en un rastro, el proceso de enfriamiento es de una importancia considerable ya que influenciará aspectos vitales del producto tales como (7):

- La apariencia de la carne
- La textura de la carne y sus propiedades de duración
- Pérdida de peso causada por la evaporación de agua durante el proceso de extracción de calor

En los costos de operación de un rastro, uno de los factores más importantes es la pérdida de peso en el producto. Esta pérdida de peso se debe a pérdidas de agua en el producto. Es de esencial importancia que las pérdidas de peso se mantengan a los niveles más bajos posibles.

Son puntos decisivos en esta situación los procedimientos de extracción de calor empleados durante el enfriamiento y almacenamiento de la carne. Se han hecho desde hace más de 50 años investigaciones y estudios, que han dado como resultados soluciones económicamente viables para los procesadores de carne.

Antes de la introducción de la refrigeración mecánica a los rastros, las canales de cerdo se colgaban dentro de cuartos de pre-enfriado para mantenerlos frescos, y se conseguía un cierto nivel de enfriamiento debido a la evaporación de agua de las canales.

Naturalmente, este proceso resultaba en una pérdida considerable de peso y en una carne de mala calidad. Durante las primeras etapas en que se introdujo la refrigeración mecánica, las canales se seguían enfriando primero fuera de los cuartos fríos hasta alcanzar una temperatura de 20 a 25°C, dependiendo de las condiciones del medio ambiente. Posteriormente, las canales se introducían en los cuartos fríos para terminar el proceso de enfriamiento. Con este método, el encogimiento aún era bastante considerable, en el rango del 5 al 6% del peso de la canal (7).

Durante la siguiente etapa del desarrollo en los procesos de enfriamiento, toda la extracción del calor se llevaba a cabo en un cuarto frío en un periodo de 16 a 20 horas. Esto significó una reducción en el encogimiento a niveles de un 3 a 4%. El término "encogimiento" se debe entender como la pérdida de peso que ocurre en la canal durante el periodo de enfriamiento en el cuarto frío. Las canales se pesan antes de entrar a la cámara fría y después de terminar el proceso de enfriamiento.

La diferencia entre estos dos pesos es el encogimiento por enfriamiento, y el porcentaje se calcula con la relación entre los dos pesos.

4.2 Enfriamiento Rápido: Características y Operación

Alrededor del año 1950 se empezaron a investigar otras posibilidades para lograr una reducción mayor en el porcentaje de encogimiento. Estas investigaciones se basaron en parte en cálculos teóricos y en parte en la experiencia adquirida en campo con los años. Se encontró que son 4 los factores que tienen una influencia esencial en el encogimiento por enfriamiento (7):

1. Tiempo de residencia lo más corto posible
2. Adecuada baja temperatura del aire

3. Adecuada diferencia entre la temperatura de la superficie a enfriar y la temperatura del aire
4. Adecuada velocidad de aire

Como un resultado práctico de este trabajo de investigación, se establecieron parámetros de diseños para cuartos de enfriamiento, llamados "cuartos de enfriamiento rápido". Estos cuartos pronto se instalaron en los rastros, adoptando este tipo de proceso en lotes (batch).

Los "cuartos de enfriamiento rápido" deben ser de un tamaño no mayor a que se puedan llenar en un tiempo de una hora a partir de la entrada de la primera canal al cuarto. Los cerdos vienen directamente del área de matanza y tienen una temperatura aproximada de 35°C. Cada cuarto está equipado con su propio sistema de evaporadores con abanicos para la circulación de aire y controles para el suministro de refrigerante.

Antes de empezar a llenar el cuarto con canales, la temperatura del cuarto se debe bajar hasta un rango de -10 a -15°C. Durante el periodo de llenado (1 hora), la temperatura del aire se elevará a aproximadamente -6°C. Cuando el cuarto ha sido llenado, las puertas se deben cerrar y el enfriamiento intensivo comenzará, continuando hasta que la temperatura media de las canales sea menor a 5.5°C. La temperatura del aire durante este proceso debe ser de -8 a -10°C en promedio. La duración de este proceso, sin contar el tiempo de llenado del cuarto, será de 2 a 3 horas.

Cuando la temperatura promedio de las canales de cerdo ha caído por debajo de 5.5°C, el enfriamiento se para y el periodo de ecalización comienza. Durante el periodo de ecalización, que debe durar al menos 12 horas, el evaporador es controlado por un programador de tiempo (timer) y por un termostato, manteniendo una temperatura del aire de 4°C.

En la **Figura 16** se muestran las temperaturas de una canal durante el proceso de enfriamiento rápido. Se aprecian claramente las 3 etapas del proceso: el llenado del cuarto, la fase de enfriamiento y la etapa de ecualización de la temperatura. También muestra como varía la temperatura del aire dentro del cuarto frío dependiendo de la etapa del proceso.

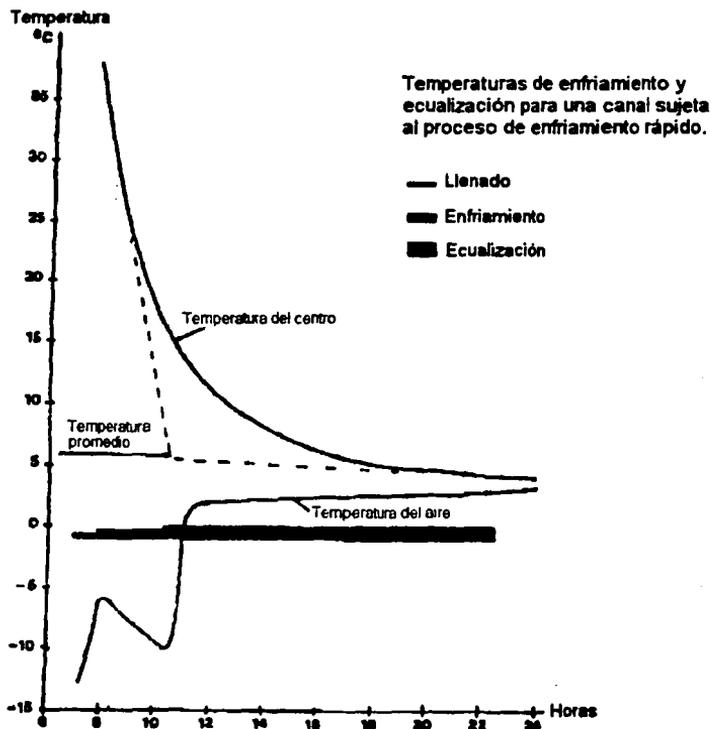


Figura 16: Curva de Enfriamiento de Canales de Cerdo
Referencia: "Quick Chilling and Tunnel Cooling" (7)

Se pueden utilizar las siguientes reglas para dimensionar un cuarto de enfriamiento rápido de canales de cerdo (7), con un peso aproximado de 88 kg.:

- # de cerdos por metro de riel de colgado: 3
- Espacio entre los rieles de colgado: 0.7 m
- Distancia del riel a la pared: 0.6 m
- Altura del riel de colgado: 2.5 m mínimo
- Superficie de enfriamiento aleteada X cerdo: 4 - 5 m²
- Velocidad de aire sobre la canal: 1.5 - 2.0 m/seg aprox.
- Capacidad del compresor (aprox.): 2.5 kW por cada cerdo, @ -20°C de temp. evaporación

La Figura 17 muestra un diseño general de planta o Lay-out de un cuarto de enfriamiento rápido.

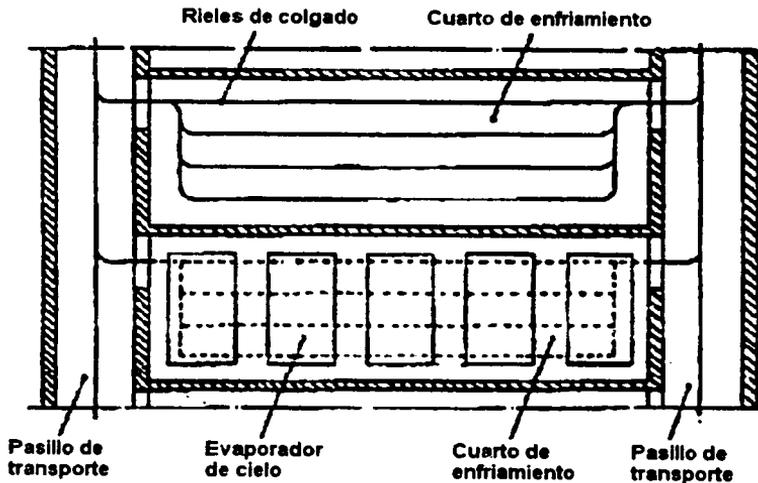


Figura 17: Lay-out de Cuarto de Enfriamiento Rápido

Referencia: "Quick Chilling and Tunnel Cooling" (7)

4.2.1 Ubicación de los Evaporadores en los Cuartos de Enfriamiento Rápido

En principio, hay dos lugares posibles para la colocación de los evaporadores en los cuartos de enfriamiento rápido, por arriba de las canales o en el piso (Figura 18 y Figura 19). La instalación por arriba, donde los evaporadores están colocados sobre los rieles, se debe preferir.

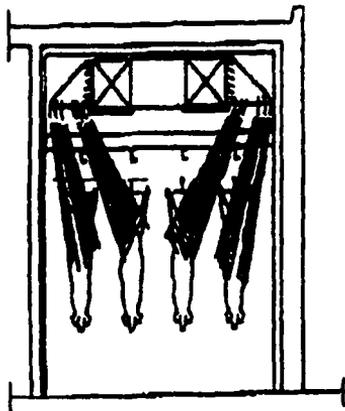


Figura 18: Cuarto de Enfriamiento Rápido Con Evaporador de Cielo

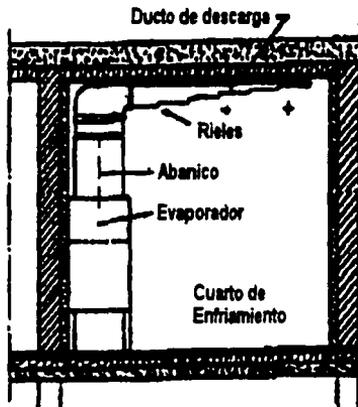


Figura 19: Cuarto de Enfriamiento Rápido con Evaporador de Piso

Referencia: "Quick Chilling and Tunnel Cooling" (7)

Los evaporadores de cielo (instalados por arriba) generalmente son de tipo doble, es decir, tienen dos serpentines de refrigeración operados por el mismo abanico.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Los evaporadores de piso se instalan a lo largo de una pared dirigiendo el aire a través de ductos; la instalación en el piso es más cara.

Ambos tipos de evaporadores tienen sus ventajas y desventajas. Un evaporador de cielo no ocupa espacio de piso, pero por el otro lado requiere de una altura libre de por lo menos 1 metro sobre los rieles de colgado (1).

En cualquier caso, es muy importante asegurar una adecuada y uniforme distribución de aire sobre la canal, de preferencia que el aire frío impacte primero las partes con más carne en la canal, tal como la pierna (jamón).

El ancho máximo del cuarto debe corresponder al requerimiento de espacio de 4 a 6 rieles de colgado paralelos. Los cuartos deben ubicarse de manera que no exista una conexión directa entre el área de matanza, con sus comparativamente altas temperaturas, y los cuartos de enfriamiento rápido (7).

Los resultados obtenidos con la práctica demuestran que los sistemas para deshielo o descarche de los evaporadores no es necesario, ya que la capa de escarcha formada nunca alcanza un espesor que obstruya la correcta circulación del aire. Después de cada periodo de enfriamiento, los evaporadores son descarchados completamente antes de comenzar un nuevo ciclo de enfriamiento.

El espacio entre las aletas de los evaporadores es de 8.0 mm (3 aletas por pulgada). En algunos casos donde los cuartos se utilizan para otros propósitos periódicamente, la tercera parte inicial de la superficie del evaporador puede tener un espacio entre las aletas de 16.0 mm (1.5 aletas por pulgada), mientras que las dos terceras partes restantes tienen un aleteado de 8.0 mm. A este tipo de distribución de las aletas se le conoce como "aleteado variable" (10), y se discutirá a detalle en la sección de Enfriamiento en Túnel (sección 4.3.3.1).

Si se cumplen los parámetros de diseño y operación de los cuartos de enfriamiento rápido, los resultados prácticos muestran que el nivel de encogimiento de la carne se puede mantener en un 1.8%, aunque en algunos casos se han obtenido niveles de 1.7% e incluso de 1.6% (7).

Sin embargo, algunos rastros han tenido dificultades para conseguir una operación satisfactoria de los cuartos de enfriamiento rápido. Una de las razones ha sido el trabajo de clasificación que hay que hacer a la carne, lo que implica que el tiempo de llenado del cuarto es de varias horas, y por tanto el inicio del proceso de enfriamiento se retrasa en la misma medida. Esta situación provoca altos valores de encogimiento.

Para mejorar esta situación y para obtener otros beneficios, se han desarrollado e instalado en diferentes rastros sistemas de enfriamiento en túnel durante los últimos años.

4.3 Enfriamiento en Túnel

El principio de enfriamiento en túnel implica que inmediatamente después del proceso de matanza, los cerdos son llevados a través de diferentes zonas de extracción de calor por medio de un sistema de transporte. Es un proceso continuo. Además de no tener que esperar a que se llene un cuarto para empezar el enfriamiento de las canales, otra ventaja del enfriamiento en túnel es que se obtiene una menor merma de producto al reducir los niveles de encogimiento.

El sistema de enfriamiento en túnel es el resultado de las investigaciones y experiencia de científicos daneses. Hay que considerar que Dinamarca, con una superficie equivalente al 0.4% de la de Estados Unidos, exporta el equivalente al 88% de las exportaciones de Estados Unidos (10).

Una de las principales características del diseño de los túneles, es que minimiza las variables relativas a la "posición" en el proceso de enfriamiento de las canales. En los cuartos de enfriamiento rápido, un cuarto completo se llena en 1 hora, se cierran las puertas y comienza un ciclo de enfriamiento intensivo. La "posición" en el cuarto de cada canal con respecto los evaporadores de refrigeración y a los abanicos afecta las características (velocidad, temperatura) del aire con que entran en contacto. Esto hace que la calidad del producto no sea homogénea.

En cambio, el sistema de túnel con su banda de transporte mueve la canal a través de una serie de evaporadores especializados, de manera que las todas las canales experimenten las mismas condiciones de enfriamiento. En teoría, la canal número 1 y la canal número 1001 experimentan ambientes de refrigeración idénticos, lo que se traduce en una mejor y más constante calidad, y, debido a un control de temperatura y de flujo de aire optimizado, en valores de encogimiento menores (7).

La disminución en el encogimiento del producto es económicamente muy atractivo, y puede ser la diferencia entre un rastro rentable o no. Tomemos por ejemplo un procesador que mata 2000 cerdos diarios, con un peso promedio de 88 kg., y que con este sistema obtiene una disminución en el encogimiento de un 1%. Considerando las 52 semanas del año, operando 6 días a la semana, la producción anual es de 624,000 cabezas de cerdo. Esto representa una producción de 54,912.000 kg. al año, por lo que el ahorro del 1% equivale a una ganancia de 549,120 kg. (10).

A continuación se enlistan algunas de las condiciones que deben ser consideradas cuando se diseña un sistema de enfriamiento en túnel.

4.3.1 Dimensiones y distribución del túnel

1. El túnel se debe diseñar con dos secciones, la sección 1 (sellada, sin fugas de aire o infiltraciones), y la sección 2.
2. Las dos secciones pueden estar físicamente en un mismo cuarto, separadas por alguna partición ligera por cuestiones únicamente de circulación de aire.
3. La entrada y la salida del túnel se deben diseñar para garantizar un mínimo de intercambio de aire con los alrededores.

4.3.2 Transportador

1. Debe tener 2.5 ganchos para colgar las canales por metro lineal.
2. El diámetro de las vueltas debe de ser de 900 mm.
3. La distancia del transportador a la pared será de 700 – 800 mm.
4. La operación del sistema transportador involucra un cambio de los ganchos con las canales antes y después del paso por el túnel.
5. La longitud del transportador es igual al número de cerdos por hora X el periodo de residencia (tiempo de enfriamiento) $X 1/a X 1.05$ (m). Se tiene que considerar el periodo de residencia en horas, "a" es el número de canales por metro de transportador, y 1.05 es un factor que considera la relación entre la tasa de matanza y el número de cerdos por hora. La longitud máxima del transportador es aproximadamente de 200 m, dependiendo del número de vueltas. La distancia entre las correas de

amarre de los ganchos es de 400 mm, lo que corresponde a 2.5 canales por metro.

6. La altura del punto de cambio de los ganchos debe ser mínimo 2.5 m con respecto al suelo.

4.3.3 Evaporador y Sistema de Circulación de Aire

1. El evaporador y el sistema de abanicos se instalan bajo el techo. La instalación en piso a lo largo de las paredes también es posible, siempre y cuando se considere:
 - a. Una distribución uniforme del aire circulado, de manera que el flujo de aire se utilice eficientemente y la velocidad más alta de aire se obtenga al nivel de la pierna del cerdo.
 - b. El acceso a los equipos para su mantenimiento deber ser fácil.
2. El sistema de evaporación en la sección 1 debe tener al menos 4 unidades. En la sección 2, los evaporadores pueden ser divididos en 2 o 3 grupos los cuales pueden ser programados para el deshielo de acuerdo a los requerimientos de la cámara.
3. El sistema de evaporación se debe diseñar para descarche automático por medio de gas caliente.

El espacio refrigerado en un túnel de enfriamiento se ve afectado por la formación de escarcha en los evaporadores, ya que la humedad que pierden las canales calientes entra en contacto con las frías superficies aleteadas de los evaporadores. Esta escarcha eventualmente obstruye las áreas por donde pasa el flujo de aire, incrementando la caída de presión de la corriente de aire.

Las altas caídas de presión influyen el desempeño del abanico, lo que resulta en flujos de aire y velocidades reducidas. Si no se presta atención, la obstrucción del serpentín por la escarcha hará que las condiciones de aire para el cerdo 1001 y el 1 sean diferentes.

Hay dos áreas donde se puede controlar y minimizar el impacto de la formación de la escarcha en el flujo de aire a través del evaporador. Estas son la superficie aleteada y la selección del abanico.

4.3.3.1 Diseño de la Superficie Aleteada

Es importante notar que la escarcha tiene una mayor tendencia a formarse en la primer superficie fría con que el aire caliente entre en contacto. Esto ocurre en las primeras dos hileras del serpentín, en dirección al flujo de aire. Mientras más profundo busque uno en el serpentín, menos escarcha se encontrará, ya que hay menos humedad en el aire que pueda convertirse en escarcha.

La obstrucción debida a la escarcha es, en parte, una función del área libre por la que el aire se esté moviendo. Una mayor área abierta en el serpentín, en dirección del flujo de aire, representa un menor porcentaje de obstrucción con la misma cantidad de escarcha que un serpentín que tenga menos área libre. Como ejemplo, y sin considerar el espesor de la aleta, un serpentín con aletas espaciadas a 1.5 aletas por pulgada, con una acumulación de escarcha de 1/16" por ambos lados de la aleta, está bloqueado en un 19%. En cambio, un serpentín con 3 aletas por pulgada y con una acumulación de escarcha de 1/16" por ambos lados de la aleta, está bloqueado en un 38%, lo que corresponde a un 100% más que el serpentín con 1.5 aletas por pulgada.

Para minimizar el efecto de la obstrucción en el flujo de aire, los serpentines de refrigeración destinados para aplicaciones con una alta formación de escarcha

cuentan con aleteado variable (Figura 20). Como ejemplo, las primeras 2 hileras del serpentín pueden tener 1.5 aletas por pulgada, mientras que el resto del serpentín cuenta con 3 aletas por pulgada (10).

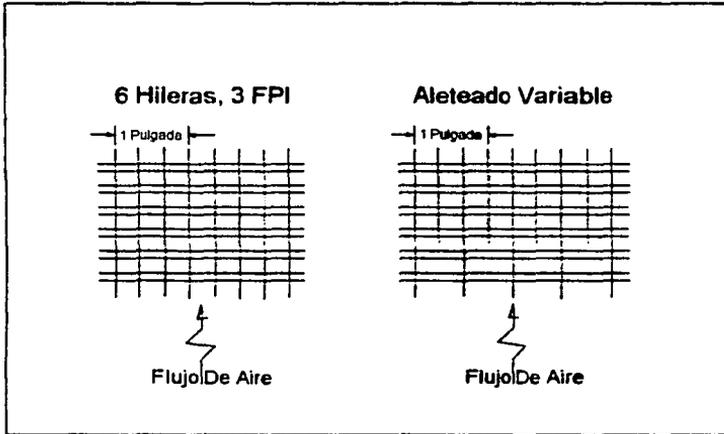


Figura 20: Ilustración de Aletas Continuas y Aletas Variables

Referencia: "The Pig Chill" (10)

4.3.3.2 Selección de los Abanicos

En la mayoría de las aplicaciones de refrigeración, los abanicos se seleccionan por un punto en sus curvas de operación. En el caso de aplicaciones con alta formación de escarcha, esto puede ser un error. Los abanicos operarán a través de un rango de requerimientos de presión estática: más baja antes de la formación de escarcha, más alta después de la formación de escarcha.

Los diferentes abanicos tienen diferentes características de operación bajo condiciones de presión estática cambiante. Como ejemplo (Figura 21) se han seleccionado un abanico de 4 propelas, uno de 7 propelas y uno de propelas

múltiples axiales, los cuales tienen las mismas características de operación a una presión estática externa de 1.5".

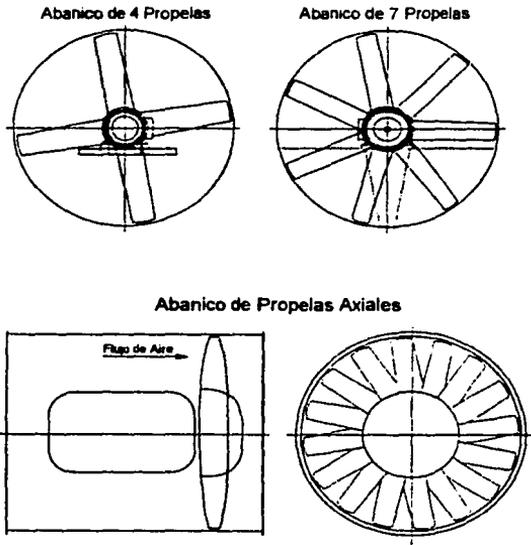


Figura 21: Ilustración de Abanicos Axiales

Referencia: "The Pig Chill" (10)

Revisando sus curvas de operación ([Figura 22](#)), se nota que a presiones estáticas mayores, el flujo de aire en pies cúbicos por minuto o CFM disponible del abanico de 4 propelas disminuye rápidamente, el de 7 propelas menos rápido, y el abanico con propelas axiales tiene un desempeño óptimo en toda la curva.

También se tiene que tener en cuenta el lado económico. Para una aplicación dada, el abanico de 7 propelas puede tener un costo 20% mayor que el de 4

propelas, lo que repercute en un aumento mínimo en el costo del evaporador completo. Sin embargo, el abanico con propelas axiales puede tener un costo 20 veces mayor que el de 4 propelas, lo que puede duplicar el costo del evaporador (10). Se debe realizar un análisis de costo – beneficio para tomar la mejor decisión en cada caso.

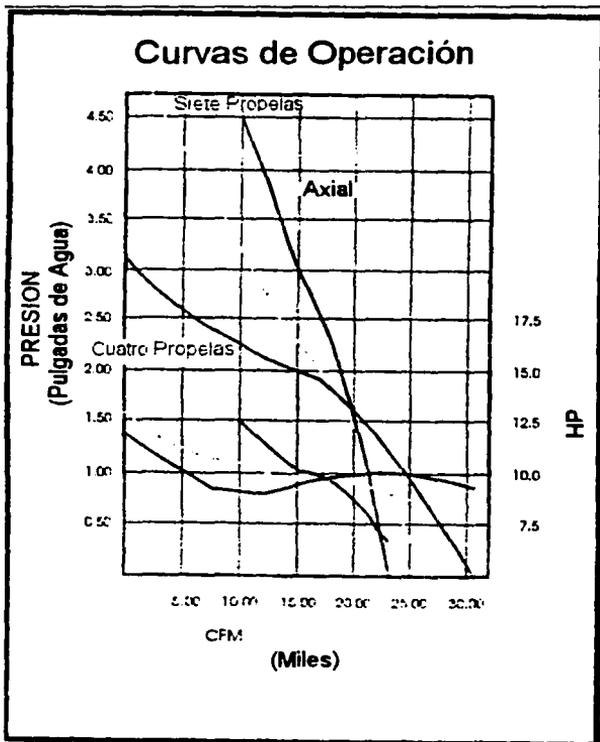


Figura 22: Curvas de Operación de Abanicos Axiales

Referencia: "The Pig Chill" (10)

Es importante notar que los cerdos no liberan el calor uniformemente. Por ejemplo, la pierna retiene más calor que el lomo. Esto se debe a que la composición de las diferentes partes de la canal del cerdo no es la misma, además de que la transferencia de calor se ve afectada por el tamaño y forma de las partes. Se tiene que tener esto en cuenta al diseñar el evaporador y la dirección del flujo de aire, para asegurar que la corriente de aire se dirija a las partes del cerdo que más retienen el calor.

La Figura 23 muestra un diseño típico de evaporador para un túnel de congelación, y la Figura 24 su ubicación dentro del túnel.

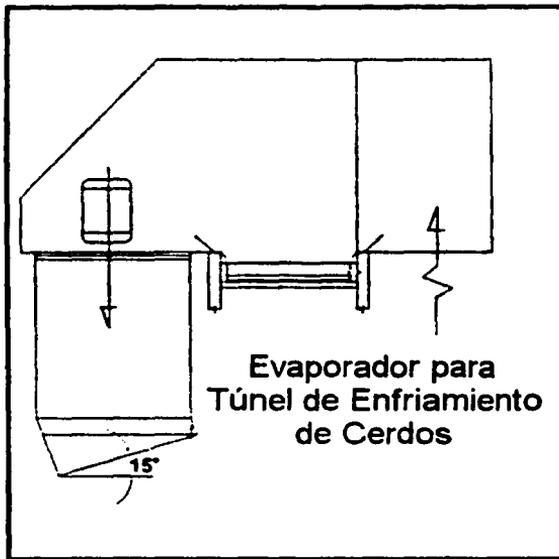


Figura 23: Evaporador para Túnel de Enfriamiento de Cerdos

Referencia: "The Pig Chill" (10)

TECIS CON
FALLA DE ORIGEN

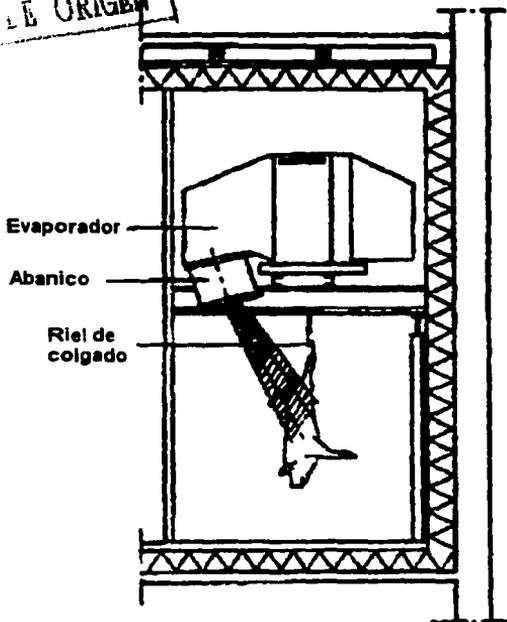


Figura 24: Diseño de Túnel de Enfriamiento

Referencia: "Quick Chilling and Tunnel Cooling" (7)

4.3.4 Equipo de Refrigeración

1. Para las secciones 1 y 2, generalmente se utilizan sistemas de compresión en doble etapa, operando con una temperatura de succión en el compresor de -38 a -40°C . La capacidad requerida aproximada es de 2400 kcal-hr / cerdo

2. El refrigerante usado es amoníaco (R-717), alimentado a los evaporadores por sistema de recirculación mecánica (bombas) (11).
3. Los compresores son controlados automáticamente por la temperatura del aire en el túnel.
4. El sistema del túnel arranca, para y cambia a operación nocturna automáticamente.

4.3.5 Condiciones de Operación

Periodo total de residencia (tiempo de enfriamiento): 65 a 80 min.

Sección 1: 15 a 20 min. aprox.

Sección 2: 50 a 60 min. aprox.

Condiciones promedio del proceso:

1. Velocidad del aire en todas las secciones: 2.5 a 3.5 m/seg.
2. Temperaturas del aire: -23 a -26°C

En ocasiones, el túnel se diseña con 3 secciones y la temperatura del aire en la sección 3 es de -8 a -10°C, mientras que las temperaturas en las secciones 1 y 2 tienen temperaturas de -20 a -23°C. El tiempo total de enfriamiento en el túnel de 3 secciones es de 90 a 110 minutos, dependiendo del peso y demás características de los canales. El porcentaje de encogimiento será ligeramente mayor comparado con el túnel de enfriamiento de 2 secciones.

4.3.6 Operación del Túnel durante una Semana de Trabajo (7)

1. Se vacían todas las canales del túnel cada día
2. El vaciado se completa aproximadamente 1 hora (el tiempo de residencia) después que la última canal ha dejado el área de matanza. Esto implica que el personal contratado para clasificar las canales después del túnel y llevar las canales a los cuartos de eculización trabajará horas alternadas.
3. Cuando el túnel ha sido vaciado, cambia automáticamente al modo de operación nocturna. Esto significa que la temperatura del cuarto se mantiene aprox. a -5°C . controlada por un termostato en el cuarto (durante toda la semana de trabajo, la temperatura nunca debe exceder los -4°C).
4. Antes de que el túnel se ponga en operación la mañana siguiente, debe ser limpiado (limpieza seca).
5. Una limpieza profunda se lleva a cabo una vez a la semana en sábado después de que la temperatura del túnel se ha elevado a 0°C en el transcurso de la noche del viernes.

4.3.7 Clasificación y Eculización

1. En conexión con el túnel, se debe considerar un área de clasificación de canales. En el área de clasificación, el propósito es mantener una condición en el aire que no provoque condensación de agua en la superficie de la canal. Esta condensación puede crear problemas de conservación del producto, especialmente si el diseño y operación de los cuartos fríos de eculización no ofrece facilidades para el secado de la superficie de la canal.

2. Inmediatamente después del túnel, la distribución de temperatura en el cerdo será:

Superficie de la canal	:	+2 a -2°C
Centro de la pierna	:	20 a 28°C
Centro del lomo	:	8 a 6°C

3. En los cuartos fríos de equalización - los cuales pueden ser diseñados con enfriamiento por gravedad (ductos de aire) con una ligera circulación de aire forzada - las canales deben permanecer por al menos 12 horas antes de que se encuentre una temperatura uniforme en toda la canal.
4. Los valores sugeridos de operación de los cuartos fríos de equalización son (7):

Recirculación de aire de 0.7 m³/min por canal
Superficie de enfriamiento aleteada de 0.45 m² por canal
Temperatura de aire de 4°C
Temperatura de evaporación de -1°C

5. Después de la equalización, se debe buscar una temperatura de la canal lo más cercana a 5.5°C, ya que esto significa los mejores costos de operación. En la práctica, se debe buscar una temperatura en la canal de 4.5°C +/- 1°C.
6. En los cuartos fríos de equalización las canales se enfriarán ligeramente, bajando su temperatura unos 2 a 4°C.
7. Debido a que el área de equalización se debe limpiar diario, debe ser dividida en varios cuartos, para evitar posibles problemas de condensación.

8. En un cuarto de equalización, se pueden acomodar aproximadamente 5 canales por metro de riel.

4.3.8 Encogimiento y Vida de Almacenamiento

- | | | |
|--|---|------------|
| 1. Encogimiento en el túnel | : | 0.6 – 0.8% |
| 2. Encogimiento en los cuartos de equalización | : | 0.1 – 0.2% |
| 3. Encogimiento total, incluyendo el área de matanza | : | 0.9 – 1.2% |

Siguiendo los procedimientos de operación de los túneles de enfriamiento, la vida de almacenamiento del producto obtenido es igual o mejor que la de las canales obtenidas por el sistema de cuartos de enfriamiento rápido.

4.3.9 Ventajas

1. Proceso de enfriamiento continuo directamente después de la matanza.
2. Todas las canales son expuestas a las mismas condiciones de enfriamiento y durante el mismo tiempo, lo que da como consecuencia la obtención de temperaturas de equalización uniformes.
3. El proceso de extracción de calor es fácil de controlar y produce un encogimiento uniforme, el cual es menor que el obtenido por el sistema de cuartos de enfriamiento rápido.
4. El enfriamiento por túnel produce una vida útil del producto igual o mayor que la obtenida en el proceso de cuartos de enfriamiento rápido.
5. Reducción en la merma debido a un menor encogimiento de la canal. Como se ha comentado en este trabajo, los porcentajes de encogimiento varían

de manera substancial de acuerdo al sistema de enfriamiento de canales utilizados.

Para cuantificar esta diferencia, consideremos un ejemplo de un rastro que procese 1,000 cerdos diarios, y que trabaje de 6 días a la semana, es decir, 312 días al año. El peso promedio de los cerdos será de 88 kg., y el valor de la carne de \$ 1.20 USD por kg. de producto, que es el precio promedio actual del mercado (12).

Cuadro 2: Porcentajes de Merma y Ahorro de los Sistemas de Enfriamiento

	Sistema de Enfriamiento		
	Tradicional	Quick Chilling	Tunnel Cooling
Cerdos Diarios	1,000		1,000
Peso del Cerdo (kg)	88		88
Días Trabajados	312		312
Producción Anual (kg)	27,456,000		27,456,000
Encogimiento	4.0%		1.2%
Merma Anual (kg)	1,098,240		329,472
Valor por kg (USD)	\$ 1.20		\$ 1.20
Merma Anual (USD)	\$ 1,317,888.00		\$ 395,366.40
Ahorro (USD)			\$ 922,521.60
Reducción en Merma			70%

Como se observa en el Cuadro 2, la implementación de un sistema de enfriamiento tipo "Quick Chilling" puede implicar ahorros de hasta \$ 724,838 USD anuales, por concepto de reducción de las pérdidas de peso por evaporación.

Con la implementación de un sistema "Tunnel Cooling", se obtienen mayores ahorros, ya que alcanzan un monto de \$ 922,521 USD al año.

La instalación de cualquiera de los 2 sistemas está justificada, ya que la inversión requerida para su instalación se recupera con los ahorros en debidos al aumento de la eficiencia de la producción, por la reducción del encogimiento de las canales durante el proceso de enfriamiento.

Recomendaciones y Conclusiones

La carne es un producto que por sus propiedades nutricionales, especialmente por su contenido de proteínas de alta calidad, debe ser integrado lo más posible a la dieta del mexicano. Sin embargo, las condiciones socioeconómicas del país hacen que para muchos mexicanos sea difícil, si no imposible en ocasiones, incluir este producto en cantidades suficientes en su dieta regular.

Es de gran importancia, por tanto, introducir al país procesos y tecnologías que repercutan en una mayor producción de carne, una mejor calidad y vida de anaquel, y que aumenten la eficiencia de los procesos productivos, para de esa forma disminuir costos y poder generar productos más accesibles para los consumidores.

Dentro del segmento cárnico, la producción de carne de cerdo ocupa un lugar muy importante en el mercado nacional, ya que representa un 24% del consumo total de carne. La producción de carne de cerdo ha mantenido un crecimiento constante en la última década, y las expectativas son que esta tendencia se mantenga en los próximos años. Esto es debido al crecimiento tanto en el consumo de carne fresca, como en el consumo de alimentos procesados fabricados a base de carne, tales como embutidos y carnes frías.

Un segmento que ya ha empezado a destacar, pero que aún no desarrolla todo su potencial, es el de la exportación de carne de cerdo. México está ubicado en un lugar geográficamente privilegiado, ya que fácilmente tiene acceso a los mercados de Norte América, Europeo, Sudamericano y Asiático. Además, el país cuenta con regiones certificadas libres de fiebre porcina clásica, las cuales tienen carta abierta para exportar. Para la exportación de carne, el potencial de crecimiento está hacia Asia y Sudamérica. Las exportaciones a Japón ya han comenzado con bastante éxito, y ya se tiene el plan de atacar a Sudamérica.

Tanto para la producción para consumo nacional, y no se diga la producción para exportación, se debe tener un control muy estricto para conservar la calidad del producto y mantener la higiene e inocuidad, con una reducción constante en las pérdidas de producción.

La carne es un producto altamente perecedero por naturaleza, el cual requiere en su proceso de producción de refrigeración, para mantener sus propiedades y prolongar la vida de anaquel. El enfriamiento de las canales es de hecho uno de los factores críticos que determinan la calidad de la carne, y el sistema de enfriamiento utilizado repercute directamente en las pérdidas de peso en el producto debido a la evaporación de agua.

En este trabajo se comentaron 2 sistemas diferentes para el enfriamiento de las canales de cerdo, el enfriamiento rápido o "Quick Chilling" y el enfriamiento en túnel, "Tunnel Cooling". En ambos casos, los objetivos principales son obtener un producto de la mejor calidad posible y reducir al mínimo las pérdidas de peso debidas a evaporación de agua.

En nuestro país, las especificaciones de construcción de rastros Tipo Inspección Federal (TIF) establecen las normas más altas de higiene y seguridad al consumidor. Los productos elaborados en rastros o plantas TIF se pueden distribuir por toda la república sin restricción sanitaria, y se pueden exportar también. Si consideramos que en 1990 el 10% de la carne de cerdo se obtenía en rastros TIF, y para el año 2000 este valor fue del 36%, se aprecia la tendencia a producir cada vez más productos de mejor calidad e higiene. Tanto el sistema de enfriamiento rápido como el sistema de enfriamiento en túnel, cumplen con las normas que establecen los parámetros de construcción TIF.

La refrigeración de la carne aumenta su vida de anaquel ya que retarda el crecimiento y desarrollo de microorganismos, así como retrasa la acción de

enzimas contenidas en la carne. Sin embargo, para obtener un producto de calidad se requiere también de un control sanitario e higiénico adecuado durante todo el proceso de obtención de la carne, desde la matanza. Si el producto está contaminado, aún con el mejor sistema de refrigeración causará daños en la salud del consumidor.

En los sistemas tradicionales de enfriamiento de canales de cerdo, las canales se llevan a un cuarto frío, donde una vez lleno, comienza el enfriamiento a una temperatura constante durante 18 a 20 horas. Con este sistema se tienen valores de encogimiento (pérdida de peso por evaporación del agua) del 3 al 4%.

El sistema de enfriamiento rápido o "Quick Chilling" es un sistema por lotes (batch). En él las canales son introducidas a una cámara de refrigeración, y cuando se llena la cámara inicia el periodo de enfriamiento que dura de 2 a 3 horas únicamente, con una temperatura de aire de -10°C . Posteriormente, las canales se llevan a cuartos de equalización, la cual dura 12 horas aprox. con una temperatura de aire de 4°C . Con este sistema, los valores de encogimiento son el 1.6 al 1.8%.

El sistema de enfriamiento en túnel o "Tunnel Cooling" es un sistema continuo, donde las canales pasan por dos secciones de enfriamiento, movidas por una banda transportadora, antes de llegar al cuarto de equalización. Es un sistema más complejo que el enfriamiento rápido, y se recomienda para rastros con tasas mayores de producción. El periodo de enfriamiento dura de 15 a 20 minutos en la sección 1 y de 50 a 60 minutos en la sección 2, con temperaturas de aire de -23 a -26°C en ambas secciones. El tiempo de residencia de las canales en los cuartos de equalización es de 12 horas aprox. con temperatura de aire de 4°C . Utilizando el enfriamiento en túnel, se obtienen valores de encogimiento de 0.9 a 1.2%.

Todos los sistemas anteriores son generalmente sistemas de refrigeración con amoníaco. El amoníaco se prefiere ya que es el refrigerante más eficiente por sus

propiedades termodinámicas, además de que es barato, fácilmente detectable y no daña la capa de ozono ni contribuye al calentamiento global de la Tierra. El sistema de enfriamiento rápido y de enfriamiento en túnel emplean generalmente sistemas de refrigeración en doble etapa.

Resumiendo, los diferentes sistemas de enfriamiento de canales de cerdo tienen diferentes valores de merma debido a los porcentajes de encogimiento que cada sistema ofrece. Se destaca claramente que los sistemas de enfriamiento tipo "Quick Chilling" o tipo "Tunnel Cooling" son más eficientes que el sistema de enfriamiento tradicional. Con el sistema "Quick Chilling", se obtienen ahorros del 55% en la merma debido al encogimiento del producto. En cambio, con el sistema "Tunnel Cooling" los ahorros aumentan hasta el 70% en la merma, comparado con el sistema tradicional.

En conclusión, los sistemas de enfriamiento tipo "Quick Chilling" o "Tunnel Cooling" son una alternativa viable para los productores de carne de cerdo. Aunque representan una inversión inicial elevada, su instalación está justificada, y la inversión retorna en un periodo razonable de tiempo debido a los ahorros que se obtienen al reducir las mermas en producción. Además, se obtiene un producto de mejor calidad, ya sea que esté destinado al mercado nacional, o que compita en el exigente mercado internacional, el cual es un nicho en que se puede tener más éxito con el uso de estas tecnologías.

Bibliografía

1. "ASHRAE Handbook – Refrigeration", American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Inc., USA, 1992.
2. Dossat, R., "Principles of Refrigeration", 4th. Edition, Prentice Hall, USA, 1997.
3. Huff-Lonergan, et al., "The Role of Carcass Chilling in the Development of Pork Quality", National Pork Council & American Meat Science Association, USA, 2001.
4. Lassen, O., "Pig Chilling and Quality Problems", Short Paper, YORK Refrigeration, Dinamarca, 1997.
5. Lastra Marín I., Peralta Arias, M. "Situación actual y perspectiva de la producción de carne de porcino en México 2000", SAGAR, México, 2000.
6. Lastra Marín I., Peralta Arias, M. "La producción de carnes en México y sus perspectivas 1990 – 2000", SAGAR, México, 2000.
7. Luhl, J., "Quick Chilling and Tunnel Cooling", Product Information, GRAM – YORK Refrigeration, Dinamarca, 1994.
8. "Manual de construcción, equipo y operación de los establecimientos tipo inspección federal", SARH, 1986.
9. "Norma Oficial Mexicana, NOM-008-ZOO-1994, Especificaciones zoosanitarias para la construcción y equipamiento de establecimientos para el sacrificio de animales y los dedicados a la industrialización de productos cárnicos", SAGAR,

1994.

10. Stencel, M., "The Pig Chill – Confronting Frost Accumulation and Other Requirements of a Hog Chilling Tunnel", YORK Refrigeration, International Institute of Ammonia Refrigeration (IAR) 1998 Annual Meeting, USA, 1998.
11. Stoecker, W., "Industrial Refrigeration Handbook", McGraw Hill, USA, 1998.
12. Villamar, L., Barrera, M., "Situación de la Producción de Carne de Porcino en México en el Primer Semestre del 2000", SAGAR, México, 2000.