

INDUSTRIA DE CARNES

alico



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

SEDE MEDELLÍN



**DIEGO ALONSO RESTREPO MOLINA
CLAUDIA MARÍA ARANGO MEJÍA
ALEJANDRO AMÉZQUITA CAMPUZANO
RENATO ARTURO RESTREPO DIGIAMMARCO**

INDUSTRIA DE CARNES

Diego Alonso Restrepo Molina – Ing. Qco. Esp. M.Sc
Profesor Asociado – Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín

Claudia María Arango Mejía – Zoot. Esp. M.Sc
Profesora Asociada – Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín

Renato Arturo Restrepo Digiammarco – Ing. Alim.
Director de Negocios Internacionales – ALICO S.A.

Alejandro Amézquita Campuzano – Ing. Alim., M.Sc.
Asesor de TECNAS S.A.

Editado por la Universidad Nacional de Colombia en la ciudad de Medellín (Colombia), Julio, 2001

ISBN 9352-30-8

CONTENIDO

	pág.
CAPÍTULO I	
Microbiología de la carne	1
CAPITULO II	
Estructura, composición química y calidad industrial de la carne	16
CAPITULO III	
Conversión del músculo en carne, cambios post - mortem	76
CAPITULO IV	
Ingredientes y aditivos usados en la industria cárnica - funcionalidad	89
CAPITULO V	
conservación de la carne	100
CAPITULO VI	
Tratamientos térmicos en productos cárnicos	128
CAPITULO VII	
Los empaques flexibles y semirrigidos para la industria cárnica	202
CAPITULO VIII	
Diseño de formulaciones para productos cárnicos	243
CAPITULO IX	
Higiene	253

PRESENTACIÓN

Buscando la fundamentación teórica de los diferentes fenómenos asociados con la calidad de la carne y de las interacciones que éste material puede establecer con otros como base de la moderna industria de carnes, se diseñó este nuevo compendio en donde se intenta armonizar lo teórico con lo práctico, de manera que pueda servir como material de consulta para académicos, investigadores e industriales del sector.

Si bien es cierto que una buena parte de lo que corresponde a las aplicaciones prácticas, recogen elementos de la industria de las carnes en Colombia, éstas, con las particularizaciones propias de cada país, pueden ser aplicadas sin temor en otras latitudes.

Esperando que este aporte contribuya en algo al desarrollo del sector, desde todo punto de vista, sometemos a consideración los elementos aquí expuestos.

Los autores

CAPITULO I

MICROBIOLOGÍA DE LA CARNE

Claudia María Arango Mejía¹
Diego Alonso Restrepo Molina²

La carne fresca por su contenido nutricional y su alto valor de actividad de agua (Aw) está considerada dentro del grupo de los alimentos altamente perecederos, al igual que la mayoría de los productos elaborados con ella; sin embargo, de acuerdo a sus características particulares, el tipo de microorganismos presentes puede variar.

A pesar de que el músculo como tal, es prácticamente estéril, los alimentos preparados con base en carne son muy susceptibles a la contaminación y ofrecen las condiciones necesarias para el crecimiento de microorganismos involucrados en daños y enfermedades de origen alimentario. En este tipo de productos, sobre todo frescos o con procesos defectuosos, los microorganismos se multiplican rápidamente, especialmente a temperaturas por encima de la de refrigeración, resultando en pérdidas de calidad y/o problemas de salud pública.

CONTAMINACIÓN DE LA CARNE

Los microorganismos que alteran la carne, llegan a ella por infección del animal vivo -contaminación endógena- o por invasión posmortem -contaminación exógena-. Aunque ambas son de gran importancia, la alteración de la carne a consecuencia de la contaminación exógena es la más frecuente, así, el hombre puede sufrir graves infecciones o intoxicaciones por el consumo de carne procedente de animales sanos.

Después del sacrificio y de la evisceración del animal, la carne conserva las características microbianas generales que tenía previo al sacrificio. La superficie del animal está contaminada por microorganismos provenientes del suelo, el aire y el agua, mientras que el músculo esquelético está prácticamente libre de ellos. Ahora bien, existe un número extremadamente alto de microorganismos presentes en el tracto

¹ Profesora Asociada. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Facultad de Ciencias Agropecuarias. A.A. 568, Medellín.

² Profesor Asociado. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Facultad de Ciencias Agropecuarias. A.A. 568, Medellín.

gastrointestinal de los animales, y es de esperarse que algunos de ellos puedan encontrar el camino a la superficie de las canales durante el proceso de evisceración; adicionalmente, algunos animales aparentemente sanos pueden albergar microorganismos en hígado, riñones, nódulos linfáticos y bazo, los cuales pueden llegar al músculo esquelético vía sistema circulatorio, generalmente se encuentran en el músculo en muy bajas cantidades. La contaminación también puede ocurrir en el proceso de insensibilización (previo al degüello), cuando éste se realiza por el medio del puntillazo, los microorganismos son distribuidos vía sistema circulatorio a los músculos. En la medida que la canal sufre los diferentes cortes que son requeridos para la comercialización de las carnes, la superficie de contacto con el ambiente es mayor y las posibilidades de contaminación también lo son. Las condiciones medioambientales y de manejo (equipos, utensilios, operarios, entre muchos otros), y las características de la carne determinan finalmente la cantidad y calidad de microorganismos presentes.

Debido a la gran variedad de fuentes de contaminación, los tipos de microorganismos que suelen encontrarse en las carnes son muchos y muy variables.

La contaminación de canales de bovino y porcino después del sacrificio y enfriamiento, es variable y puede ser constituida de 10^1 - 10^5 mesófilos aeróbicos por centímetro cuadrado, dependiendo de la canal, sitio de la canal y lugar de donde provenga. La rata de enfriamiento afecta la proporción de microorganismos sicrofílos a mesófilos, los cuales a su vez dependen de la temperatura, tiempo, velocidad del aire y humedad relativa. Inicialmente la contaminación superficial por sicrotróficos es menor que 10^2 y la contaminación con *enterobacteriaceas* es menor que 10^1 - 10^2 por cm^2 .

Los contaminantes comunes de las canales son bastones Gram-negativos y micrococos, incluidas *Pseudomonas* spp., *Moraxella* spp., *Acinetobacter* spp., *Flavobacterium* spp., entre otras (Nortje *et al*, 1990). Adicionalmente pueden existir bacterias productoras de ácido láctico, hongos, levaduras y virus entéricos en bajas cantidades. La contaminación es muy variable y pueden incluirse algunos microorganismos patógenos como *Salmonella* spp., *Staphylococcus aureus*, *Yersinia enterocolitica/pseudotuberculosis*, *Campylobacter jejuni/coli*, *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli*, *Bacillus cereus*, *Clostridium perfringens* y *Clostridium botulinum*, que provienen ya sea de la microflora intestinal o del medio ambiente; algunos de esos patógenos están mas asociados a la carne de unas especies que de otras como por ejemplo la *Y. Enterocolitica* en la carne de cerdo (Fukushima, 1991).

Mohos de diferentes géneros al alcanzar la superficie de la carne se desarrollan sobre ella. Son especialmente interesantes las especies de los géneros *Cladosporium*, *Sporotrichum*, *Oospora*, *Thamnidium*, *Mucor*, *Penicillium*, *Alternaria*, *Candida*, *Rhodotorula*, *Cryptococcus*, *Torulopsis*, *Chaetostylum*, *Rhizopus* y *Monillia* (Sofos, 1994; Jay, 1994). A menudo se encuentran levaduras, especialmente no esporuladas. A pesar de que es posible encontrarlos en la carne fresca, principalmente en canales

sometidas a largos períodos de almacenamiento y maduración (“añejamiento”), lo cual reduce el crecimiento de bacterias debido al desecamiento superficial, los hongos y las levaduras se encuentran con mayor frecuencia en productos cárnicos salados y deshidratados.

Entre las muchas bacterias que pueden encontrarse como contaminantes de la carne, las más importantes son las de los géneros *Pseudomonas*, *Achromobacter*, *Micrococcus*, *Streptococcus*, *Sarcina*, *Leuconostoc*, *Lactobacillus*, *Proteus*, *Flavobacterium*, *Microbacterium*, *Bacillus*, *Clostridium*, *Escherichia*, *Salmonella* y *Streptomyces* (Pascual, 1992).

El procesamiento de las canales y el subsecuente manejo de la carne, determinan el destino de los microorganismos originalmente presentes en ella. En general, sicrotróficos como las *Pseudomonas*, *Flavobacterium*, *Achromobacter* y *Lactobacillus*, predominan en carne refrigerada, en cantidades que dependen del pH inicial y de la atmósfera gaseosa. Los microorganismos mesófilos adquieren importancia cuando la temperatura de almacenamiento se eleva a 15EC (Sofos, 1994)

La contaminación se incrementa en carnes picadas porque ellas generalmente provienen de recortes sumamente manipulados, en los cuales existe una gran área superficial y las condiciones para el crecimiento y desarrollo de microorganismos, principalmente los sicrotróficos aeróbicos, son mayores, ocasionando grandes deterioros.

La carne cruda se halla sujeta a las alteraciones producidas por sus propias enzimas y las ocasionadas por la actividad microbiana; la grasa puede además oxidarse químicamente. Para hacer más tierna la carne de vacuno mayor, es conveniente cierto grado de autólisis, lo que se consigue en el proceso de maduración o “añejamiento”. Los cambios producidos por la autólisis incluyen cierto grado de acción proteolítica sobre los músculos y tejido conjuntivo y una ligera hidrólisis de las grasas. La autólisis excesiva determina el “agriado”, término que se aplica a numerosas alteraciones sufridas por los alimentos y a casi todas en las que se presenta olor ácido; es difícil distinguir entre el “agriado” por autólisis y los defectos causados por acción bacteriana, en especial cuando se trata de proteólisis. La hidrólisis preliminar de las proteínas por las enzimas de la carne estimula el comienzo del desarrollo de los microorganismos, suministrándoles compuestos nitrogenados más sencillos que son necesarios para el desarrollo de ciertos microorganismos que son incapaces de atacar las proteínas originales (Bourgeois, 1994)

CONDICIONES PARA LA PROLIFERACION MICROBIANA

Entre las condiciones que favorecen la proliferación microbiana en la carne y los productos cárnicos están incluidos los factores de crecimiento o condiciones favorables para que los microorganismos presentes en ellos, aumenten su número y por consiguiente se incremente la población microbiana. Cuando se presenta alguno de los

factores de riesgo y los productos se contaminan, comienzan a jugar un papel importantísimo las condiciones y características de la carne y se estimula el crecimiento y multiplicación de los microorganismos infectantes (Sofos, 1994).

El caldo de carne se ha reconocido tradicionalmente como un excelente medio de cultivo, el músculo contiene los nutrientes necesarios para el crecimiento de la mayoría de los microorganismos, sin embargo no es un buen medio nutritivo, inmediatamente después de su obtención. En efecto, sus nutrientes no son directamente accesibles por las barreras que es necesario penetrar previamente (pared celular, tejido conjuntivo, aponeurosis, grasa de cobertura, entre otros). La penetración de los microorganismos en la carne, en las canales o en piezas gruesas es lenta; por el contrario, en carnes despiezadas o picadas es bastante fácil.

Los factores que influyen en el crecimiento de los microorganismos en las carnes son la actividad de agua (A_w), el potencial de óxido-reducción (E_h), el pH, las necesidades nutritivas y la temperatura y en productos cárnicos, también los aditivos utilizados.

Actividad de agua (A_w):

La A_w mide la disponibilidad de agua del medio donde se encuentran los microorganismos, lo que es igual a la relación entre la presión de vapor de agua de la solución y la presión de vapor de agua del agua pura. El A_w de la carne fresca es de 0.98 - 0.99, cifras que son sumamente favorables para la multiplicación de todas las especies microbianas. Las variaciones en el A_w de la superficie de la carne (relacionada con la humedad relativa) tiene grandes repercusiones sobre el crecimiento microbiano superficial; todo descenso en el A_w , supone una desecación que se opone a la multiplicación microbiana. Podría pensarse entonces que debería descartarse la conservación de la carne en ambientes húmedos, sin embargo, el ambiente seco asociado con el frío, que provoca una buena inhibición microbiana, trae consigo problemas como pérdida de masa y por consiguiente pérdidas económicas (Price *et al*, 1976)

Potencial de óxido-reducción (E_h):

Inmediatamente después de la muerte del animal, el músculo todavía contiene en profundidad reservas de oxígeno, que hacen que el E_h sea positivo y elevado, lo que favorece el crecimiento de gérmenes aeróbicos (requieren de la presencia de oxígeno para desarrollarse); los principales microorganismos de este tipo que contaminan la carne son los pertenecientes a los géneros *Pseudomonas* y *Micrococcus*. Luego las reservas de O_2 se agotan por falta de renovación por la sangre, el E_h profundo disminuye rápidamente y se hace negativo. Las condiciones reductoras que se crean, son propicias para el desarrollo de gérmenes anaerobios de la putrefacción, los más representativos de este tipo son los del género *Clostridium*. Existen otros microorganismos denominados anaerobios facultativos que pueden desarrollarse en presencia o ausencia de oxígeno y los más representativos en la carne y los productos cárnicos son los pertenecientes a los géneros *Streptococcus*, *Lactobacillus*, *Estafilococcus* y *Coliformes*.

Los géneros *Streptococcus* y *Pediococcus* son microaerobios y también es posible encontrarlos como contaminantes de la carne (Sofos, 1994).

pH :

El pH del músculo en vivo está cerca de la neutralidad. Después de la muerte desciende más o menos rápidamente, para alcanzar después de la rigidez cadavérica valores entre 5.4 y 5.8 (en condiciones normales y dependiendo de la especie) (Price *et al*, 1976). Los microorganismos son extremadamente sensibles a las variaciones del pH y generalmente cuando este es bajo, suele producirse un descenso en la velocidad del crecimiento microbiano. Las más afectadas son las bacterias, luego las levaduras y los más resistentes a pH bajos son los mohos. Teniendo en cuenta lo anterior, significa que las carnes con valores de pH elevados están más expuestas a las acciones microbianas, sobre todo a la putrefacción. La mayoría de las bacterias crecen a valores de pH entre 5 y 8.

Necesidades nutritivas:

Después de haber transcurrido en el músculo los procesos bioquímicos posteriores a su obtención, este aporta los nutrientes necesarios para el crecimiento y desarrollo de la mayoría de los microorganismos. Satisface desde las necesidades tan simples de la *Escherichia coli*, hasta los complejos requerimientos nutricionales del *Streptococcus faecium* (Price *et al*, 1976).

Temperatura:

La temperatura del músculo inmediatamente después del sacrificio es relativamente alta (aproximadamente 37EC), temperatura ideal para el desarrollo de las bacterias mesófilas (entre 25 y 40EC, sin embargo es posible encontrarlas hasta 10EC). Generalmente, una vez obtenidas las canales estas son refrigeradas y en los procesos posteriores de corte, almacenamiento y comercialización se continua con la cadena de frío, es común encontrar microorganismos contaminantes psicrófilos (requieren temperaturas entre 10 y 30EC como temperatura óptima, pero pueden crecer más lentamente hasta los 0EC), los microorganismos pertenecientes a los géneros *Pseudomonas*, *Achromobacter* y *Flavobacterium* son los que frecuentemente se encuentran en carnes frescas sometidas a temperaturas de refrigeración (Sofos, 1994).

ALTERACIONES DE LA CARNE FRESCA

Los tipos más comunes de alteración de la carne se pueden clasificar basándose en las condiciones aeróbicas o anaerobias en que se realizan.

Alteraciones sufridas en condiciones de aerobiosis

Mucosidad superficial. La temperatura y la cantidad de agua disponible influyen en el tipo de microorganismo causante de esta alteración. A temperaturas de refrigeración, la humedad abundante favorece el crecimiento de bacterias pertenecientes a los géneros *Pseudomonas*, *Achromobacter* y *Flavobacterium*; con menos humedad se ven

favorecidos los *Micrococcus* y las levaduras y a menor humedad, los mohos.

Modificaciones en el color de los pigmentos de la carne. El típico color rojo de la carne puede cambiar a tonalidades diversas y a distintos colores como verde, pardo o gris, a consecuencia de la producción por parte de las bacterias especialmente de los géneros *Clostridium*, *Bacillus* y *Pseudomonas*, de ciertos compuestos oxidantes como los peróxidos o el Sulfuro de Hidrógeno.

Modificaciones sufridas por las grasas. En las carnes expuestas al aire tiene lugar la oxidación de las grasas no saturadas, catalizada por el cobre y la luz. La hidrólisis proporciona el aroma de los ácidos grasos liberados; el enranciamiento de las grasas puede ser producido por especies lipolíticas como *Pseudomonas* y *Bacillus* o por mohos y levaduras.

Fluorescencia. Es un defecto poco frecuente producido especialmente por bacterias del género *Flavobacterium*, que se desarrollan en la superficie de la carne.

Olores y sabores extraños. Aparecen como consecuencia del crecimiento bacteriano en la superficie, es generalmente el primer síntoma de alteración de la carne. Las levaduras son capaces de desarrollarse en condiciones de aerobiosis en la superficie de la carne, produciendo una película superficial viscosa, lipólisis que conlleva a olores y sabores anormales, y coloraciones anormales blancas, crema, rosada o parda debidas a los pigmentos de ellas. La coloración superficial debida al desarrollo de mohos y levaduras está generalmente localizada; la profundidad y extensión alcanzados por el defecto dependen exclusivamente del tiempo disponible para la difusión de los productos de descomposición. Si los gérmenes abundan en la superficie, es probable que penetren a bastante profundidad. Las bacterias facultativas se desarrollan y difunden lentamente hacia adentro.

Los géneros de bacterias involucrados en esta alteración son principalmente *Pseudomonas*, *Achromobacter*, *Flavobacterium*, *Micrococcus*, *Microbacterium* y *Lactobacillus*.

Alteraciones sufridas en condiciones de anaerobiosis

Las bacterias anaerobias y facultativas pueden crecer en el interior de la carne, donde reinan las condiciones de anaerobiosis y ocasionan diversas alteraciones.

Agriado. En este estado, la carne presenta olor y algunas veces sabor agrio. Puede deberse a varios factores, como: las propias enzimas de la carne, la producción anaerobia de ácidos grasos o lácticos por acción bacteriana, la proteólisis (sin putrefacción) producida por bacterias facultativas o anaerobias, a la que se le denomina “fermentación agria hedionda”.

Putrefacción. Consiste en la degradación anaerobia de las proteínas con la consecuente producción de sustancias, algunas de ellas tóxicas, que aportan olores y sabores desagradables, entre ellas se cuentan sulfuros (p.e. Sulfuro de Hidrógeno y metil sulfuro), mercaptanos, indol, escatol, amoníaco y aminas (p.e. putrecina, cadaverina e. isobutilamina) Dichas sustancias provienen de la degradación enzimática de los aminoácidos liberados luego de la hidrólisis por parte de algunas bacterias. Las bacterias involucradas en esta alteración, pertenecen a los géneros *Clostridium*, *Pseudomonas*, *Microbacterium*, *Micrococcus* y *Bacillus*.

Husmo. Son sabores y olores anormales asociados a agriado o putrefacción próxima a los huesos. Las bacterias involucradas en esta alteración son anaerobias y facultativas, especialmente de los géneros *Clostridium*, *Lactobacillus*, *Estafilococcus* y *Coliformes*.

Presencia de mohos y levaduras. Las levaduras se pueden desarrollar, especialmente bajo condiciones aeróbicas o microaerobias y causar daños similares a las bacterias como presencia de limo superficial, decoloración, lipólisis y falta de olor. Comúnmente los defectos causados por los mohos durante largos períodos de almacenamiento de la carne a temperaturas cercanas al congelamiento, incluyen: zonas blancas y de apariencia “motosa” (por los micelios del hongo); olor no característico a humedad, defectos de color (puntos blancos, verdes y negros debidos a los pigmentos de los micelios del hongo) y superficie pegajosa (Sofos, 1994).

ALTERACIONES DE LOS PRODUCTOS CARNICOS

Los tipos de microorganismos y la cantidad de ellos, presentes en los productos elaborados con base en carne, dependen de las condiciones sanitarias del medio ambiente del cual provenga el alimento, de las propiedades y calidad microbiológica de algunos ingredientes adicionados, del cuidado de quien procesa y maneja el producto y de las condiciones posteriores de almacenamiento, manejo y distribución del mismo.

En productos cárnicos los tratamientos del procesamiento, en general, reducen el número de bacterias, pero solo el tratamiento de esterilización en latas, elimina completamente los microorganismos. El procesamiento puede también introducir microorganismos adicionales y seleccionar el tipo que puede proliferar y causar daño durante el almacenamiento. Además, puede también involucrar el uso de ingredientes no cárnicos que pueden servir como nutrientes o inhibidores para el crecimiento microbial (Sofos, 1994).

Las salchichas tipo Frankfurt, generalmente contienen mezclas de carne de cerdo y bovino, sal, azúcar, nitrito sódico y especias. La flora que en ellas pueda desarrollarse será, diferente de la que se forma en la carne fresca.

El crecimiento de los microorganismos sobre la superficie de los embutidos se produce

cuando existe suficiente humedad. En las salchichas de Frankfurt húmedas y no envasadas se forma limo superficial por crecimiento de micrococos y levaduras. El envasado al vacío, al eliminar el oxígeno, favorece el crecimiento de levaduras anaerobias facultativas y de bacterias ácidolácticas heterofermentativas; las levaduras producen limo superficial y los *Lactobacillus* dan origen a bolsas gaseosas por formación de CO₂. Es también posible encontrar, en este tipo de producto, coloraciones verdosas, consecuencia de tratamientos térmicos inadecuados o de recontaminaciones después del procesado; el microorganismo responsable del enverdeamiento es el *Lactobacillus viridescens*, que crece bien a pH y tensión de oxígeno ligeramente reducidos (Sofos, 1994).

El tratamiento térmico insuficiente de los embutidos curados permite también la supervivencia del microorganismo halotolerante *Streptococcus faecium* y otras bacterias ácidolácticas capaces de causar la putrefacción ácida.

Las salchichas frescas sufren un daño similar al que sufre la carne fresca, a pesar de que la sal y las especias puedan inhibir ciertos microorganismos, debido a que poseen una población microbiana relativamente grande (procedente en gran parte de los recortes de carne de cerdo utilizados en su preparación). En otro orden extremo, latas de carne o productos elaborados sometidos al tratamiento de esterilización comercial, pueden deteriorarse debido a procesamiento insuficiente o a fallas en la integridad de la lata e ingreso de microorganismos dentro de la ella (Sofos, 1994; Price *et al*, 1976).

Las salchichas secas fermentadas y en general los productos crudos madurados, usualmente se deterioran debido a microorganismos ácido tolerantes, que pueden crecer a muy bajas actividades de agua como los hongos.

La flora final, sin embargo, depende de factores tales como composición e ingredientes no cárnicos, temperatura de procesamiento, ahumado, tajado, empaque y, por último, condiciones de almacenamiento.

BACTERIAS PRODUCTORAS DE ENFERMEDADES ALIMENTARIAS

Este tipo de enfermedad es causada o transmitida por los alimentos en general, y depende del tipo de microorganismo que se haya desarrollado sobre el alimento. La enfermedad alimentaria puede ser de dos tipos: **intoxicación alimentaria**, la cual es debida a la ingestión de una toxina formada por un microorganismo sobre el alimento, previo al consumo de este, e **infección alimentaria**, la cual se produce debido a la invasión, crecimiento y lesión del huésped, por parte de microorganismos patógenos ingeridos en el alimento, una vez en el huésped, algunos de estos microorganismos pueden producir toxinas, lo que conlleva a una toxoinfección.

Staphylococcus aureus

Agente causal de intoxicación alimentaria.

Hábitat y distribución: En el hombre el principal reservorio de este microorganismo es la cavidad nasal, desde donde pasa a la piel. También se encuentra en ojos, garganta y tracto gastrointestinal. Desde cualquiera de estas localizaciones, pasa a contaminar los alimentos (Sofos, 1994).

Necesidades de crecimiento: Microorganismo anaerobio facultativo, en general, mesófilo, pero para la producción de enterotoxinas necesita una temperatura entre 40 y 45EC. Resiste concentraciones de NaCl hasta de 20% en algunas cepas (Sofos, 1994).

Entre los principales factores implicados en esta intoxicación se cuentan, la refrigeración insuficiente, la preparación de los alimentos con excesiva anticipación al consumo, las deficientes prácticas de higiene personal de los manipuladores del alimento, la cocción o tratamiento térmico insuficiente y la retención del alimento en dispositivos para mantenerlo caliente durante largos periodos de tiempo.

Entre los alimentos de origen cárnico implicados en esta intoxicación, se encuentran, las carnes preparadas de cerdo, pollo, pavo y res y los productos cárnicos curados semisecos.

Clostridium perfringens

Agente causal de toxicoinfección, ya que produce la toxina cuando ha invadido el intestino de su huésped (Murano, 1997).

Hábitat y distribución: Este microorganismo se encuentra ampliamente distribuido en la naturaleza y se transmite a los alimentos principalmente por las manos de los manipuladores contaminados y por contaminaciones cruzadas con alimentos o recipientes que estuvieron en contacto con alimentos contaminados.

Necesidades de crecimiento: es un bacilo Gram positivo anaerobio y esporágeno, es mesófilo, tiene necesidades nutritivas relativamente complejas por la cantidad de aminoácidos que requiere para su desarrollo. Su crecimiento es inhibido por concentraciones de NaCl del 5% (Sofos, 1994).

Entre los factores implicados en esta enfermedad están las malas prácticas de higiene durante la manipulación, la refrigeración insuficiente o tardía, el almacenamiento inadecuado de alimentos preparados y las posibilidades de contaminación cruzada que se den en planta.

Los alimentos de origen cárnico que generalmente están implicados en esta toxicoinfección son los platos de carnes rojas, blancas o pescados preparados muy manualmente y con procesos térmicos inadecuados, los alimentos preparados con carne que se someten a recalentamiento y alimentos que no son de carne pero que están contaminados por su jugo (Jay, 1994).

Clostridium botulinum

Agente causal de intoxicación alimentaria.

Hábitat y distribución: Este microorganismo se encuentra principalmente en suelos y aguas y pasa al alimento por las manos de los operarios con malas prácticas de aseo, por el aire o por el contacto con aguas contaminadas.

Necesidades de crecimiento: Es un bacilo Gram positivo anaerobio y esporágeno, es mesófilo y se multiplica y produce toxinas a valores de pH por encima de 4.0. La toxina botulínica es termorresistente y generalmente los tratamientos térmicos de esterilización comercial están diseñados para destruirla. (Murano, 1997).

Los principales factores implicados en esta intoxicación tienen que ver con tratamientos térmicos deficientes a alimentos enlatados o empacados al vacío y con valores de pH por encima de 4.5, manipulación inadecuada de alimentos elaborados en casa y cuyos tratamientos térmicos no son suficientes para la destrucción de las esporas.

Entre los principales alimentos de origen cárnico que pueden contaminarse y transmitir la intoxicación se encuentran los productos cárnicos ahumados y/o curados que se consumen sin ser sometidos a tratamiento térmico, los productos enlatados, incluidos los de origen marino, y productos cárnicos empacados al vacío (Sofos, 1994).

Salmonella

Agente causal de infección alimentaria.

Hábitat y distribución: La contaminación de los alimentos con este microorganismo es muy común pues los seres humanos, aves de corral, gatos y cerdos pueden ser portadores asintomáticos de la bacteria, aunque los principales implicados en esta infección son las aves, los huevos y los roedores (Sofos, 1994).

Necesidades de crecimiento: Microorganismo mesófilo, aerobio y termosensible. Entre los principales factores implicados en esta infección alimentaria se cuentan el consumo de carnes crudas, la recontaminación de alimentos cocidos dada la manipulación inadecuada, las malas prácticas de aseo y desinfección de los manipuladores, los tratamientos deficientes a alimentos que contengan huevos o carne contaminada.

Los alimentos de origen cárnico a través de los cuales se puede transmitir esta infección son principalmente los que contengan carne de pollo, también carnes frescas de cerdo, bovino, pescado y demás alimentos marinos, y los productos cárnicos como empanadas de carne, picadillos, carnes curadas y sandwiches (Sofos, 1994).

Escherichia coli

Agente causal de enfermedad alimentaria, que puede ser solo infección, pero también, el microorganismo puede producir una toxina una vez ha invadido el intestino del huésped. El tipo de *E. coli* presente en productos cárnicos ha sido designada como 0157:H7 (Sofos, 1994).

Hábitat y distribución: Normalmente se encuentra en el tracto intestinal de animales y del hombre y es comúnmente utilizado como indicador de contaminación fecal en productos alimenticios y en aguas.

Necesidades de crecimiento: Es una bacteria Gram negativa, facultativa, la cual puede crecer a temperaturas tan bajas como las de refrigeración (1 - 5°C).

Entre los factores implicados en esta infección se encuentran la deficiente cocción de los alimentos, la falta de normas de higiene por parte de los manipuladores y del mismo consumidor, la falta de eliminación de aguas residuales de manera adecuada, la demora en la refrigeración de los alimentos, una vez han sido preparados y las contaminaciones cruzadas.

Los principales productos de origen cárnico implicados son la carne de hamburguesa y productos a base de salmón, y en general todo producto que sea manipulado bajo escasas normas higiénicas.

Shigella spp

Agentes causales de toxicoinfección. *Shigella sonnei*, *S. flexneri*, *S. dysenteriae* y *S. boydii*. (Sofos, 1994).

Hábitat y distribución: Se encuentra principalmente en el agua a través de la cual contamina los alimentos, la mosca es también un agente de distribución de este microorganismo.

Necesidades de crecimiento: Son bacterias mesófilas con temperaturas óptimas de crecimiento por encima de 37°C, con un intervalo de 10 a 40°C. Toleran concentraciones de NaCl entre 5 y 6%. Son relativamente termosensibles (Sofos, 1994).

Los principales factores implicados en esta infección tienen que ver con la presencia de aguas contaminadas y de moscas, además, con tratamientos térmicos deficientes, la falta de normas de higiene y la demora en la refrigeración de los alimentos una vez elaborados.

Los alimentos de origen cárnico implicados son el atún, los camarones y la carne de pavo principalmente.

Yersinia enterocolitica

Agente causal de infección alimentaria. Produce una enterotoxina termoestable que resiste temperaturas de 100EC, pero su virulencia radica en la alta capacidad para invadir tejidos.

Hábitat y distribución: Este microorganismo está ampliamente distribuido en la naturaleza y ha sido aislado en aguas y en carnes crudas de res, cerdo, oveja y pollo, y rara vez en productos cárnicos cocidos. Los cerdos son la fuente animal mas importante de este microorganismo, pero la mayoría son considerados no invasivos.

Necesidades de crecimiento: Es un microorganismo psicrófilo, sin embargo es capaz de crecer entre 0 y 42EC. Bacilo Gram negativo móvil a 30EC, facultativo y no forma esporas. Es destruido entre 1 a 3 minutos a 60°C y es bastante resistente a la congelación (Sofos, 1994).

Los principales factores implicados en esta infección son los tratamientos térmicos deficientes, las contaminaciones cruzadas y la presencia de roedores.

Los alimentos cárnicos susceptibles de ser contaminados son los pasteles, las carnes envasadas al vacío, los alimentos marinos, las carnes de res, cordero y cerdo y cualquier alimento crudo o sobrante contaminado (Sofos, 1994).

Campylobacter jejuni

Agente causal de infección alimentaria.

Necesidades de crecimiento: Microorganismo microaerófilo, crece mejor a temperaturas de 42EC (Murano, 1997).

Los principales factores implicados en la contaminación del alimento con este microorganismo, son las malas prácticas de higiene de los manipuladores y los tratamientos térmicos deficientes.

Los alimentos de origen cárnico responsables de su transmisión, son carnes crudas o productos cárnicos con inadecuados tratamientos térmicos, principalmente de pollo y pavo y la carne de hamburguesa (Sofos, 1994).

Listeria monocytogenes

Agente causal de infección alimentaria.

Hábitat y distribución: Microorganismo ampliamente distribuido en la naturaleza, incluyendo suelo, agua y vegetación, puede también encontrarse en animales, humanos y víveres y en el medio ambiente de plantas procesadoras de carnes rojas y pollos (Sofos, 1994).

Necesidades de crecimiento: Microorganismo psicrófilo, oportunístico e invasor. (Murano, 1997). Bacteria Gram positiva, no forma esporas y crece mejor con bajas cantidades de oxígeno, pero también prolifera en presencia abundante o ausencia de él. Sobrevive a periodos de almacenamiento en refrigeración y crece a temperaturas tan bajas como 0EC. Puede crecer a valores de pH entre 5.0 y 9.5, sobrevive a altas concentraciones de sal por largos periodos de tiempo y es relativamente resistente a la deshidratación (Sofos, 1994).

Los principales factores implicados en la transmisión de esta infección son las malas prácticas de higiene, tanto de los manipuladores como de los equipos y utensilios y la planta procesadora en general, el consumo de productos de origen animal crudos y los tratamientos térmicos deficientes.

En general, los músculos de todos los animales pueden ser portadores de este microorganismo, pero es de mayor incidencia en carnes de pollo y pavo, también en carnes de res, oveja y especies de origen marino, en salchichas y productos cárnicos cocidos y en productos secos y semisecos (Sofos, 1994).

USO TECNOLÓGICO DE CULTIVOS MICROBIANOS

El uso de microorganismos activos, su cultivo y la selección de cepas, así como el uso de sus metabolitos microbianos en la industria cárnica, se ha desarrollado al máximo al igual que en otras industrias alimenticias de fermentación como la panadería y los lácteos.

Existen principalmente dos tipos de cultivos, los protectores y los iniciadores. Los cultivos protectores son microorganismos cuya principal función es la supresión de cultivos indeseables y que, modifican escasamente las propiedades sensoriales del producto (Schillinger, 1991). El empleo de cultivos protectores es recomendado también en embutidos secos madurados con hongos, que por lo general son acidificados levemente y no son sometidos a ahumado, o de serlo, es de una forma muy suave, por lo que presentan un elevado pH en la superficie debido a la degradación del ácido y a la proteólisis por los hongos, condición que favorece el desarrollo de microorganismos patógenos como el *Staphylococcus aureus* (Schillinger, 1991).

Los cultivos iniciadores son empleados con el fin de conseguir en el producto cárnico propiedades físico-químicas y sensoriales determinadas, entre las que se cuentan, el desarrollo y la estabilidad del color típico, un descenso rápido del pH por la producción de ácido láctico, una adecuada cohesividad de las pastas para obtener un grado de consistencia más firme, un grado de terneza adjudicado a la autólisis de las proteínas cárnicas y un aroma característico debido principalmente a la lipólisis.

Los cultivos iniciadores para productos cárnicos pueden ser bacterias, hongos o levaduras. De acuerdo con las necesidades y características del producto final deseado,

se encuentran cultivos con diferentes funciones (Tabla 1) (Pérez, 1997).

Tabla 1. Principales microorganismos usados en la fermentación de carnes.

Tipo de microorganismo			Función
Bacterias	Familia	Lactobacillaceae	Cultivos de maduración con actividad acidoláctica e inhibidora
	Género	Lactobacillus	
	Especies	<i>L. sake</i>	
		<i>L. plantarum</i>	
		<i>L. curvatus</i>	
	Género	Pediococcus	Cultivos de maduración con actividades reductoras y saborizantes.
	Especies	<i>P. acidilactici</i>	
		<i>P. pentosaceus</i>	
	Familia	Micrococcaceae	
	Género	Micrococcus	
Levaduras	Especie	<i>M. aranticus</i>	Actividad neutralizante y efecto saborizante
	Género	Staphylococcus	
	Especies	<i>S. carnosus</i>	
		<i>S. xylosus</i>	
	Género	Debaryomyces	
Hongos	Especie	<i>D. hansenii</i>	Cultivos de superficie
	Especie	<i>Candida famata</i>	
	Género	Penicillium	
	Especies	<i>P. nalgioyensis</i> <i>P. candidum</i>	

Adaptada por Arango y Restrepo, 1999.

El conocimiento de las características de crecimiento y desarrollo de estos cultivos, entre las que se cuentan, la tolerancia a niveles de nitrito y NaCl hasta de 200 ppm y 6% respectivamente, el crecimiento a temperaturas entre 27 y 43EC, la no-producción de olores residuales ni metabolitos tóxicos, la ausencia de patogenicidad, la inactivación a temperaturas por encima de 57EC y la condición de ser bacterias lácticas homofermentativas (García, 1993), es de gran importancia al momento de seleccionar las cepas a usar y los procesos a realizar.

BIBLIOGRAFÍA

BOURGEOIS, C. M. *et al.* Microbiología Alimentaria. Aspectos Microbiológicos de la Seguridad Alimentaria. Zaragoza, España: Acribia, 1994.

FUKUSHIMA, H. *et al.*, Contamination of pigs with *Yersenia* at the slaughterhouse. *En: Fleischwirtschaft International*. No. (1991); p.50.

GARCIA, G., QUINTERO, R. y LOPEZ-MUNGUIA. Biotecnología Alimentaria. México: Limusa, 1993.

JAY, James M. Microbiología Moderna de los Alimentos. Zaragoza: España: Acribia, 1994.

MURANO. Microbiología de la Carne. *En: CURSILLO TEÓRICO - PRÁCTICO DE TECNOLOGÍA CÁRNICA* (5º: Ames, Iowa, 1997). Memorias del V Curso Teórico-Práctico de Tecnología Cárnica. Ames, Iowa: Iowa State University., 1997.

NORTJE, G. L., *et al.* A quantitative survey of a meat production chain to determine the microbial profile of the final product. *En: Journal Food Proteins*. No. 53 (1990); p.411.

PASCUAL, A. María del Rosario. Microbiología Alimentaria. Metodología Analítica para Bebidas y Alimentos. Madrid: Ediciones Díaz de Santos, 1992.

PEREZ, J. L. Aplicación de cultivos *starters* en la industria cárnica. *En: CURSO INTERNACIONAL DE EMBUTIDOS CRUDOS CURADOS ESTILO ESPAÑOL* (1º: Santafé de Bogotá, 1997). Memorias del Primer Curso Internacional de Embutidos Crudos Curados Estilo Español. Santafé de Bogotá: s.n., 1997.

PRICE, J. F. y SCHWEIGERT, B. S. Ciencia de la Carne y de los Productos Cárnicos. Zaragoza, España: Acribia, 1976.

SCHILLINGER, U. y LUCKE, F. K. El empleo de bacterias lácticas como cultivos protectores en productos cárnicos. *En: Fleischwirtschaft (Español)*. No.1 (1991); p 35 - 40.

SOFOS, J. N. Microbial growth and its control in meat, poultry and fish. "Quality Attributes and their Measurement in Meat, Poultry and Fish Products". Chap. 14. Great Britain : Blackie Academic & Professional, 1994.

CAPITULO II

ESTRUCTURA, COMPOSICIÓN QUÍMICA Y CALIDAD INDUSTRIAL DE LA CARNE

Claudia María Arango Mejía¹
Diego Alonso Restrepo Molina²

Los tejidos blandos que hacen parte de la canal de los animales de abasto son los de mayor interés para el industrial de la carne.

El concepto de canal de un animal, puede decirse, depende de la especie de que se trate y en algunos casos del tipo de corte.

Se entiende por canal bovina el cuerpo del bovino una vez sacrificado, exanguinado, decapitado, sin pezuñas, despellejado y eviscerado (vísceras blancas y rojas con excepción del riñón); por canal porcina se entiende el cuerpo del porcino una vez sacrificado, exanguinado, depilado y eviscerado. Normalmente en nuestro medio, ésta última operación es total para las vísceras blancas, mientras que las rojas se dejan suspendidas de la canal, esto para facilitar la identificación de ellas en el proceso de inspección veterinaria pos-mortem previo a la distribución, lo cual no implica que las vísceras rojas hagan parte de la canal. Obsérvese que a diferencia del bovino, la canal porcina no ha sido decapitada, lo cual es práctica común cuando se realizan otros cortes, por ejemplo el corte americano; esto conlleva a que los rendimientos en canal, medidos como peso de la canal caliente o fría dividido por el peso vivo del animal ayunado, expresado porcentualmente puedan presentar importantes diferencias debidas a la presencia o no de la cabeza en la canal.

Lo anterior debe tenerse en cuenta cuando se están haciendo estudios comparativos con resultados obtenidos en otros países donde se practique un tipo de corte diferente.

¹ Profesora Asociada. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Facultad de Ciencias Agropecuarias. A.A. 568, Medellín.

² Profesor Asociado. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Facultad de Ciencias Agropecuarias. A.A. 568, Medellín.

Se entiende por canal de pollo (ave), el cuerpo del animal sacrificado, exanguinado, desplumado, eviscerado, decapitado y sin patas. Por canal de pescado se conoce el cuerpo del animal sacrificado, exanguinado y eviscerado, pudiendo ser descamado o no.

Las canales están compuestas macroscópicamente por carne, grasa y hueso, determinando la proporción relativa de estos tejidos el "valor carnicero" inicial de la canal. Obviamente, en la medida en que proporcionalmente el tejido muscular y luego el tejido adiposo como tejidos básicos aprovechables por la industria de carnes, sean superiores al óseo, el interés industrial se verá favorecido y por ende será el primer índice de calidad a evaluar.

Una evaluación del rendimiento en canal y composición macroscópica de la misma, deberá ser la primera prueba a realizarse cuando se pretenda incorporar la carne y la grasa de una especie animal, a la lista de insumos cárnicos potencialmente utilizables por la industria de carnes particular de que se trate.

Por tratarse de entes biológicos, el sexo, la edad, la raza, el estado fisiológico, el plano nutricional, la procedencia, etc., serán factores que condicionarán e influirán sobre los resultados, de tal manera que al momento de diseñar el experimento en cuestión deberán ser tenidos en cuenta.

La composición macroscópica de las canales de algunas especies animales, obtenidas en las condiciones anotadas, se presentan en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1. Composición macroscópica promedia de las canales de algunas especies de animales.

Especie	Condición	% de Carne	% de Grasa	% de Hueso
Bovino	Cebú cruzados. Macho y Hembra	73.83	4.61	21.56
Ovinos	Ovejas africanas. Machos y Hembras	64.78	5.33	29.89
Conejos	Cebados. Machos y Hembras	71.00	9.30	18.70
Búfalos	499.7 Kg de Peso Vivo. Machos y Hembras	73.66	4.03	21.22
Equinos	Percherón de 30 meses de edad. 650 Kg de peso vivo	69.28	13.00	16.23
Porcinos	Landrace x York. 95 Kg de peso vivo	44.56	37.21	19.19

Adaptado de: Arango e Idarraga 1991, Blandón y Torres 1991, Chica y Franco 1988, Córdoba y Estrada 1985, Gómez 1988, Herrera y Herrera 1985.

El procedimiento de determinación general consiste en obtener de la canal cada uno de los tejidos básicos que la componen: hueso, grasa, músculo y tejidos asociados cuantificándolos exactamente, para obtener con posterioridad los respectivos rendimientos porcentuales.

ESTRUCTURA DEL TEJIDO MUSCULAR ESTRIADO

Del mayor interés para el industrial de la carne son los tejidos muscular, conectivo y adiposo.

Existen dos tipos de tejido muscular: liso y estriado.

Tejido muscular liso: Conocido como músculo involuntario, formado por células largas de tipo fusiforme, con el núcleo de la célula localizado en el centro de la misma, presenta homogeneidad en el color sin presentar bandas oscuras y claras, se presenta asociado con el movimiento involuntario del cuerpo en arterias, venas, vísceras. El otro tipo de tejido muscular se conoce como estriado, el cual puede ser involuntario (corazón) o voluntario como el esquelético.

Tejido muscular estriado: El músculo entero está cubierto por una capa gruesa llamada epimisio, de este epimisio salen elementos del tejido conectivo que se internan en los músculos agrupando las fibras musculares en paquetes; esta cobertura de los paquetes de fibras recibe el nombre de perimisio.

La grasa intramuscular, llamada grasa de marmóreo se localiza a nivel del perimisio. Del perimisio salen capas muy finas de tejido conectivo que envuelven cada capa de fibra muscular, esta envoltura es llamada endomisio. El epimisio, perimisio y endomisio se unen al final del músculo para formar los tendones que unen éste al hueso.

El sarcolema es la verdadera membrana que rodea la célula controlando la capilaridad de ella a través de invaginaciones que forman una red de tubos llamados tubos transversales o tubos t.

El citoplasma de la célula muscular es llamado sarcoplasma, contiene las mitocondrias y los lisosomas que son pequeños organelos suspendidos en él. Está constituido por agua (75-80%), lípidos, gránulos de glicógeno, proteínas, compuestos nitrogenados no proteicos y constituyentes inorgánicos.

Las mitocondrias son las responsables de la obtención de energía y los lisosomas contienen las enzimas capaces de digerir la célula y sus contenidos.

Dentro de la fibra existen las miofibrillas, cada una de ellas recubiertas por el retículo sarcoplasmático que regula la contracción y relajación muscular ejerciendo control químico de la célula. Dentro de las miofibrillas están los miofilamentos que son los

responsables de las bandas claras y oscuras del músculo estriado, son llamados filamentos gruesos y delgados de miosina y actina, las cuales son las proteínas directamente implicadas en el proceso de contracción y relajación del músculo.

Las bandas de cada fibrilla están alineadas a través de toda la fibra muscular, dándole la forma estriada o de bandas alternas claras y oscuras.

La banda clara es llamada banda I. La banda oscura más amplia es llamada banda A. La banda I es bisectada por una banda oscura y delgada llamada Z y la A por la llamada M. La unidad estructural básica de una miofibrilla se llama sarcómero y está comprendido entre dos líneas Z.

Una representación diagramática de la estructura macroscópica del músculo se presenta en la Figura 2.1.

Las fibras musculares del pescado son cortas (unos 3 cm) y ordenadas en láminas llamadas miotomos. Estas secciones contienen las proteínas contráctiles rodeadas por tejido conectivo que está unido al esqueleto y a la piel. Las fibras musculares contienen pequeñas fibras o miofibrillas, divididas en pequeñas unidades llamadas sarcómeros que contienen moléculas de las principales proteínas contráctiles actina y miosina, asociadas con proteínas menores como la troponina y la tropomiosina.

COMPOSICIÓN QUÍMICA

Las propiedades químicas del tejido muscular y del tejido conectivo son de principal importancia para determinar el uso de la carne como alimento.

En términos generales se puede decir que los músculos poseen características asociadas con la función que desempeñan en el cuerpo, por ejemplo poseer grandes cantidades de tejido conectivo (colágenos, elastinas), aquellos que más ejercicio realizan.

Proteínas: Son consideradas como las componentes más importantes por su función biológica y en la carne se constituyen en la principal fuente de alta calidad de la dieta humana.

Las proteínas son moléculas complejas constituidas por cadenas de aminoácidos, unidos entre sí mediante enlaces amida, formando polímeros llamados polipéptidos. Todo polipéptido tiene un extremo terminal amino y otro carboxilo. Las propiedades y funciones de toda proteína dependen del número y posición relativa de los amino-ácidos que posee y de la naturaleza química de sus grupos laterales. Los cambios moleculares que normalmente causan la pérdida de la función biológica de las proteínas se denominan desnaturalización, la cual se produce por:

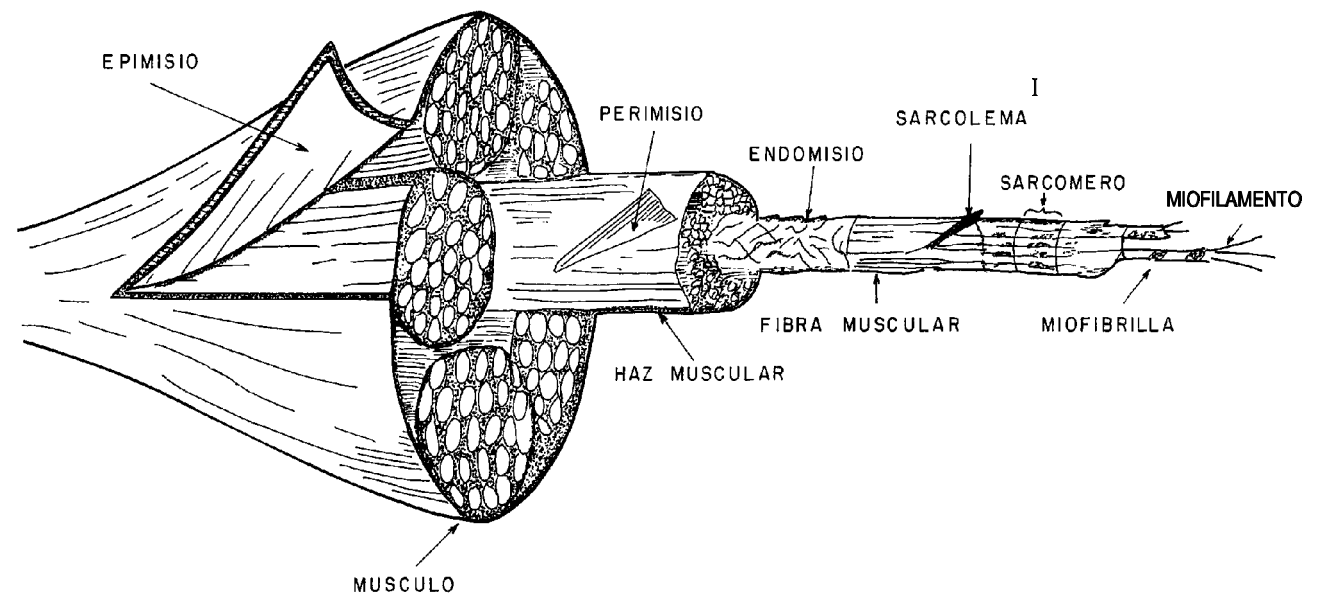


Figura 2.1. Representación diagramática de la estructura del músculo.

1. cambios en el pH que modifica cargas propiciando repulsiones,
2. agentes formadores de enlaces de Hidrógeno,
3. calentamiento que determina ruptura de enlaces de Hidrógeno existentes dentro de la cadena,
4. agentes destructores de enlaces hidrófobos, como los detergentes, que despliegan las cadenas polipeptídicas.

De acuerdo con la procedencia, las proteínas musculares se pueden clasificar en sarcoplasmáticas, miofibrilares y del tejido conectivo.

Las proteínas sarcoplasmáticas son solubles en agua o en soluciones salinas diluidas y representan aproximadamente el 6% del total del músculo.

Las proteínas miofibrilares son solubles en soluciones salinas concentradas, representan aproximadamente el 9,5% del total del músculo.

Las proteínas del tejido conectivo llamadas también proteínas del estroma, son insolubles a baja temperatura, en soluciones salinas concentradas.

Proteínas solubles en soluciones salinas diluidas.

Miógeno: es una mezcla de proteína y enzimas mitocondriales que intervienen en la glucogenólisis.

Mioglobina: es una proteína conjugada que tiene un grupo prostético de naturaleza no peptídica, responsable del color rojo del músculo, sirve para almacenar el Oxígeno en la fibra para luego ser utilizado en el metabolismo aeróbico, y un grupo proteico llamado globina.

El grupo prostético, llamado hemo, está constituido por un átomo de Hierro y un gran anillo planar (porfirina), compuesto de cuatro anillos heterocíclicos pirrólicos unidos entre sí por puentes meteno, con tres clases de cadenas laterales: Metilo (M), Vinilo (V) y Propilo (P).

El átomo de Hierro se representa con seis enlaces de coordinación: cinco pares electrónicos de Nitrógeno y un par del Oxígeno.

Una representación de la mioglobina se presenta en la Figura 2.2.

La variación del color de la carne tiene influencia sobre la disposición industrial final de la misma, y ésta a su vez está determinada por factores como especie, edad, procedencia anatómica etc, que tienen que ver con el contenido de mioglobina de la carne.

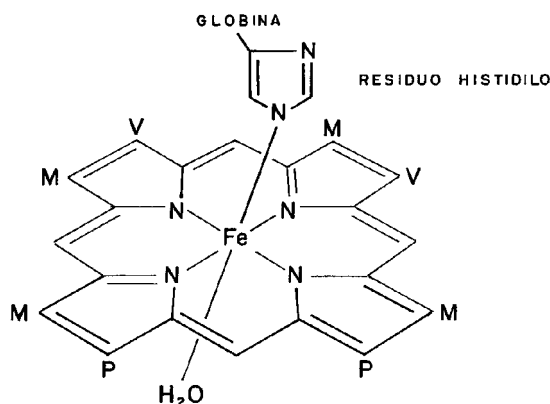


Figura 2.2. Representación de la molécula de mioglobina.

La edad por ejemplo, puede influir sobre la concentración de la mioglobina en el bovino haciéndola entre 5 y 20 veces mayor cuando se compara la carne del bovino viejo y la de ternera.

Por acción del oxígeno la mioglobina da lugar a la aparición de dos compuestos interconvertibles entre sí y retornantes por reacción contraria al compuesto original.

La oximioglobina (rojo brillante) aparece cuando la mioglobina (rojo púrpura), es sometida a la acción del Oxígeno, produciéndose inicialmente una oxidación de sustratos disponibles, manteniéndose el Hierro en una valencia 2+.

La metamioglobina (rojo marrón), aparece precisamente cuando esas sustancias oxidables se acaban y hay una acción específica del oxígeno sobre el hierro, el cual pasa a una valencia 3+.

La metamioglobina y la oximioglobina coexisten y mediante apropiados agentes reductores y el desfavorecimiento de las condiciones de oxigenación, las reacciones son reversibles.

La oxidación de la mioglobina en presencia de grupos sulfhidrilo da lugar a la sulfomioglobina, de color verde; en presencia de ascorbato da lugar a la colemioglobina también de color verde, ambos compuestos por oxidación posterior dan lugar a la aparición de porfirinas libres y oxidadas sin proteína, de colores marrón, amarillo e incoloras.

El estado de oxidación del hierro y la integridad de la molécula permitirán habilitar una carne para ser usada industrialmente donde en razón al procesamiento, se propician reacciones con esta proteína.

Hemoglobina: es la proteína transportadora de oxígeno en las células rojas de la sangre. Representa aproximadamente el 0.1% del total de las proteínas sarcoplasmáticas.

Citocromos, flavinas y proteínas lisosómicas: son pigmentos musculares que se encuentran en pequeñas cantidades. Los citocromos son pigmentos hemo rojos, las flavinas son coenzimas amarillos.

Proteínas solubles en soluciones salinas concentradas.

Actina: constituye del 20 - 25% de las proteínas miofibrilares. El punto isoeléctrico se encuentra en un pH de 4.7.

Miosina: constituye del 50 - 55% de las proteínas miofibrilares. El punto isoeléctrico de esta proteína es próximo a 5.4. La estructura de la miosina se presenta como un rodillo alargado con una porción más gruesa en un extremo llamada la región de la cabeza y una porción cilíndrica llamada la porción de la cola. La porción localizada entre la cabeza y la cola es llamada el cuello y cuando la miosina es sometida a la acción proteolítica de la tripsina se parte por esta región dando dos fracciones la meromiosina liviana y la pesada. Las cabezas son los sitios funcionalmente activos de los filamentos gruesos durante la contracción muscular, puesto que las cabezas de la miosina forman puentes con los filamentos de actina produciéndose el complejo actomiosina que da la condición de inextensibilidad al músculo.

Actomiosina: es una proteína de tipo fibrilar. Su punto isoeléctrico es de 5.4. Es insoluble en agua y soluble en soluciones salinas de alta fuerza iónica.

La actomiosina es la mayor forma de proteína miofibrilar encontrada en el músculo post-mortem, debiéndose a este complejo la rigidez cadavérica. Desde el punto de vista industrial, es posiblemente la proteína más importante, ya que de ella dependerá mas de una propiedad sensorial de los productos cárnicos de pasta fina y, el éxito económico de un proceso.

Tropomiosina: constituye del 8 al 10% de la proteína miofibrilar y es una molécula altamente cargada eléctricamente; tiene punto isoeléctrico a 5.1.

Troponina: es una proteína globular con un contenido relativamente alto en prolina, constituye del 8 al 10% de la proteína miofibrilar. Está presente en los terminales de la molécula de tropomiosina. Es la proteína receptora del ión Ca^{2+} y su sensibilidad a este ión es su función en el complejo actomiosina - tropomiosina.

Proteína M: poco se conoce de esta proteína, se cree es la sustancia que une las colas de los filamentos de miosina en el músculo para mantener el arreglo de los filamentos. Constituye cerca del 4% de la proteína miofibrilar .

Proteína C: se encuentra en el filamento de miosina y representa del 2 al 2.5% de la proteína miofibrilar.

á Actinina: es una proteína globular con un contenido de prolina comparable al de la actina. Constituye del 2 al 2.5% de la proteína miofibrilar, está presente en la línea Z y se cree funciona como sustancia cementante de los filamentos Z.

â Actinina: es también una proteína globular localizada en los extremos de los filamentos de actina y se cree regula su longitud. Ambas proteínas, á y â actininas, parece que tuvieran que ver mucho con el ablandamiento muscular post-mortem.

Estas proteínas miofibrilares o estructurales van a ser responsables de conferir al producto cárnico características de calidad determinadas. Serán además las responsables de la formación de la matriz proteica en el proceso de elaboración de embutidos de pasta fina, actuando además como agentes estabilizadores de la "emulsión cárnica".

Proteínas del tejido conectivo.

Son insolubles en soluciones salinas concentradas al menos a temperatura ambiente. Representan aproximadamente el 32% del total de las proteínas musculares y dentro de ellas las principales son:

Colágeno: Es la proteína más abundante en el cuerpo animal y es la fracción mayor del tejido conectivo, por esta razón contribuye significativamente a la dureza de la carne. Es abundante en tendones, piel, huesos y sistema vascular. Comprende una tercera parte o más del total de la proteína y su presencia en los músculos de las extremidades hace que estos sean menos tiernos que los de la espalda.

La gelatina es un producto parcial de la desnaturalización del colágeno debido a las altas temperaturas.

El tropocolágeno es la unidad básica de la fibra de colágeno. Es una glicoproteína, que presenta como amino-ácido más abundante la glicina, además de presentar aminoácidos como la prolina y la hidroxiprolina, las cuales caracterizan a los colágenos.

El colágeno de los peces, ictiocol, presenta menores contenidos de prolina e hidroxiprolina, pero presenta también, mayores contenidos de serina y treonina que estos.

Los colágenos presentan como propiedades generales: hinchamiento al sumergirlos en ácidos diluídos, álcalis o soluciones concentradas de algunas sales neutras o no electrólitos, retracción de sus fibras con el calor, solubilización y gelatinación al aumentar la temperatura por encima de la de retracción.

Elastina: Es un componente de las paredes de las grandes arterias. Se le conoce como tejido conectivo amarillo; químicamente difiere del colágeno y la reticulina. Hace parte del ligamento nual que sostiene el cuello de los mamíferos, es resistente a las enzimas digestivas pero es hidrolizada por la ficina, papaina y bromelina.

Es muy insoluble, lo que se debe en gran parte al alto contenido de aminoácidos no polares (90%). El aminoácido que se encuentra en mayor cantidad es la glicina, pero contiene además hidroxiprolina, lisina y los aminoácidos desmosina e isodesmosina (compuestos cíclicos formados por cuatro residuos lisilo).

Reticulinas: Son finas y onduladas y con cierto grado de ramificación. No se ha podido dilucidar claramente si producen gelatina por hidrólisis. Se clasifican en colagenosas, precolagenosas y del estroma. Las primeras se encuentran en el riñón y entre la dermis y la epidermis y las segundas se encuentran en las fibras inmaduras del tejido conectivo (parecen colágeno joven). Las del estroma presentan mayor resistencia a la digestión con pepsina; se encuentran en el bazo y en los nódulos linfáticos.

Además de las proteínas ya mencionadas, se encuentran otras proteínas misceláneas:

- C Proteínas del plasma sanguíneo: Se dividen en dos grupos: las albúminas y las globulinas, siendo las primeras solubles en agua y responsables de mantener el volumen de sangre, y las segundas, solubles en soluciones salinas.
- C Proteína sarcolémica: Está asociada con el sarcolema, presenta una composición similar al colágeno.
- C Queratinas: Son los principales componentes de la capa córnea más externa de la epidermis, cuernos, pezuñas, escamas, pelos y plumas. Son compuestos con importante contenido de Azufre. De acuerdo con su consistencia se clasifican en duras y blandas. En las primeras los filamentos están dispuestos en forma rígidamente paralelos; en las segundas son más desorganizados (callos).
- C Enzimas: Están implicadas en el metabolismo de los carbohidratos, lípidos y aminoácidos de la célula. Actúan benéficamente favoreciendo la maduración de la carne o en forma indeseable causando la putrefacción, fermentación, cambios de color y enranciamiento.

Desde el punto de vista industrial, los cortes de la carne de acuerdo con su contenido de proteína y con el tipo de esta, son clasificados y destinados para un uso determinado. La carne destinada a elaborar “emulsiones” debe ser rica de proteínas estructurales. La Tabla 2.2. presenta el contenido proporcional de proteína miofibrilar de algunos cortes.

Tabla 2.2. Contenido proporcional de proteína miofibrilar de algunos cortes.

Especie	Tejido	Proteína miofibrilar	Proteína del tejido conectivo
Bovino	Carne de toro	Alto	Bajo
	Cuello	Alto	Bajo
	Músculos Maseteros	Alto a Medio	Alto a Medio
	Músculos flexores y extensores	Alto a Medio	Medio
	Corazón	Bajo	Bajo
	Pulmones	Medio	Bajo
	Tripas	Ausente	Alto
	Lenguas	Bajo	Medio
	Raspaduras de piel	Ausente	Muy alto
Porcino	Tocino	Ausente	Medio
	Papadas	Bajo	Alto
	Carne de cabeza	Medio	Medio
	Músculos Maseteros	Medio	Medio
	Labios	Ausentes	Alto
	Lenguas	Bajo	Bajo

Tomado de Forrest *et al* (1979).

Determinación de proteína en carne.

Las operaciones descritas a continuación tienen por finalidad conseguir una muestra para el análisis lo más homogénea posible. Por ello, toda simplificación o tratamiento insuficiente en esta operación puede conducir a resultados que no sean representativos (Panreac, 1986).

Equipos y materiales: Cuchillos, trituradoras eléctricas, frascos de vidrio de 250 ml de capacidad, boca ancha y tapón esmerilado y cápsulas de porcelana de 20 cm de diámetro.

Procedimiento:

1. Tomar una muestra representativa de 200 g.
2. Quitar la piel si la tuviere.
3. Partirla con cuchillo en rodajas o trozos de 0,1 a 1 cm.
5. Triturarlos varias veces hasta conseguir una mezcla homogénea, recogiendo cuidadosamente todo el material presente en el equipo.

La muestra bien homogeneizada debe guardarse inmediatamente en los frascos limpios y secos, de modo que queden llenos para prevenir pérdidas de humedad, conservándolos en refrigeración de forma que evite deterioro y cualquier cambio en su composición. Estas muestras deben ser usadas antes de 24 horas.

La medida de la proteína se realiza mediante la valoración del nitrógeno de la muestra, el cual se fundamenta en el ataque químico del producto por ácido sulfúrico al 96% catalizado con Cobre II sulfato y Selenio, transformando el Nitrógeno orgánico en iones amonio, el cual en medio fuertemente básico, permite la destilación del amoníaco que es recogido en ácido bórico. Una posterior valoración con ácido clorhídrico permite el cálculo de la cantidad inicialmente presente de Nitrógeno en la muestra.

Equipos y materiales: Balanza analítica, batería calefactora, probetas de 50 ml, matraces Kjeldhal de 800 ml, embudos de vástago largo, embudos de 8 cm de diámetro, aparato de destilación, erlenmeyer de 200 ml, bureta con divisiones de 0.1 ml, frascos de 250 ml de boca ancha con roscas.

Como materiales se tienen la muestra a analizar y solución de ácido bórico al 4%, ácido clorhídrico 0.1 N, ácido sulfúrico al 96%, agua destilada, alcohol etílico al 96% v/v, azul de metileno, Cobre II sulfato 5 hidrato, piedra pómez de 4 a 8 mm, sulfato de potasio, rojo de metilo, polvo de Selenio metálico, hidróxido de sodio al 97% en lentejas, indicador mixto preparado disolviendo 2 g de rojo de metilo y 1 g de azul de metileno en 1000 ml de alcohol etílico 96% v/v, este indicador varía de violeta a verde a pH 5.4.

Procedimiento: Pesar de 1 a 3 g de muestra, llevar la muestra pesada al matraz Kjeldhal e introducir sucesivamente unos gramos de piedra pómez de 4 a 8 mm 15 g de sulfato de potasio, 0.5 g de Cobre II sulfato pentahidratado y una punta de espátula de Selenio metálico, adicionar 25 ml de ácido sulfúrico del 96%, mezclar suavemente por rotación y colocar el matraz en una batería calefactora colocándole un embudo adecuado en la boca. Calentar suavemente al principio y cuando el conjunto adquiere una cierta decoloración aumentar la intensidad de calefacción. Agitar suave y periódicamente por rotación. A partir del momento en que el líquido toma una coloración transparente, azul verdosa, dejar hirviendo por lo menos durante una hora y media. Posteriormente se deja enfriar hasta temperatura ambiente añadiendo luego, con precaución, 100 ml de agua destilada disolviendo por rotación los cristales de sulfato de potasio.

En un erlenmeyer de 200 ml se disponen 25 ml de ácido bórico al 4% y unas gotas del indicador preparado, en el cual se introduce hasta el fondo la prolongación del aparato de destilación. Conectar el matraz con el aparato de destilación, ajustarlos bien. Al matraz adicionarle 100 ml de agua destilada y 100 ml de hidróxido de sodio al 40%, calentando suavemente hasta ebullición.

Deben recogerse 150 ml de destilado aproximadamente o prolongar la ebullición hasta el momento de que esta sea violenta.

Luego de aquí se retira el erlenmeyer, se lava la prolongación y el interior del destilador, recogiendo sobre el destilado las aguas de lavado.

Con ácido clorhídrico 0.1 se valora esta solución hasta la coloración original violeta. Debe realizarse paralelamente con la muestra, un blanco, lo cual se consigue realizando cada operación y proceso a una muestra de agua.

Cálculos:

$$\% \text{ proteína} : 6.25 \times 0.14 \times F (V_1 - V_2)/P$$

Donde:

6.25: Factor de proteína total (Norma ICONTEC 1325).

F: Factor del ácido clorhídrico

V₁: Volumen en ml de ácido clorhídrico gastado en la valoración

V₂: Volumen en ml de ácido clorhídrico gastado en el ensayo del blanco

P: Peso de la muestra en gramos.

Este método corresponde a la norma internacional ISO - R 937 (Panreac, 1986).

Grasas: La carne posee numerosos lípidos, desempeñando algunos de ellos funciones importantes en el metabolismo como los ácidos grasos esenciales, el colesterol, los fosfolípidos y las vitaminas liposolubles; algunos otros como los ésteres de ácidos grasos son menos activos metabólicamente, pero constituyen una reserva de energía y protegen a los órganos.

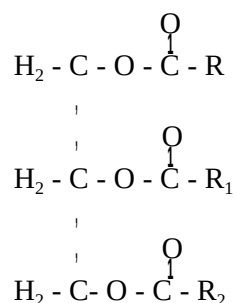
En el animal se encuentran dos tipos de grasas:

1. Grasa orgánica o sea la grasa estructural de la célula cuya composición no varía con el alimento y no es móvil.
2. Grasa de depósito es la que se deposita en el tejido conectivo, formando la grasa abdominal, dorsal y renal. Cambia con la dieta y de ella obtiene el animal su energía. La composición de la grasa que depositan muchos animales tiende a parecerse a la grasa de la dieta, esto ocurre con más frecuencia en el cerdo que en el bovino, debido a que la dieta del cerdo se presta más para la inclusión de ingredientes grasos de diferente composición, y porque los microorganismos del rumen tienen la capacidad de uniformizar la composición de los nutrientes asimilados.

Cuando los cerdos son alimentados con cacahuets y fuentes de grasa líquida su grasa es más blanda. Cuando consumen semillas de lino y pescado, durante el almacenamiento su carne huele a pintura y pescado. Los elementos metálicos en la dieta, por ejemplo Cobre, produce ablandamiento de la grasa.

Las grasas naturales se componen fundamentalmente de ésteres formados por el glicerol y ácidos carboxílicos de cadena recta que poseen un número par de átomos de Carbono. Puesto que el glicerol tiene tres grupos hidroxilo es posible combinar una molécula de

glicerol con una, dos o tres moléculas de ácidos grasos para formar mono, di y triglicéridos. En la grasa de la carne predominan los triglicéridos los cuales tienen como fórmula general:



Los ácidos grasos que forman parte de las grasas animales difieren en la longitud de la cadena de átomos de Carbono y en el tipo de enlace que los une.

Si el tipo de enlace es sencillo se llaman ácidos saturados, si en la cadena hay uno o más dobles enlaces el ácido se llama insaturado. En la carne predominan los ácidos grasos saturados y los monoinsaturados. En la carne no se han encontrado ácidos que tengan triples enlaces.

El punto de fusión se eleva a medida que aumenta el peso molecular o sea a medida que aumenta la longitud de la cadena. Ácidos grasos de longitud de cadena inferior a nueve Carbonos presentan puntos de fusión muy bajos y tienden a ser líquidos a temperatura ambiente (Butírico $\text{C}_4\text{H}_8\text{COOH}$, P.M. 88.1, P.F. -8.0°C ; Capríico $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{COOH}$, P.M. 116.15, P.F. -3.4°C ; Caprílico $\text{C}_8\text{H}_{16}\text{COOH}$, P.M. 144.21, P.F. 16.7°C ; Cáprico $\text{C}_{10}\text{H}_{20}\text{COOH}$, P.M. 172.26, P.F. 31.6°C), siendo sólidos los de cadena más larga (Laúrico $\text{C}_{12}\text{H}_{24}\text{COOH}$, P.M. 200.31, P.F. 44.2°C ; Mirístico $\text{C}_{14}\text{H}_{28}\text{COOH}$, P.M. 228.36, P.F. 54.4°C ; Palmítico $\text{C}_{16}\text{H}_{32}\text{COOH}$, P.M. 256.42, P.F. 62.6°C ; Esteárico $\text{C}_{18}\text{H}_{36}\text{COOH}$, P.M. 284.47, P.F. 69.6°C). La presencia de los ácidos grasos de cadena larga especialmente palmítico y esteárico, es la que imparte dureza a las grasas naturales (Price *et al*, 1976).

Los ácidos grasos insaturados que posee la grasa de la carne tienen uno o más dobles enlaces, siendo los más comunes el ácido oléico $\text{C}_{18}\text{H}_{33}\text{COOH}$ ($\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$), el ácido linoleico $\text{C}_{18}\text{H}_{31}\text{COOH}$ ($\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$) y el ácido linolénico $\text{C}_{18}\text{H}_{29}\text{COOH}$ con tres dobles enlaces ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$). Los ácidos grasos más insaturados poseen puntos de fusión más bajos y están expuestos a reacciones de oxidación que causan enranciamiento.

Los otros lípidos que se encuentran en la carne son los fosfolípidos, que aunque en pequeñas cantidades, desempeñan papeles importantes en relación con el aroma y la conservabilidad de la carne y de los productos cárnicos procesados.

La mayor parte de los fosfolípidos presentes en el músculo son fosfoglicéridos con alto grado de insaturación y en los cuales se producen cambios de color, sabor y olor por exposición al aire, intensificándose por el calor. El oscurecimiento de los fosfolípidos se presenta paralelamente con el enranciamiento y con el calentamiento de las cefalinas produciendo un intenso olor a pescado.

El colesterol, aunque componente minoritario de los lípidos, desempeña funciones fisiológicas importantes. El músculo magro de bovinos, porcinos y ovinos contiene 70-75 mg de colesterol por cada 100 g de tejido. El colesterol ha adquirido interés por su presencia en los depósitos grasos de las arterias de los pacientes enfermos del corazón, en los cuales con frecuencia se observan niveles elevados. El consumo de una cantidad excesiva de colesterol puede aumentar el nivel de la sangre y los tejidos. No obstante el colesterol es esencial metabólicamente, es excretado en la bilis. Los niveles en personas sanas son constantes pero aumentan con la edad y con ciertas dietas y hábitos.

Desde el punto de vista comercial, para cualquier uso, el contenido de grasa determina el valor económico de los diferentes cortes o pedazos de carnes, ya no con el viejo concepto norteamericano de ser un tejido deseable en el corte por razones de aroma y jugosidad, sino de acuerdo a la nueva realidad comercial donde el consumidor inclina sus gustos y preferencias por la carne magra. Desde éste punto de vista deberán reevaluarse los sistemas y criterios de producción de ganado tratando de armonizarlos y de adecuarlos a la realidad actual. No se justifica dejar envejecer un ganado con el ánimo de depositar en él un tejido que ya muy pocas personas desean.

Determinación de grasa en carne: La determinación de grasa en carne se fundamenta en la extracción de ésta de la muestra previamente hidrolizada y desecada por medio de hexano o éter de petróleo. Eliminación del disolvente por evaporación, desecación del residuo y posterior determinación gravimétrica después de enfriar.

Equipos y materiales: Erlenmeyer de 500 ml, vidrios de reloj, placa o manta calefactora, papel de filtro, embudos, extractor Soxhlet, estufa eléctrica, balanza analítica y desecador provisto de deshidratante.

Los materiales utilizados para determinación de grasa por éste método son: la muestra de carne tomada de la forma como se describe en el análisis de proteína, ácido clorhídrico 5 N, agua destilada, éter etílico, éter de petróleo de 40EC-60EC, gel de sílice con indicador, n-hexano, piedra pómez 4 a 8 mm.

Procedimiento: Pesar 2.5 g de muestra e introducirlos en el erlenmeyer de 500 ml, adicionando 100 ml de ácido clorhídrico y unos trozos de piedra pómez 4 a 8 mm. Cubriendo la boca del erlenmeyer con un vidrio de reloj se somete a la mezcla a ebullición suave mediante el uso de la manta calefactora, durante una hora. Enfriar y filtrar sobre doble filtro evitando cualquier paso de materia grasa al filtrado. Lavar el residuo con agua fría hasta la desaparición de la reacción ácida, verificar que en el filtro no exista materia grasa.

Colocar los papeles de filtro conteniendo el residuo, sobre un vidrio de reloj y desecarlos durante una y media hora en la estufa a 95-98EC. Una vez seco el conjunto, introducirlo en el cartucho de extracción, extrayendo en el Soxhlet con éter etílico durante seis horas, regulando la ebullición de tal manera que se produzcan por lo menos 15 reciclos por hora. Eliminar el disolvente por destilación, o en un rotavapor, y los residuos en la estufa durante una y media hora a 75EC, luego se determina el peso del matraz del Soxhlet, el cual fue tarado seco y vacío, luego se repite el procedimiento de secado hasta que el peso sea constante.

Cálculos: El resultado se expresa como contenido porcentual de la grasa en la muestra mediante el uso de la siguiente relación:

Porcentaje de grasa: $(P' - P) \times 100/P''$

Siendo:

P : Peso del matraz del extractor seco y vacío

P': Peso del matraz con la grasa

P'': Peso de la muestra.

Este método corresponde a la norma internacional ISO - 1443 (Panreac, 1986).

Este método de determinación de grasa es el método patrón oficialmente aceptado, pero es un método costoso y dispendioso. Ya que la grasa y la humedad se han constituido en los índices más comúnmente evaluados industrialmente para determinar la calidad y posible uso de un corte determinado, se han desarrollado procedimientos alternos más rápidos y menos costosos, los cuales se acostumbra calibrar contra el método patrón.

Para esta determinación existe un variado número de procedimientos. Algunos se fundamentan en la digestión con ácido, como es el caso de varias modificaciones del popular método Babcock para leches. En estos métodos la proteína es digerida con ácido sulfúrico y la grasa se mide volumétricamente en el cuello de la botella tipo paley.

Otros métodos se fundamentan en la cocción de la muestra, la grasa fluye por gravedad a un cilindro en donde se mide volumétricamente.

Algunos métodos se fundamentan en la medida de propiedades extensivas de la materia como la densidad. Una medida de la gravedad específica será proporcional a la cantidad de grasa de la muestra.

Rayos X. La cantidad de rayos X que penetran en una muestra pueden ser usados para estimar la proporción de tejido muscular o adiposo. Esta determinación se fundamenta en el principio de que la absorción de rayos X es inversamente proporcional al contenido de grasa de la muestra.

Agua: Cuantitativamente representa el 76% de la carne roja magra, razón por la cual tiene influencia sobre la calidad de la carne afectando la jugosidad, consistencia, terneza, color y sabor. Por ser el medio universal de las reacciones biológicas, su presencia influye en los cambios que ocurren en la carne durante su almacenamiento y procesado.

El contenido de humedad en la carne es importante principalmente en el tejido muscular magro; el tejido adiposo por su misma naturaleza, no contribuye a incrementarlo, por lo tanto a mayor contenido de grasa de un corte menor contenido de humedad.

Debido a la configuración de la molécula de agua, donde los átomos de Hidrógeno están unidos al átomo de Oxígeno formando un ángulo de 109E, la molécula de agua presenta dipolo, habilitándola para interactuar con otras sustancias mediante fuerzas eléctricas.

Esta carga eléctrica del agua le permite formar soluciones y coloides al asociarse con los grupos reactivos eléctricamente cargados de las proteínas musculares.

Algunos factores influyen el número de grupos reactivos de las proteínas y su habilidad para ligar agua. Los de mayor influencia para las proteínas musculares son resultado de los cambios y transformaciones post-mortem, relacionados con la producción de ácido láctico, pérdida del ATP y cambios en la estructura celular asociados con la actividad proteolítica de algunas enzimas presentes en el músculo.

Cuando el músculo está vivo presenta un pH de 7.0 a 7.2; la molécula proteica tiene grupos reactivos cargados negativamente que fijan agua, formando posiblemente una capa de una molécula de espesor dispuesta alrededor de los grupos cargados, y permanece fuertemente ligada aún durante la aplicación de fuerzas externas severas.

El agua restante presente en el músculo está atrapada en los espacios debidos a la configuración geométrica de la estructura de las proteínas miofibrilares o levemente unida por fuerzas de *Van Der Waals*.

Determinación de humedad en carne. La medida del agua en la carne se fundamenta en la formación de una pasta con ayuda de arena y alcohol etílico al 95%, la cual es

sometida en principio a un presecado al baño maría y a continuación la muestra es secada a $102\text{EC} \pm 2\text{EC}$ hasta obtener un peso constante.

Equipos y materiales: Balanza analítica, cápsula de acero inoxidable con tapa de 60 mm de diámetro y 25 mm de altura, varilla fina de vidrio con punta de espátula que entre completo en la cápsula, desecador provisto de deshidratante activo (sílica gel), baño de agua, estufa regulada a $102\text{EC} \pm 2\text{EC}$, la muestra de carne obtenida según el procedimiento descrito para el análisis de proteína, alcohol etílico al 96% v/v, arena de mar grano fino (0.25 - 1.4 m.m), sílica gel.

Procedimiento: Secar la cápsula conteniendo una cantidad de arena de mar lavada, grano fino, igual a 3 - 4 veces el peso de la muestra y la varilla de vidrio, durante 30 minutos, en la estufa regulada a $102\text{EC} \pm 2\text{EC}$.

Una vez transcurrido este tiempo en la estufa, sacarla e introducirla en el desecador, hasta que alcance la temperatura ambiente y pesar el conjunto lo más exactamente posible.

Introducir en dicha cápsula aproximadamente 5 g de muestra y determinar nuevamente el peso del conjunto.

Adicionar a la cápsula 5 ml de alcohol etílico al 96% v/v y remover la mezcla con la varilla de vidrio, colocar la cápsula al baño maría regulada a una temperatura entre 60EC y 80EC , para evitar las posibles proyecciones, mantener el calentamiento hasta que el alcohol se evapore. Secar la muestra durante cuatro horas en la estufa a $102\text{EC} \pm 2\text{EC}$, una vez transcurrido este tiempo, retirar la cápsula de la estufa y colocarla en el desecador, hasta que alcance la temperatura ambiente, determinando posteriormente su peso. Este proceso de secado y determinación del peso debe repetirse hasta peso constante.

Se recomienda efectuar por lo menos dos determinaciones sobre la misma muestra.

Cálculos:

Porcentaje de humedad: $(M_1 - M_2) \times 100 / (M_1 - M_0)$

Siendo:

M_0 : Masa de la cápsula, la varilla y la arena secas.

M_1 : Masa de la cápsula, la varilla, la arena y la muestra antes de secarse.

M_2 : Masa de la cápsula, la varilla, la arena y la muestra después del secado.

La diferencia entre los resultados de dos determinaciones simultáneas o realizadas seguidamente, una después de la otra, efectuadas por el mismo analista, no debe ser superior a 0.1 g de agua por 100 g de muestra (0.1%).

Este procedimiento de determinación está de acuerdo con la norma internacional ISO R - 1442 (Panreac, 1986).

Este método de determinación de humedad, si bien es muy confiable a la vez es costoso y dispendioso, industrialmente se utilizan algunos procedimientos alternativos, los cuales, normalmente, son calibrados respecto a este método.

Método de secado al vacío: Este método es muy recomendable sobre todo para productos con un alto contenido de hidratos de carbono, se fundamenta en el secado de la muestra a bajas presiones, requiere obviamente, equipo de vacío.

Método de la balanza de rayos infrarrojos: Este es un instrumento con el cual es posible pesar, deshidratar y leer directamente sobre su escala, semejante a la de un nonio, el porcentaje de humedad de la muestra en un tiempo aproximado de 40 minutos. Es un método industrialmente muy aceptado.

Existen además métodos que se fundamentan en propiedades químicas y físicas (eléctricas y de transferencia de masa) como resistencia eléctrica y constante dieléctrica, reacción entre el Iodo y el dióxido de azufre y métodos de destilación directa con solventes inmiscibles en agua.

Hidratos de Carbono: Todos los tejidos y líquidos tisulares de los animales contienen hidratos de carbono, aunque no en tan altas proporciones, como los vegetales. Se presentan libres o formando parte de los ácidos nucleicos, nucleósidos, nucleótidos; son fuente de energía para el músculo y hacen parte de las sustancias de reserva del organismo.

La mayor proporción de los hidratos de carbono que hacen parte del músculo son polisacáridos complejos, muchos de ellos unidos a componentes proteicos.

Glucógeno: El polímero de la glucosa denominado glucógeno, se almacena en casi todos los tejidos, hasta que se necesite, pero fundamentalmente en el músculo esquelético y en el hígado, en donde puede alcanzar hasta valores del 2% al 8% del peso húmedo de este último en los mamíferos. El contenido normal de glucógeno en el músculo oscila entre el 0.5% y el 1.3%.

La reserva de glucógeno se agota cuando se produce una demanda alta de energía; el ayuno por ejemplo, disminuye el glucógeno hepático y el muscular disminuye con el ejercicio.

Los glucógenos son polímeros de D-glucopiranososa con enlaces á 1-4 y á 1-6 glucosídicos entre las moléculas. Una representación de éste polímero se esquematiza en la Figura 2.3

La formación de glucógeno se denomina glucogénesis y las sustancias químicas que sirven de precursores se llaman sustancias glucogénicas. Entre estas se encuentran aminoácidos, glicerol, intermediarios glucolíticos como los ácidos láctico y pirúvico y las hexosas.

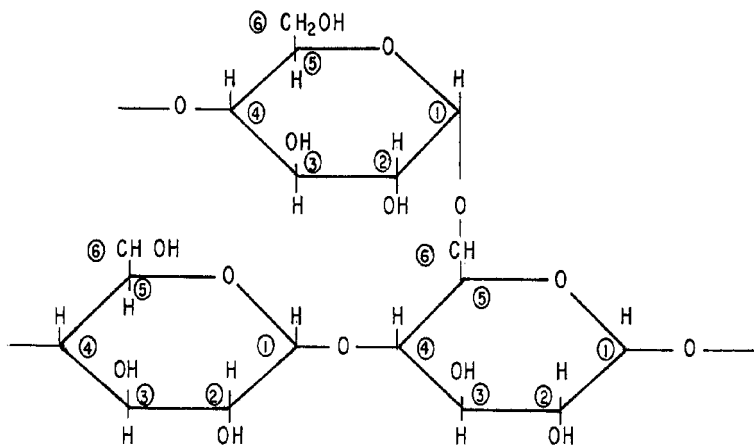


Figura 2.3. Representación esquemática del glucógeno.

La degradación de glucógeno se conoce como glucogenólisis, llamándose glucólisis al proceso por el cual el producto resultante de la glucogenólisis, la glucosa-1-fosfato, es convertida en glucosa-6-fosfato y degradado a ácido pirúvico o láctico por el sistema Embden-Meyerhof. La glucólisis ocurre anaeróbicamente y es responsable de la acumulación de ácido láctico que tiene lugar en el músculo posmortem.

En general al proceso de sacrificio de los animales está asociada la exanguinación, lo cual implica la eliminación del vehículo de transporte de Oxígeno a los tejidos y de eliminación de metabolitos residuales, instaurándose por tanto un estado anaerobio.

Es posible que en el músculo se presenten eventualmente condiciones de anaerobiosis durante momentos de extrema actividad que ocasionan acumulación de ácido láctico (acidosis) y falta de Oxígeno (anoxia tisular). Cuando las condiciones externas causantes de la actividad metabólica acelerada cesan, las condiciones aeróbicas se recobran.

Si un animal es sacrificado en estado anóxico pero sin quedar exhausto, en el músculo posmortem se acumula gran cantidad de ácido láctico aún a temperaturas altas, próximas

a la temperatura corporal (39°C), dando lugar a la desnaturalización de algunas proteínas sarcoplasmáticas que precipitan sobre las miofibrilares, ocasionando un fenómeno óptico que hace ver la carne pálida, además de húmeda y suelta. Si el sacrificio se produce una vez se hayan agotado las reservas de glucógeno, sin haberse permitido la recuperación de estas, el músculo posmortem presentará un pH alto, la carne se verá más oscura y tendrá una apariencia seca.

Estos estados anormales de glucólisis posmortem dan lugar a la aparición de carnes pálidas, sueltas y exudativas en el primer caso y oscuras, duras y secas en el segundo; a ambas condiciones puede estar expuesto cualquier animal, pero el primer fenómeno es más común que aparezca en la carne de cerdo, sobre todo en ejemplares de razas mejoradas las cuales son más susceptibles al estrés. El fenómeno de carne oscura, dura y seca es más común en bovinos, lo cual no implica que el primero no suceda, el hecho es que al tener mayor concentración de mioglobina el músculo bovino, la palidez es menos perceptible.

Los factores que más afectan la glucogénesis y la glucogenólisis son:

2. El estado nutricional: el cual tiene que ver con las reservas hepáticas y musculares.
2. El ejercicio y la exposición a factores estresantes: los cuales aumentan las demandas energéticas disminuyendo las reservas de glucógeno.
3. Hormonas con funciones reguladoras sobre la glucogénesis y la glucogenólisis. La insulina es necesaria para la oxidación de la glucosa y para la síntesis de glucógeno. La epinefrina en cantidades importantes durante el estrés estimula la glucogenólisis en el hígado tendiendo a producir hiperglucemia; también degrada el glucógeno muscular produciendo ácido láctico. La administración de glucagón determina la rápida degradación del glucógeno hepático a glucosa, pero no afecta el tisular. (Forrest *et al*, 1976).

Mucopolisacáridos: Son los polisacáridos que contienen amino-azúcares. El condroitín sulfato presente en los cartílagos, huesos, piel, tendones y en la córnea, hace parte de la matriz gelatinosa donde se encuentran las proteínas del tejido conectivo.

Componentes inorgánicos: Solamente el 3.5% del peso corporal del animal es de naturaleza inorgánica o mineral y está constituido por Calcio, Fósforo, Potasio, Azufre, Sodio, Cloro, Hierro y Magnesio; encontrándose elementos como el Manganeseo, Cobre, Iodo, Zinc y Cobalto en cantidades traza pero que son esenciales para la función metabólica normal (Price *et al*, 1976).

De este contenido mineral del 15% al 20% está presente en la carne, cumpliendo funciones especiales sobre propiedades como la terneza, la cual se ve afectada a través de los cambios que sufren los tejidos del animal al pasar del estado vivo a posmortem, siendo el más importante el relacionado con la membrana celular y la habilidad de las

células para retener las máximas cantidades de agua en ellas, lo cual afecta la jugosidad y la terneza de la carne. Esta acción es realizada a través del mantenimiento del equilibrio osmótico el cual incide en el mantenimiento de una concentración normal de iones en el fluido extracelular ocasionando que el agua permanezca en el interior de la célula favoreciendo la jugosidad.

Determinación de cenizas: El glucógeno residual de la glucólisis posmortem y los componentes inorgánicos presentes en la carne o en los productos cárnicos se determinan como cenizas.

El método de determinación se fundamenta en la adición de acetato de magnesio, desecación en baño de agua o en baño de arena, incineración en un horno a 550°C y posterior determinación de la masa del residuo, teniendo en cuenta la cantidad de óxido de magnesio proveniente de la adición de la solución de acetato utilizada al comienzo de la determinación.

Equipos y materiales: Cápsulas de porcelana de Cuarzo o Platino con fondo plano, de aproximadamente 15 cm² de superficie y 25 mm de altura, de paredes ligeramente inclinadas, pipetas de 1 y 2 ml de doble aforo, baño de agua o de arena o placa calefactora, horno provisto de termóstato y capaz de alcanzar al menos 800°C, desecador provisto de un agente deshidratante activo, balanza analítica y pinzas adecuadas para el manejo de las cápsulas.

La muestra de carne debe ser tomada como se indicó en el procedimiento para determinación de proteína, agua destilada, acetato de magnesio tetrahidratado. Esta solución debe prepararse a partir de 25 g de acetato de Magnesio llevándolos a un balón de fondo plano de 100 ml, completando el volumen.

Procedimiento: Introducir la cápsula bien limpia en el horno regulado a 550EC durante 20 minutos. Sacarla e introducirla en el desecador permaneciendo en él por lo menos 30 minutos. Determinar su masa con una precisión de por lo menos 0.1 mg.

Introducir en la cápsula una determinada masa P de muestra, aproximadamente 5 g, adicionar uniformemente un ml de acetato de magnesio tetrahidratado para luego colocar la cápsula en un baño de arena o una placa calefactora, hasta conseguir la carbonización de la muestra, prestando mucha atención a las posibles proyecciones (salpicaduras). Una vez carbonizada la muestra transferir la cápsula al horno, el cual debe estar estabilizado a 550EC, por espacio de al menos una hora. Si las cenizas no alcanzan el grado de blancura deseado, debe sacarse la muestra, dejarla enfriar y añadir unos mililitros de agua destilada (2-4), evaporar el agua en baño de arena, introduciendo de nuevo la cápsula en el horno por 30 minutos y repetir las operaciones anteriores, si es necesario, hasta conseguir unas cenizas blancas o ligeramente grises, una vez obtenidas sacarlas del horno e introducirlas en el desecador durante 30 minutos,

determinando posteriormente su masa. Debe realizarse siempre el análisis por duplicado.

Cálculos:

Porcentaje de cenizas: $(M_2 - M_0 - M_3) \times 100 / (M_1 - M_0)$

Siendo:

M_0 : masa de la cápsula.

M_1 : masa de la cápsula conteniendo la muestra.

M_2 : masa de la cápsula y el residuo después de la incineración.

M_3 : masa del óxido de magnesio proveniente de la disolución de acetato de magnesio añadido.

La diferencia entre dos determinaciones sobre la misma muestra, realizadas simultánea o consecutivamente pero en forma continua, no debe ser superior a 0.1 g por 100 g de muestra.

Este método de determinación está de acuerdo con la norma internacional ISO R 936 (Panreac, 1986).

CALIDAD INDUSTRIAL DE LA CARNE CARACTERÍSTICAS BÁSICAS

El conocimiento de un material cárnico como materia prima, tanto desde el punto de vista de su funcionalidad y la de sus componentes y de la manera como éstos interactúan con los demás materiales que hacen parte de una formulación determinada, lleva a la determinación de la calidad industrial, la cual está íntimamente ligada a la funcionalidad, y puede definirse como aquellas características de la carne que la habilitan para ser usada industrialmente como materia prima en la elaboración de productos cárnicos. Las proteínas son el principal componente funcional y estructural de carnes procesadas, por lo que determinan las características de manejo, de textura y de apariencia de los productos elaborados a partir de ella.

Las características de funcionalidad de las proteínas cárnicas, entre las cuales se cuentan: capacidad de retención de agua, cambios de pH, capacidad espumante, viscosidad y capacidad de formar geles, determinan la utilización de una carne, ya sea para el consumo fresco o para los diferentes procesos de transformación industrial.

La identificación de características generales como descenso posmortal del pH (el cual determina funcionalidad de la proteína en términos de coagulación, poder de gelación, solubilidad, entre otros), capacidad de retención de agua y capacidad emulsificante; permiten de una manera relativamente sencilla caracterizar adecuadamente un material cárnico.

La química de las interacciones de la carne es determinada por los componentes estructurales de los productos cárnicos. Ellos incluyen (adicionalmente a proteínas vegetales, si se utilizan) estructuras básicas (trozos de músculo, fibras y miofibrillas, tejido conectivo, fibras de colágeno, tejido adiposo y gotas de grasa), estructuras en solución (proteínas sarcoplásmicas y miofibrilares, y una emulsión verdadera), elementos que forman una matriz (agregados de actomiosina, miosina, plasma y agua ligada), inclusiones (gotas de grasa y agua libre) y parámetros extrínsecos (iones, tratamientos mecánicos, temperatura, pH y estado de rigor de la carne).

A nivel industrial, en la elaboración de productos cárnicos, la composición físico-química y los valores de la capacidad de retención de humedad y la capacidad emulsificante de las materias primas pueden ser usadas como características predictivas de la estabilidad del sistema durante el tratamiento térmico, así como del comportamiento de características sensoriales del producto en cuanto a “apariencia del producto” y “ligazón y textura”, para cuando se trata de cortes de carne. Cuando se evalúa carne transformada, como la mecánicamente deshuesada, la predicción del comportamiento del producto no es confiable. Además, la formulación de un producto cárnico, previo conocimiento de las características físico-químicas y de calidad industrial, permite obtener productos de calidad invariable y ajustados a la norma.

Las proteínas miofibrilares influyen y determinan las propiedades comerciales y culinarias de la carne por su alta capacidad de retención de agua (97% del total) y capacidad emulsificante (75 al 90%). Las posibles implicaciones de la estructura y la composición de las proteínas miofibrilares en la calidad de la carne, se muestran en la Tabla 2.3.

Los cambios que ocurren durante la conversión de músculo a carne influyen durante el procesamiento, las características determinantes de la calidad industrial. Como estos cambios son hasta cierto punto controlables, es posible que con el conocimiento y buen manejo de los factores ante, y sobre todo posmortem (que son los que más fácilmente maneja el industrial de la carne), se pueda mejorar la calidad de la carne fresca y como consecuencia la del producto final, independientemente de si va a ser usada industrialmente o si se va a destinar al consumo fresco.

En la Tabla 2.4 se presentan algunos datos de características de calidad de algunas carnes, procedentes de especies animales de uso común o potencial por la industria de carnes nacional, obtenidos a través de varios años en el Laboratorio de Productos Cárnicos de la Universidad Nacional de Colombia con estudiantes de zootecnia.

Tabla 2.3. Propiedades bioquímicas y arquitectura molecular de las proteínas miofibrilares

Atributo de la carne	Posible papel de la bioquímica y estructura miofibrilar
Terneza	Muchas de las variaciones en la terneza son probablemente determinadas por la integridad de los discos Z y de la naturaleza y fuerza de la interacción actina-miosina.
Capacidad de retención de agua	Esta característica esta en función del espaciamiento y la integridad del entramado de fibras gruesas y delgadas y posiblemente también a la extensión de la interacción miosina-actina y a la alta proporción de aminoácidos cargados en las proteínas miofibrilares. Mas del 90% de la C.R.A. es debida a las proteínas miofibrilares.
Capacidad emulsificante	Relativo a la solubilidad y a la integridad estructural de las proteínas miofibrilares y posiblemente también a su alta proporción de aminoácidos cargados. Las proteínas miofibrilares son responsables de aproximadamente el 90% de la capacidad emulsificante de la carne.
Valor nutritivo	Las proteínas miofibrilares contienen relativamente alta proporción de aminoácidos nutricionalmente esenciales.
Costo	Las proteínas miofibrilares constituyen del 35 al 45% del total del material orgánico en el músculo, el costo de la carne depende finalmente en gran medida de la eficiencia con la cual los nutrientes ingeridos son convertidos a proteína miofibrilar.

Tomada de Goll *et al.*, (1977)

Capacidad de Retención de Agua: Jugosidad: La importancia de la mordida, la cual está asociada con la jugosidad, es un atributo de calidad que contribuye a la aceptabilidad de la carne y los productos cárnicos por parte del consumidor. La importancia de la mordida y del concepto de jugosidad mientras se consumen estos alimentos es difícil de describir y cuantificar, sin embargo, tienen un gran efecto sobre los demás atributos sensoriales de la carne. La resequedad está asociada con el decremento de los demás atributos de palatabilidad, especialmente con la carencia de sabor y el incremento de la dureza, y a su vez está íntimamente relacionada con la capacidad de retención de agua.

Tabla 2.4. Algunas características de calidad industrial de diversas especies.

Calidad Industrial Especie	pH 0 horas posmortem	pH 24 horas posmortem	pH 48 horas posmortem	C.R.A.			Capacidad emulsificante		Terneza			Usos potenciales industrialmente
				Lomo	Tabla	Muchacho	P.C.	C.E.	Lomo	Tabla	Muchacho	
Oveja Africana	6.13	5.9	6.0	31.7	36.2	29.3	5.5	25.93	1.33	1.49	1.82	Consumo fresco prod. cárnicos embutido escaldado.
Novillos		5.9	5.8	41	36	42	8.3	39.13				
Novillos implantados		6.05	5.8	40	38	39	8.3	39.13				
Búfalo de agua	5.5	5.7	5.7	4.9 *	3.5 *	4.2 *			3.8	3.4	5.5	Carne fresca. Prod. emulsificados
Equinos 7 a 10 años	6.31	5.51	5.54	48.4	48.2		5.6	26.4	2.7	1.22		Consumo fresco, Embutidos escaldados
Conejo							5.78	27.25				Prod. emulsionados
Pollo mecá- nicamente deshuesado							0	0				Relleno
Tiburón							18.3	86.28				Producto emulsionado
Bocachico							16.2	76.38				Producto emulsionado
Tilapia							19.2	92.1				Producto emulsionado

* : Pérdida de peso (evaporación) durante el almacenamiento.

P.C.: Punto cremor (ml/2.54 g. de carne), C.E.: Capacidad emulsificante (%).

Adaptada de: Arango e Idárraga (1991); Chca y Franco (1988); Córdoba y Estrada (1985); Gómez (1988); Herrera (1988); Alvarez y García (1982); Bolívar y Garcés (1992) y Arenas y Zapata (1991).

La capacidad de retención de agua es la habilidad que exhibe la carne para retener el agua que se encuentra en ella durante la aplicación de fuerzas externas como cortes, calentamiento, trituración y prensado, y depende del tipo de proteína y su concentración, y de la presencia de hidratos de carbono, lípidos, y sales, al igual que del pH. De aquí se han derivado diversas formas de entender o aplicar el concepto; en frigoríficos y plantas faenadoras se entiende como la capacidad que tiene la carne para retener su jugo durante el almacenamiento, la conservación por tiempos importantes y la maduración de la misma. Para la industria transformadora de carnes significa la habilidad que tiene la carne para retener el agua contenida o agregada, de tal manera que no se separe en las diferentes operaciones de transformación.

Honikel (1988) anota que en los músculos crudos podría considerarse la retención de agua como la pérdida de agua cuando el alimento está sujeto a congelamiento, descongelamiento, centrifugación o compresión. En el caso de la carne para procesamiento, se define su capacidad de retención de agua como la capacidad que tiene para retener el agua tanto propia como añadida cuando se le somete a un tratamiento o fuerza exterior tal como corte, centrifugación o gravedad.

La C.R.A. del tejido muscular, tiene efecto directo durante el almacenamiento sobre las pérdidas presentadas. Así, cuando un tejido tiene una C.R.A. baja, las pérdidas de humedad y por lo tanto de peso son considerablemente altas (dependiendo de la drasticidad de la disminución en la C.R.A.). Generalmente la pérdida de humedad tiene lugar en la superficie muscular de la canal expuesta al ambiente de la cava durante el almacenamiento, por lo tanto deben manejarse y controlarse las condiciones de almacenamiento (humedad relativa, velocidad del aire, posición de los difusores, ubicación de las canales, entre otros).

La capacidad de las proteínas para inmovilizar agua es por si misma, una de las propiedades más importantes en la mayoría de las aplicaciones alimenticias. La naturaleza de las interacciones proteína-agua y proteína-proteína es críticamente importante para saber si una proteína funcionará en un sistema alimenticio como una dispersión coloidal o como un precipitado insoluble.

En esta propiedad funcional, las proteínas juegan un papel primordial. El estudio de la C.R.A no solo da información sobre este parámetro, sino que también indica alteraciones en las proteínas musculares. Los cambios en la C.R.A son un indicador muy sensible a los cambios en la carga y estructura de las proteínas miofibrilares. Se considera que la miosina y la actina, y en menor proporción la tropomiosina son las principales responsables de la C.R.A del músculo.

Son muchos los autores que han tratado de determinar detalles del mecanismo de la interacción proteína-agua y del número de moléculas de agua unidas a cada molécula de proteína. Con el fin de predecir las propiedades de captación de agua de una proteína,

deben conocerse las propiedades de captación de cada sitio. Al respecto, Chou y Morr (1979) afirman que cada grupo polar de una molécula de proteína capta una molécula de agua con excepción de los grupos de la glutamina y la asparagina.

Las proteínas están rodeadas de capas de agua a manera de un caparazón. Este es el agua más íntimamente ligada a las moléculas de proteína y consta de pocas moléculas (menos de 100) de agua por molécula de proteína, que están fuertemente ligadas en zonas hidrofílicas específicas. Más externamente, existen varias capas de agua, compuestas de 10^2 - 10^5 moléculas, ligadas más débilmente. Tanto estas capas como las anteriores, constituyen el agua no congelable. Además rodeando estas capas, existen varias más (Borderías y Montero, 1988).

El agua presente en la carne puede considerarse agregada en formas diferentes, de acuerdo con la fortaleza con que se encuentre unida al músculo. Según esta consideración, del 4 al 5% del agua total se halla unida directamente a los grupos hidrófilos de las proteínas miofibrilares. Este tipo de unión química es fuerte, de tal manera que el agua perteneciente a este grupo sufre muy poca alteración de tipo físico o químico al producirse algún cambio en la carne, aún de la modificación de la capacidad de retención de agua de la misma, por cambios en la carga eléctrica de la proteína. Un segundo tipo comprende el agua que está presente en el músculo, atrapada debido a la configuración geométrica de las proteínas miofibrilares, sin estar unida a ellas, la cual se conoce como agua inmovilizada. La tercera forma es la llamada agua libre o suelta, que resulta expulsada al comprimir levemente el músculo, y en cuya unión participan escasamente fuerzas de *Wan der Walls*.

Según Borderías y Montero (1988) es posible determinar teóricamente el agua ligada a una proteína si se tiene en cuenta que, seis moléculas de agua están ligadas con cada grupo polar amino y se resta un valor de siete por cada cadena lateral amida.

El punto isoelectrico de las proteínas miofibrilares se alcanza a un pH de 5.0. En este punto existe un máximo de enlaces iónicos entre las proteínas, por lo que la matriz proteica está contraída. El mínimo valor de la capacidad de retención de agua es consecuencia de la pérdida de atracción eléctrica de los dipolos o de las moléculas de agua y de la falta de espacio entre las proteínas miofibrilares. Al elevar el pH aumentan las cargas negativas, las moléculas de proteína se repelen entre sí y la matriz proteica se ensancha. Al mismo tiempo se incrementa la fuerza de atracción eléctrica de los dipolos de agua, lo cual ocasiona una elevación de la capacidad de retención de agua. Un efecto análogo sucede en el lado ácido cuando se incrementan las cargas eléctricas positivas.

La sal, que permite el hinchamiento de la proteína cárnica y que en parte provoca la solubilización de la misma, mejora la capacidad de retención de agua por el hinchamiento de las partículas de la carne. El efecto de las sales es un ejemplo típico

de la influencia de la carga eléctrica de las proteínas en la capacidad de retención de agua de la carne. A valores de pH por encima del punto isoeléctrico, el cloruro de sodio a baja concentración, incrementa notablemente la capacidad de retención de agua, mientras que a valores de concentración alta sucede lo contrario. Honikel, (1988) afirma que los iones Cl^- , por encima del punto isoeléctrico debilitan las uniones entre los grupos de signo contrario de las cadenas proteicas y llegan a interactuar con los grupos cargados positivamente. Esto lleva consigo un aumento de la carga eléctrica negativa de las moléculas que se repelen entre sí, por lo que la estructura proteica se relaja y se aumenta la CRA. A valores de pH por debajo del punto isoeléctrico, los iones Cl^- neutralizan las cargas positivas de las proteínas de manera que, al disminuir la repulsión entre ellas, se produce una contracción de la estructura proteica que origina una pérdida de la CRA. Esta es la razón por la cual la sal puede ser usada para deshidratar una carne, como es el caso de productos secos, semisecos madurados (de humedad intermedia) o en productos emulsificados para mejorar C.R.A. y facilitar el proceso de emulsificación mediante la solubilización de las proteínas.

Los fosfatos por su parte incrementan notablemente la C.R.A de la carne. Este efecto se ha fundamentado en diversos factores, entre ellos, la variación del pH, la fuerza iónica, la capacidad secuestrante y su interacción con las proteínas. Además, los fosfatos pueden tener comportamiento diferente si se encuentran solos en la carne o en presencia de cloruro de sodio. Actualmente se admite que el efecto de los fosfatos está basado, más que todo, en su interacción con las proteínas miofibrilares.

La adición de monofosfatos y polifosfatos a la carne con bajos valores de pH, produce un cambio del punto isoeléctrico de las proteínas miofibrilares, análogo al observado cuando se incorpora NaCl , lo cual quiere decir que los fosfatos reducen la CRA de la carne en un intervalo de pH ácido por debajo del punto isoeléctrico. Este fenómeno parece indicar que, como en el caso del NaCl , los aniones fosfatos interaccionan con la proteína miofibrilar en los mismos lados que los filamentos de miosina se unen con los de actina. De acuerdo con estos razonamientos, es posible que el incremento de la CRA producido por los fosfatos incorporados al músculo, en la fase de rigor y posrigor, sea debido a la disociación del complejo actomiosina que origina una relajación de la matriz proteica. Parece ser también, que los fosfatos solubilizan las proteínas miofibrilares, las cuales, al salir de la matriz proteica, incrementan notablemente su CRA (Flores y Bermell, 1984).

Estos mismos autores coinciden al reportar que dado que la C.R.A. se facilita por los puentes de Hidrógeno que se forman entre grupos polares no ionizables y el agua, todo factor disociante de los puentes iónicos o intercadena, la incrementa (como sucede con los polifosfatos que captan iones Ca^{++} responsables de los puentes iónicos intercadena)

Huidobro y Tejada (1993) afirman que las proteínas en las fibras musculares hinchadas y la miosina solubilizada tienen una gran habilidad de retener agua porque, los sitios

reactivos de las proteínas están expuestos al solvente, en lugar de ser usados para las interacciones proteína-proteína. La miosina contiene 38% de aminoácidos polares con un gran contenido de ácido aspártico y glutámico, los cuales pueden atar de 6 a 7 moléculas de agua cada uno. El salado adicional incrementa la C.R.A de la miosina por aumento de la carga neta negativa efectiva y del vínculo iónico, lo que propicia una hinchazón molecular y el agarre del agua. La aparición del rigor mortis desmejora la C.R.A de los homogeneizados salados, usados para la elaboración de productos cárnicos. Es evidente que la formación del complejo de actomiosina es el proceso fundamental para la C.R.A de los pastones cárnicos; una vez aparecido el enlace entre los filamentos de actina y miosina, la magnitud de este acortamiento (grado de acortamiento muscular) no desempeña ningún papel.

La sal que actúa sobre el hinchamiento de los filamentos musculares puede mantener su acción solo cuando no existen puentes de actomiosina duraderos. El número de puentes no tiene importancia para esto.

Los cambios conformacionales de la molécula de proteína pueden afectar la naturaleza y la disponibilidad de los sitios de hidratación y, por lo tanto, las características termodinámicas de las reacciones de captación de agua.

Chou y Morr (1979) anotan que una configuración expandida de las proteínas permite disponer de un mayor espacio miofibrilar en el cual el agua puede ser atrapada. Esta condición favorable para la retención de agua es lograda cuando las proteínas tienen un exceso de cargas positivas o negativas.

La temperatura es otro factor importante en todas las clases de reacciones, incluyendo las interacciones proteína-agua. Al mismo valor de actividad de agua (a_w), la proteína usualmente capta menos agua a alta temperatura que a baja. Pero con los cambios de temperatura, la conformación de la proteína puede alterarse. Aproximadamente a 40 EC la proteína cárnica comienza a coagularse por desnaturalización, formando una malla estable, que retiene las partículas de grasa que se han agregado y eleva la capacidad de retención de agua de las proteínas cárnicas. Este hecho posiblemente anula el efecto de la temperatura en la interacción agua-proteína.

Pearson (1994) afirma que de la capacidad de retención de agua de la carne dependen en buena parte muchas de las propiedades físicas de la misma, incluyendo el color, la textura y la firmeza de la carne cruda, así como, la jugosidad y blandura en productos cocidos. Además, la capacidad de retención de agua es especialmente crítica, en los ingredientes cárnicos de aquellos productos manufacturados que se someten a calentamiento, molido u otros procesos en los cuales se ha destruido la integridad de la fibra muscular y, por lo tanto, no existe una retención física del agua libre.

La desnaturalización de las proteínas les hace perder solubilidad, capacidad de retención de agua e intensidad en el pigmento muscular, cambios todos que son perjudiciales tanto si el músculo se emplea como carne fresca, como si se destina a procesos ulteriores. Como materia prima para productos cárnicos emulsificados se afecta altamente la jugosidad, textura y en general las características sensoriales del producto final; sin embargo, en la etapa del tratamiento térmico del producto, se produce una desnaturalización proteica que es la que le da al producto final la firmeza y las características determinadas de mordida y textura (la proteína se coagula y “*atrapa*” la grasa y el agua en una especie de matriz).

Se ha observado que la capacidad de retención de agua de la carne, de diferentes especies, varía considerablemente. En general la carne de cerdo tiene mayor capacidad de retención de agua que la carne de vacuno; la de ésta es igual a la de caballo y la de las aves, menor que las anteriores. Arango y Restrepo (1996) reportan valores de capacidad de retención de agua de carne de especies de uso no tradicional en nuestro medio (codorniz, tiburón, caballo) muy cercanos a los de la materia prima cárnica tradicional, que resultan interesantes para industrializar este tipo de carnes.

Todos los procesos tecnológicos de fabricación de productos cárnicos están influenciados por la capacidad de retención de agua de la carne. Mientras que en los productos cárnicos madurados interesa que la carne tenga baja capacidad de retención de agua y permita la operación de secado, lo contrario ocurre en los productos cárnicos cocidos con base en pastas finas, ya que son productos que deben ofrecerse al consumidor, jugosos y succulentos.

Las proteínas miofibrilares son las principales responsables (del orden del 75 %) de la retención de agua por la carne, y de que no se separe durante las operaciones de corte y/o picado. En general, se considera que el 70% del contenido de agua está ubicado en los espacios existentes entre los filamentos gruesos y delgados de la miofibrilla. Del resto, el 20% se encuentra en el sarcoplasma y el 10% en el tejido conjuntivo y espacios extracelulares.

El músculo, inmediatamente después del sacrificio, posee una elevada CRA, la cual disminuye progresivamente hasta alcanzar un mínimo, cuando se establece la rigidez cadavérica. Posteriormente, durante el almacenamiento de la carne, se produce el fenómeno denominado maduración, en el que la CRA experimenta un moderado incremento. Lo anterior puede explicarse si se tiene en cuenta que en el músculo prerrigor, la matriz proteica miofibrilar se encuentra extendida y los filamentos de actina y miosina se deslizan libremente entre sí, gracias a la presencia de adenosín trifosfato (ATP). En este momento, al ser la carga eléctrica de las proteínas elevada y la longitud del sarcómero grande, el músculo posee una notable CRA. Durante los cambios químicos posmortem, se produce un descenso del pH debido a la formación de ácido láctico, cuyos valores se aproximan al del punto isoeléctrico de las proteínas

miofibrilares; además se inicia la degradación del ATP., lo que conduce a una pérdida de extensibilidad muscular por la formación del complejo actomiosina, con el consecuente acortamiento del sarcómero (disminución del espacio físico). Estos fenómenos alcanzan su máximo cuando se establece la rigidez cadavérica y coinciden con el mínimo de la C.R.A de la carne.

La mayoría de los autores coinciden al afirmar que la magnitud de las modificaciones que experimenta el músculo en el período posmortem, tiene un efecto importante sobre la C.R.A de la carne; así, cuando las reservas de glucógeno se han agotado en el músculo antemortem, por agotamiento físico del animal, la carne mantiene un pH elevado, del orden de 6.5 y es de color oscuro, textura firme, apariencia seca-untuosa y de conservabilidad reducida debido a su elevada C.R.A. En la terminología inglesa estas carnes se definen como *Dark, Firm, Dry* (D.F. D.). En cambio, cuando las reservas de glucógeno se degradan aceleradamente después del sacrificio, se produce un descenso brusco del pH (hasta valores del orden de 5,1 a 5,3, en un tiempo de una hora aproximadamente) que puede ocasionar una desnaturalización parcial de las proteínas miofibrilares con la consiguiente pérdida de su C.R.A. En este caso, la carne tiene un color pálido, textura blanda, exudación intensa y pobre aroma. En la terminología inglesa se define como *Pale, Soft, Exudative* (P. S. E.). Entre estas dos pautas de comportamiento extremas, existe toda una gama de velocidad de descenso del pH que determina valores de C.R.A intermedios. La carne es normal cuando se caracteriza por una reducción normal y completa de pH, que afecta moderadamente las proteínas miofibrilares.

Las carnes PSE y DFD tienen aptitud diferente para la elaboración de productos cárnicos. La carne PSE no resulta apropiada por su escasa capacidad de retención de agua para la elaboración de embutidos escaldados, como jamón cocido (separación de gran cantidad de gelatina) y jamón crudo (elevadas pérdidas por secado, color pálido y escaso aroma), mientras que la carne DFD, que presenta una buena capacidad de retención de agua, no es aconsejable para jamón crudo (especialmente peligroso en el caso de jamones con hueso), debido a su fácil alteración (elevado pH).

Florez y Bernell (1984) concluyen que en los productos cárnicos curados, como chorizos, jamones, etc., interesa que la carne tenga baja capacidad de retención de agua que permita la operación de secado. En los productos cárnicos cocidos a base de pastas finas, como mortadelas y salchichas, se busca que la materia prima tenga alta capacidad de retención de agua, ya que este tipo de productos son jugosos y de textura suave.

El pH de la carne, que en el momento de la faena se encuentra en 7.2 y desciende en las horas posteriores a valores por debajo de 5.8, influye fundamentalmente sobre la capacidad de fijación de agua de la actomiosina. En la fabricación de productos cárnicos cocidos, las fibras musculares pueden quedar intactas, es decir, como un sistema de captación de agua limitado por la membrana celular o sarcolema, como es el caso del

jamón cocido, o bien pueden quedar como un sistema miofibrilar desintegrado a causa de la destrucción del sarcolema, con lo que se libera el complejo de actomiosina (caso de las pastas finas); en este último caso, la acción de los aniones cloruros y fosfatos provoca un aumento adicional de la C.R.A de la carne. Situación favorable cuando se trata de productos emulsificados, en razón de sus características sensoriales.

La fijación de agua se encuentra en el nivel más bajo a un pH de 5.0 a 5.2 (punto isoelectrico de la actomiosina). La escasa fijación de agua y grasa de parte de la carne fría, se debe más que a la pérdida de ATP, al descenso del pH.

En la transformación de carne vacuna a productos cárnicos, la C.R.A no solo depende del pH de la carne, sino, sobre todo, de la aparición del rigor mortis. Las propiedades de hidratación constituyen, entre las propiedades funcionales, un grupo de gran importancia desde el punto de vista tecnológico. Estas propiedades dependen fundamentalmente de la interacción agua-proteína, y también están determinadas por variables tales como la naturaleza de la proteína o las condiciones físico-químicas del medio.

La C.R.A. influye, en el aspecto de la carne antes de la cocción y en la sensación de jugosidad durante la masticación. Por eso es importante conocer las características de una carne en cuanto a su C.R.A. para darle un uso adecuado ya sea en elaboración de productos emulsificados (jugosos) o productos secos o semisecos, productos de pasta gruesa, entre otros.

Capacidad Emulsificante: Ligazón y Textura: Los productos cárnicos se clasifican según su grado de picado como se observa en la Tabla 2.5. Los finamente picados son denominados también productos cárnicos emulsificados, por las características de la pasta o pastón cárnico que se forma en su elaboración, donde se hace indispensable que las proteínas estén disponibles y puedan ejercer su capacidad de emulsificar la grasa adicionada. Se define la capacidad emulsificante como los mililitros de grasa (aceite) emulsificados por unidad de peso de carne, o como los mililitros de grasa emulsificados por unidad de peso de las proteínas solubles en sal. Para un sistema de carne, la emulsión es referida a una emulsión aceite en agua, donde el agua es la fase continua y la grasa la fase dispersa.

En estos diferentes tipos de productos, la matriz que se forma con la proteína cárnica difiere de acuerdo al tipo de proceso y determina las características de textura y “mordida” del producto final. En los productos finamente picados, tipo emulsión, la estabilidad esta influenciada por la capacidad de retención de agua de la carne; los niveles de carne, grasa, sal y aditivos de la formulación y los tratamientos mecánico y térmico. En general es reconocida la importancia y la gran influencia de la funcionalidad de las proteínas solubles en soluciones salinas concentradas como determinante de las características físicas, químicas y sensoriales de carnes procesadas.

Tabla 2.5. Clasificación de los Productos Cárnicos de acuerdo a su Grado de Picado.

Grado de Picado o Molido	Productos Cárnicos
Ninguno	jamones (cocidos, ahumados y secos), tocineta, lomos cocidos, etc.
Muy Poco	jamones prensados
Picado grueso (burdo)	salchichas semisecas (salami, cervelat), albóndigas, nuggets, hamburguesas, etc.
Picado Fino	salchichas, salchichones, mortadelas, patés, etc.

La adsorción de las proteínas en las interfaces líquidas y los cambios conformacionales siguientes a la adsorción, juegan un papel crítico en la formación y estabilidad de muchas emulsiones alimenticias. Un estudio de las propiedades de actividad superficial de las proteínas musculares por O'Neill *et al.* (1990) ha mostrado a la miosina como la más efectiva y rápida depresora de la tensión superficial seguida de la actomiosina, la F-actina y la G-actina.

Como en cualquier emulsión, las fuerzas de tensión tratan de separar las dos fases cuando se prepara este tipo de productos. Estas fuerzas tienen que ser superadas con el fin de estabilizar el sistema. Para las emulsiones de carne, las proteínas solubles en sal, actina y miosina, actúan como agente emulsificante. La estabilidad de las emulsiones se mejora con el empleo de emulgentes; los productos cárnicos elaborados en forma de pasta fina se consideran emulsiones del tipo aceite en agua, en las que las proteínas, principalmente las miofibrilares, actúan como agentes emulgentes.

En una emulsión se pueden producir una serie de fenómenos que la modifican o incluso la destruyen, como son: (1) el desplazamiento de los microglóbulos de la fase discontinua, bien hacia la superficie, o bien hacia el fondo, según su densidad; (2) la floculación por aglomeración de partículas; (3) la coalescencia por unión o fusión de partículas que aumentan de tamaño y disminuyen en número, y (4) cambio de emulsión o inversión de fase por pasar del tipo aceite en agua al tipo agua en aceite, o viceversa. Todos estos fenómenos van en contra del rendimiento y eficiencia del proceso y de la calidad del producto final.

Generalmente, a nivel industrial la carne que se utiliza en las emulsiones cárnicas se encuentra en estado posrigor, en el cual las proteínas miosina y actina, se encuentran formando el complejo actomiosina; existen plantas que trabajan con carne deshuesada en caliente (prerigor) molida y salada inmediatamente. A este respecto muchos autores consideran que la utilización de carne caliente, en estado de prerigor, es aconsejable para la producción de emulsiones cárnicas. La carne prerigor, tiene mayor capacidad de retención de agua y mejores propiedades emulsionantes que la carne en estado de

rigor y posrigor. No obstante, el músculo prerrigor se encuentra en un estado altamente inestable, porque su metabolismo continúa y origina la contracción de las fibras musculares y el establecimiento del rigor, con la consiguiente pérdida de la CRA y de las propiedades emulsionantes de las proteínas miofibrilares. Estas pérdidas de propiedades funcionales pueden ser retrasadas por varios días, si el músculo prerrigor se tritura y se mezcla con sal o, por varios meses si se congela rápidamente con o sin sal, e incluso por varios años si se liofiliza la carne triturada y salada en estado prerrigor. En la actualidad, es de uso frecuente en la industria, presalar las carnes molidas (prerrigor o posrigor) y así comenzar el proceso de extracción de proteína.

El aumento de la fuerza iónica favorece la solubilización de las proteínas, lo que incrementa el poder emulsificante. En realidad existe una relación crítica entre el pH y la fuerza iónica en la formación de la emulsión, ya que los iones mejoran la capacidad de emulsión debido a que favorecen el desdoblamiento de las moléculas, incrementándose de este modo el área efectiva como membrana interfásica. La influencia del pH se debe, entre otras causas, a que cerca del punto isoelectrico de las proteínas miofibrilares, la solubilidad desciende notablemente, por lo que disminuye la aptitud para la formación de emulsiones. Además, como la carga eléctrica de las proteínas en este estado es igual a cero, no pueden contribuir a la estabilidad electrostática de las partículas. Por otra parte en el punto isoelectrico, la proteína se repliega y no tiene la suficiente elasticidad para favorecer la emulsión.

El colágeno, proteína del tejido conectivo, contribuye a ligar agua en emulsiones para embutidos. Sin embargo, durante el tratamiento térmico, el colágeno se encoge y gelatiniza parcialmente. El colágeno gelatinizado tiene buena capacidad para ligar agua, pero le falta poder para emulsificar grasas, por lo que, el nivel de colágeno va en detrimento de la capacidad emulsificante de cualquier tipo de carne, además es de tener en cuenta que el gel que forma este tipo de proteína, es reversible al calor y produce defectos y bajos rendimientos en productos cocidos y del tipo “emulsión”. De hecho este tipo de proteína se usa en la elaboración de productos cárnicos emulsificados para disminuir costos, pero es necesario incorporarla en forma de preemulsión (en combinación con proteína vegetal y agua básicamente) para evitar defectos en el producto final.

La capacidad emulsificante de las proteínas está determinada no solo por su origen, sino por las condiciones del procesamiento durante la producción, así como, por la presencia de otros componentes. Además, el grado de desnaturalización de las proteínas causado por el procesamiento, tiene impacto en la mayoría de las características funcionales de las mismas. La disponibilidad de la proteína como agente emulsificante depende de factores como pH, intensidad iónica y temperatura, entre otros.

Tanto las proteínas solubles en sal como las solubles en fase acuosa, son las principales responsables de la capacidad emulsificadora de una carne. Durante la preparación de las

emulsiones cárnicas, las proteínas solubles en medios acuosos y en soluciones salinas forman una matriz que encapsula los glóbulos de grasa.

El mecanismo de emulsificación de la proteína está fundamentado en el doble carácter de éstas, ya que poseen regiones hidrofílicas e hidrofóbicas según su composición de aminoácidos. En el momento en que en un sistema de dos sustancias inmiscibles (agua y aceite, por ejemplo) se obtiene una emulsión de aceite (fase dispersa) en agua (fase continua); las moléculas de proteína en la interfase se despliegan y en consecuencia la región hidrofóbica se asocia con la fase aceite, quedando a la vez la región hidrofílica asociada a la fase acuosa.

La emulsificación de las grasas por las proteínas cárnicas está determinada por el hecho de que las proteínas contienen grupos eléctricamente neutros, que por su carácter lipófilo se orientan hacia las moléculas de grasa, y grupos cargados negativamente o hidrófilos que tienen afinidad por las moléculas de agua. Cuando se forma la emulsión, la grasa se encuentra dispersa en pequeñas gotas que se rodean de una película proteica cuyos grupos negativos se orientan hacia la fase exterior o continua, repeliéndose unos a otros y proporcionando estabilidad a la emulsión.

La mayoría de los autores indican que las proteínas miofibrilares, frecuentemente reconocidas como la fracción soluble en soluciones salinas concentradas, tienen mayor capacidad para emulsionar grasa que las proteínas sarcoplásmicas o fracción soluble en agua o soluciones salinas diluidas. Este hecho lo explica Lefevre, (1979) citado por Flores y Bermell, (1985) por la forma de sus moléculas, que son bastante alargadas y con una superficie disponible para rodear las gotas de grasa, 50 veces superior al resto de las proteínas

Flores y Bermell (1985) han estudiado la capacidad de emulsión de actina, miosina y actomiosina y proteínas sarcoplásmicas, bajo distintas condiciones, encontrando una capacidad de emulsión decreciente en este orden: actina en ausencia de sal, miosina, actomiosina, proteínas sarcoplásmicas y actina en presencia de una solución 0.3 M de NaCl.

La calidad, la concentración de proteína y la relación proteína-grasa son factores que afectan la capacidad y estabilidad de las emulsiones. Las proteínas solubles, principalmente las miofibrilares, forman una película alrededor de los glóbulos de grasa, de manera que, cuando se someten al tratamiento térmico de cocción, coagulan y producen una red o malla proteica, muy consistente, que retiene la grasa y el agua. En cambio, las proteínas insolubles, del estroma, influyen negativamente en la estabilidad de la emulsión debido a que con el tratamiento térmico se contraen y posteriormente se transforman en gelatina, dejando a las gotas de grasa libres y originando roturas de emulsión o depósitos de grasa; debido a esto es necesario conocer y controlar el material cárnico que se va a usar en cada tipo de producto para evitar defectos en el producto final y pérdidas

excesivas en el proceso.

El NaCl facilita la solubilización de las proteínas miofibrilares y consecuentemente, aumenta la capacidad de emulsión. La solubilidad de las proteínas es uno de los factores más importantes para que se desarrolle todo el potencial de la capacidad emulsificante de una proteína.

Whiting (1988) afirma que la miosina (actomiosina en estado posrigor) es la proteína muscular responsable de la mayoría de las propiedades texturales de los productos cárnicos. La miosina existe en un estado agregado y altamente ordenado en vivo. Una fuerza iónica de aproximadamente 0.6 es necesaria para hinchar, hidratar, extraer y solubilizar la actina o la actomiosina.

Cuando se elaboran productos de pasta fina (emulsificados), el picado destruye la estructura celular. La actomiosina es probablemente mejor representada como un sol; las proteínas sarcoplasmáticas están en solución y las del tejido conectivo, en suspensión; las partículas grasas por debajo de 200 μ están suspendidas en la matriz agua - proteína. Aunque la miosina/actomiosina puedan emulsionar aceite en un sistema modelo, el término "emulsión cárnica" está siendo reemplazado por "pastón o mezcla cárnica" para indicar la naturaleza más compleja del sistema y hacer énfasis en la conducta de gelación y coagulación por calor de las proteínas cárnicas.

En el proceso de elaboración de productos cárnicos emulsificados Whiting (1988) concluye que la capa de proteína que rodea la grasa debe ser lo suficientemente fuerte para retener la grasa y, al mismo tiempo, muy flexible para resistir la licuefacción y expansión de la grasa durante el cocinado, el cual causa desnaturalización proteica y formación de una red tridimensional estabilizada por hidrofobicidad y enlaces Hidrógeno.

Una hipótesis establecida por Acton y Dick (1986), para la formación de la red supone la agregación de la región globular de la cabeza de miosina a 30EC a 50 EC, seguida por la formación de una unión en cruz del gel por la sección de la cola a temperatura alrededor de 50 EC. El éxito en los productos emulsificados está en el balance de las interacciones de proteína. Bajas extracciones de miosina o de interacciones proteína-proteína resultan en excesiva exudación y texturas blandas; mucha interacción puede resultar en agregaciones de la proteína y ruptura de la "emulsión". La "emulsión" y el gel pueden contener la grasa y el agua, y mantener la textura elástica a través de varios ciclos de transiciones de grasa sólida-líquida durante la cocción en el horno, durante el almacenamiento, congelado y preparación culinaria

Para la estabilidad del pastón cárnico (productos "emulsificados"), se requiere adicionar cantidades mínimas de agua (10% aproximadamente) para la extracción eficiente de la miosina. Un incremento en la concentración de las proteínas cárnicas aumentan la

firmeza de los productos, pero un exceso, produce textura cauchosa y reseca (Whiting, 1988).

Cuando se elabora otro tipo de productos picados, diferentes a los de pasta fina, también se deben tener en cuenta las propiedades funcionales. En mezclas crudas se fundamenta la funcionalidad en la retención de agua, retención de grasa y emulsificación pero en condiciones diferentes. El picado físico transforma el tejido muscular por daño del sarcolema, el endomisio y la integridad de las fibras musculares, lo que unido a una fuerza iónica alta (sobre 0.6) causa hinchazón de las fibras musculares, despolimerización y solubilización de la miosina y extracción de las miofibrillas desde las fibras musculares. Las proteínas en las fibras hinchadas y la miosina solubilizada tienen gran habilidad para emulsificar grasas. Las fibras musculares hinchadas y la miosina solubilizada incrementan la solubilidad de la matriz continua de proteína, la cual estabiliza las dispersiones de grasa en mezclas crudas.

Teniendo en cuenta lo anterior, se puede afirmar que la emulsificación no solo es importante en productos emulsificados, sino también en la estabilización de la grasa en mezclas crudas. Varios autores han sugerido que, por la teoría clásica de la emulsificación, membranas proteicas se depositan alrededor de los glóbulos de grasa estabilizando la mezcla cárnica. En este proceso es la miosina la que tiene una mayor participación, sin dejar de lado el importante papel que pueden desempeñar las proteínas insolubles en soluciones salinas concentradas en la formación de la emulsión y las diferentes proteínas agregadas (proteína vegetal p.e.).

Las propiedades físico-químicas de la miosina que le permiten funcionar como emulsificador, se basan en una región hidrofóbica que se orienta hacia los glóbulos de grasa, una región hidrofílica que se orienta hacia la matriz continua, y una notable flexibilidad molecular para desdoblarse a la interfase y bajar la tensión superficial. La estabilidad de la emulsión es mantenida por repulsión electrostática entre las moléculas de miosina cargadas negativamente. Varios autores reportan altas correlaciones entre las propiedades emulsificantes de las proteínas cárnica solubles en sal y las propiedades físico-químicas de hidrofobicidad de superficie, contenido de grupos sulfhidrilo y solubilidad de la proteína.

Otras hipótesis sugieren que la capa proteica de las partículas sólidas de grasa durante el picado, se debe solo a una dispersión de grasas por toda la fase continua, sin formación de una verdadera emulsión.

En productos emulsificados el papel emulsificador de las proteínas puede llegar a ser más importante en la medida que las células de grasa son destruidas, se forman cápsulas de diversos tamaños y la grasa se funde, durante los procesos de elaboración y cocción.

Smith (1988) concluye que la inestabilidad observada en mezclas crudas sometidas a excesos de picado ocurre porque la proteína disponible es insuficiente para cubrir completamente la gran área superficial de los numerosos y pequeños glóbulos de grasa formados. Otros autores han sugerido que excesos de picado pueden desestabilizar una mezcla cruda por desnaturalización de la miosina debida al calor y a la ruptura, por destrucción de la matriz proteica debido a la dispersión muy fina de grasa, y a la licuación de esta, la cual queda "suelta" por la fase continua.

Las variaciones en las propiedades funcionales asociadas a las proteínas solubles en sal, pueden ser debidas a diferencias cualitativas o cuantitativas en las proteínas.

El factor de mayor importancia en la preparación de emulsiones estables es la extracción eficiente de las proteínas, debido a que después del rigor se presenta mínima solubilidad de la actomiosina por el pH bajo (5.3-5.7). Por ello se recomienda aprovechar las ventajas del prerrigor para aumentar la eficiencia en la extracción de la proteína:

- C preparar la emulsión con carne en prerrigor,
- C congelar la carne en prerrigor y desintegrarla en la cortadora en estado congelado al momento de hacer la emulsión o la premezcla,
- C añadir sal a la carne en posrigor, curar y mantenerla a baja temperatura (4-8EC) varias horas antes de preparar la emulsión. Cualquiera de estos procedimientos aumenta la extracción de las proteínas miofibrilares hasta 50%

Valor de Ligazón:

Asociado a la capacidad emulsificante de la proteína se define el término valor de ligazón de la carne, el cual se constituye en una verdadera y práctica característica de calidad industrial de la carne. Este valor está asociado a la cantidad porcentual de proteína funcional disponible para la estabilización de la grasa (Restrepo, 1998).

Desde este punto de vista, el valor de ligazón es interpretado como el índice que permite extrapolar la condición de capacidad emulsificante de las proteínas a lo que sería la capacidad emulsificante de la carne participando en un sistema complejo. Esta propiedad depende, como otras de la carne, de la cantidad de proteína miofibrilar que se pueda extraer y que permanezca en el sistema, sin desnaturalizarse.

Esta propiedad tiene un carácter netamente industrial, el cual, si bien es cierto depende en gran medida de la condiciones de la carne, también depende del tratamiento al que ella es sometida. Cuando se tiene un sistema continuo de producción, en el cual el *cutter* es reemplazado por un emulsificador, posterior a un mezclador, el tamaño de partícula logrado compensa y supera el trabajo mecánico realizado sobre la carne en el *cutter* (Waters, 1998). Generalmente se reportan mejores condiciones económicas de formulación para productos emulsificados elaborados en una línea continua de fabricación que en una discontinua, aunque con la misma generalidad se señalan

aspectos deficientes en la textura (Hanson, 1998). Cuando dentro de las operaciones de producción se considera la operación de presalado, los rendimientos, tanto en términos de capacidad de retención de humedad como de cantidad de grasa añadida a la fórmula son mayores en ambos procesos.

En la Tabla 2.7 se observan los valores de ligazón de diversos cortes cárnicos.

La energía mecánica derivada del proceso de picado (*cutter* o emulsificador) eleva la temperatura de la pasta a unos 16EC a 18EC, propiciando la formación de una emulsión estable. La grasa de cerdo contiene una cantidad mayor de ácidos grasos no saturados que la grasa de vacuno; por tanto el punto de fusión de aquella es menor que el de esta. Una pasta formulada predominantemente con grasa de cerdo debería picarse y emulsionarse hasta alcanzar una temperatura de 17EC a 18EC (Olson, 1997)

Tabla 2.7. Valor de ligazón (%) de algunos cortes de bovino y porcino

Especie	Corte	Valor de ligazón (% de aceite emulsificado)
Bovino	Cuello	85
	Músculos maseteros	80
	Falda	50
	Lagartos	80
	Corazón	30
Cerdo	Grasa dorsal	10
	Papada	35
	Músculos maseteros	75
	Recortes 20% grasa	80

Restrepo (1998) afirma que a diferencia del valor de capacidad emulsificante, el valor de ligazón puede ser directamente involucrado en las restricciones a considerar, cuando se pretende formular un producto cárnico emulsificado. Su incorporación debe incluirse en el sentido de involucrarla en la restricción que, de acuerdo a las condiciones de procesamiento, permiten “garantizar” que el producto no se ha de “cortar” (término que equivale a la pérdida de estabilidad de la emulsión) durante su procesamiento, o lo que es lo mismo, mantenerse estable hasta que la proteína miofibrilar coagule. Esta restricción es la que se conoce como Balance de Grasa, y su expresión matemática, tiene la forma:

Balance de grasa:

$$\sum_{i=1}^n m_i (Vl_i \% g_i) > 0$$

Donde Vl_i es el valor de ligazón del material i y, $\% g_i$ es el porcentaje de grasa del material i .

Término a término esta expresión representa la cantidad excedente que por material puede ser emulsificado en la fórmula, y en conjunto representa, la cantidad máxima de grasa que puede adicionarse a los materiales componentes de la fórmula sin que esta se desestabilice (Restrepo, 1998).

Al calentarse el colágeno se comporta al contrario que las proteínas miofibrilares, es decir, se suaviza y puede convertirse en un fluido. En consecuencia el colágeno no tiene ningún valor de ligazón y no tiene capacidad de emulsionar grasa. Si el contenido de colágeno en una fórmula es muy elevado, pueden sucederse desprendimiento o acumulaciones internas de gelatina que se originan durante la cocción, por migración de colágeno fluido. Las carnes que contienen demasiado colágeno y que por tanto exhiben un bajo valor de ligazón, no forman emulsiones estables y pueden resultar en desprendimientos de grasa y gelatina (Olson, 1997).

Desde el punto de vista práctico, deben tenerse en cuenta los siguientes factores que afectan la formación y la estabilidad de la emulsión:

- C Temperatura de la emulsión: Si es muy alta se da desnaturalización de la proteínas solubles, disminuye la viscosidad y se funden las partículas de grasa. La temperatura máxima permisible depende del equipo que se va a utilizar para la emulsión. En molinos emulsionantes de gran velocidad, la temperatura puede subir hasta 25EC sin que se ejerza un efecto destructor sobre la estabilidad (Waters, 1997).
- C Tamaño de las partículas de grasa: A medida que disminuye el tamaño de las partículas de grasa, se incrementa su área superficial y, por tanto, aumenta la cantidad de proteína solubilizada necesaria para formar emulsiones estables. En casos extremos se puede correr el riesgo de que la proteína no sea suficiente, por lo que el industrial debe conocer muy bien la capacidad emulsificante de cada carne o aditivo para formular correctamente.
- C Cantidad de proteína soluble disponible: A mayor cantidad de proteína solubilizada, mayor cantidad de grasa emulsificada; además aumenta la estabilidad.
- C Estado de rigidez del músculo: Es mayor la cantidad de grasa que se puede emulsificar con la proteína extraída (solubilización) antes del rigor que con la misma cantidad después de la rigidez.
- C pH y cantidad de sal: El pH posmortem desciende a valores de 5.3 a 5.7, llegando casi el punto isoelectrico de las proteínas miofibrilares. A medida que aumenta y se

aleja de ese punto el espacio de la red proteica se hace mayor y, por tanto, aumenta la eficacia de emulsificación. Con la adición de sal aumenta la fuerza iónica (aumenta también espacio de repulsión).

Normalmente, la carne que se utiliza en las emulsiones cárnicas se encuentra en estado posrigor, en el cual las proteínas miosina y actina se encuentran formando el complejo actomiosina.

Capacidad de Gelificación: Textura y Apariencia: La capacidad de gelificación de las proteínas cárnicas es una propiedad funcional de gran importancia en la elaboración de productos cárnicos, especialmente en los productos de pasta fina (emulsificados), debido al proceso de elaboración y a las características finales esperadas en este tipo de productos: textura suave, jugosidad, succulencia entre otras. La capacidad de gelación determina la textura del producto final, entendida como una propiedad sensorial del alimento que involucra todas las características de sensación en la boca al consumir el alimento: *mordida, suavidad, jugosidad*, en general atributos difíciles de explicar objetivamente por su complejidad, ya que involucran aspectos físicos, químicos y sociológicos. Es importante tener en cuenta que estas características no están determinadas por una sola propiedad funcional, en realidad están involucradas todas las propiedades físicas, químicas y funcionales de las proteínas, que determinan los atributos de calidad industrial de una carne.

Se define un gel como un sistema semisólido de alta viscosidad, que se forma como consecuencia de la asociación de cadenas de polímeros dispersos en solución, dando lugar a una red tridimensional que inmoviliza el agua del sistema e impide su flujo cuando se aplica una fuerza externa (presión, centrifugación, etc.).

La gelificación de las proteínas inducida por calor, es un proceso de dos pasos que implica la desnaturalización parcial de las proteínas, seguida por reagregación de los enlaces de los polipéptidos para formar la red o matriz proteica, responsable de la estructura del gel. La grasa y el agua son química o físicamente atrapadas dentro de la matriz proteica. Smith (1988), reportaron una fuerte correlación entre la resistencia del gel inducido por calor y la hidrofobicidad exhibida y el contenido de grupos sulfhidrilo de las proteínas evaluadas. La microestructura del gel varía con las propiedades intrínsecas de la proteína y las condiciones medioambientales y afecta las características del producto final.

La fuerza y la estabilidad de un gel dependen de las uniones entre las moléculas proteicas, tales como puentes de Hidrógeno y enlaces disulfuro y también de sus interacciones hidrofóbicas y electrostáticas. Múltiples factores pueden afectar la gelificación, entre ellos el pH, la temperatura y diversas sales que aceleran o retardan el proceso en función de las características de sus iones.

Los contenidos de grasa y humedad afectan la resistencia al corte de carne de aves, mientras que la estabilidad del gel está determinada mayormente por el porcentaje de proteína solubilizada.

Los geles obtenidos mediante tratamiento térmico de las proteínas miofibrilares son irreversibles, manteniéndose como tales cuando se calientan, a diferencia de los geles obtenidos a partir de proteínas del estroma (colágeno) que pueden traer como consecuencia defectos y rendimientos bajos al momento de evaluar un producto cárnico. La miosina presenta mayor capacidad para formar geles frente a la actina y a las proteínas sarcoplasmáticas. Además, los geles formados de miosina son mucho más estables y firmes.

Las características del gel sugieren que la gelificación de la miosina se debe a la formación de enlaces estables, como consecuencia de cambios irreversibles en su estructura cuaternaria, cambios que son causados por el calor. Hay que destacar que durante el tratamiento térmico no disminuye el espacio intermolecular útil para contener líquido, lo cual tiene gran importancia desde el punto de vista tecnológico. Debido a la existencia de grupos capaces de interactuar con otras moléculas de miosina en la porción de cola de esta molécula, y a que el tratamiento térmico induce los cambios de conformación que son necesarios para permitir la interacción de tales grupos funcionales, se forma un número importante de enlaces que estabilizan el gel.

Solo las moléculas enteras de miosina influyen sensiblemente sobre la capacidad de gelificación del sistema. La actina no ejerce ningún efecto sobre la formación de geles, pero su presencia potencia la acción de la miosina. Al aumentar la relación miosina/actina, aumenta la rigidez de los geles obtenidos hasta alcanzar un máximo, a partir del cual se produce un descenso rápido.

En la carne, una gran proporción de las proteínas miofibrilares se encuentran formando el complejo actomiosina. Este complejo es disuelto por la acción de los fosfatos y por tratamiento mecánico (masaje o *cutter*) en los procesos de fabricación, y después en la cocción forma un gel firme que puede englobar 300 a 700 veces su peso en agua. En cambio, la actomiosina no disuelta carece de esa propiedad. En los embutidos curados la textura característica se alcanza como consecuencia de propiedades bioquímicas de las proteínas cárnicas.

La temperatura, el pH y algunas sales (NaCl y KCl) afectan el grado de unión de las proteínas, ya que modifican su estructura cuaternaria o la distribución de la carga de las moléculas de los polímeros, con lo que se altera la naturaleza y estructura del gel afectando las características del producto final.

La gelación, la retención de agua y ligazón de grasa son propiedades funcionales muy importantes de las proteínas en productos cárnicos cocidos.

De acuerdo al proceso, que afecta el tamaño de las partículas de grasa y la cantidad de proteína disponible, la microestructura de los productos cárnicos varía, al producirse la coagulación de las fibras de colágeno y las miofibrillas durante el tratamiento térmico. Las características microestructurales y reológicas del gel son altamente responsables de la apariencia, textura y rendimiento (pérdidas) durante la cocción de productos finamente picados. De otro lado, las proteínas sarcoplasmáticas y las proteínas reguladoras, troponina y tropomiosina tienen poca influencia sobre la capacidad de formación del gel por parte de la miosina cuando se ha ensayado en sistemas modelo.

Las temperaturas de transición térmica representan puntos donde los cambios conformacionales ocurren sobre la estructura proteica durante el calentamiento. Las proteínas cárnicas (carne roja) y las del músculo de pollo, sufren tres principales transiciones térmicas alrededor de 55-60°C, 65-67°C y 80-83°C dependiendo de la especie y de las condiciones de la prueba. Esas transiciones han sido atribuidas a la miosina, a las proteínas sarcoplasmáticas o colágeno y a la actina respectivamente, y han sido asociadas con cambios texturales en el producto.

Las cadenas pesadas de miosina son necesarias para obtener la máxima firmeza del gel, porque las cadenas livianas de miosina disociada son solubilizadas durante el calentamiento. Subfragmentos de miosina producen geles más débiles que las cadenas íntegras de miosina pesada, cuando se han estudiado en sistemas modelo. Algunos autores han reportado una máxima fuerza del gel en condiciones de pH de 6.0 y 0.6 M de KCl, lo que se consigue con una relación de moles de miosina libre y F-actina de 2.7:1, que corresponde a una relación de peso de 15:1.

Las temperaturas de transición de las proteínas del músculo pueden ser alteradas por factores intrínsecos y extrínsecos que tienen que ver con propiedades de solubilidad y a la formación de filamentos. Por ejemplo, la adición de más de 4% de cloruro de sodio desestabiliza la actina y la miosina de músculos de pollo, mientras que 0.25 y 0.5% de fosfatos desestabilizan la actina y aumentan la estabilidad térmica de la miosina, comparadas con mezclas control. Por eso muchos autores han resaltado la importancia de diseñar tratamientos térmicos específicos para cada producto, tratando de alcanzar el grado de desnaturalización proteica deseado para la óptima ternura, jugosidad, textura y rendimiento en productos cárnicos cocidos.

Se han evaluado ampliamente los efectos del pH, la fuerza iónica, los iones específicos, la concentración de proteína y la temperatura final de cocción. Smith (1988), desarrolló un modelo matemático generalizado para predecir los efectos combinados del pH, la concentración proteica, el tiempo de proceso y la temperatura final de cocción, sobre la fuerza del gel de miofibrillas de carne de pollo. Este método es un intento para cuantificar el efecto de las diversas variables en el proceso por medio de una ecuación que pueda ser usada en procesos de optimización. Con refinamientos adicionales, este modelo puede utilizarse para realizar cálculos de formulaciones de bajo costo por

substitución de ingredientes y modificación de procesos; lo que en la actualidad resulta sumamente práctico debido a la necesidad de la industria de producir cada vez a más bajos costos y para un mercado exigente, además se presenta la oportunidad de aprovechar materiales cárnicos no tradicionales.

El grado de desnaturalización proteica ocurrido durante el almacenamiento congelado muestra una influencia sobre las propiedades del gel de proteínas de carne de pollo, carne de res y carne de pescado. La carne que no ha sufrido procesos de maduración es considerada con mejores propiedades de gelación para la producción de productos emulsificados que la carne madurada, lo cual se atribuye al decrecimiento en la fuerza del gel causado por la proteólisis de las cadenas pesadas de miosina durante la maduración. Los cambios en la rigidez del gel durante la maduración son debidos a los cambios de la actomiosina libre.

En numerosas investigaciones se han observado diferencias en la habilidad de ligar agua y grasa y en las propiedades texturales del producto final entre carnes blancas y rojas. La miosina del músculo blanco de pollo; la actomiosina del músculo blanco de pollo y la miosina del músculo blanco de carne de res exhiben mayor fuerza del gel que las correspondientes proteínas de músculos rojos. La miosina del músculo blanco de carne de res presenta más alta capacidad de retención de agua, mayor susceptibilidad a la tripsina y mayor solubilidad a pH por debajo de 5.7, que la miosina del músculo rojo. Tales propiedades son atribuidas a la presencia de miosina isomorfa en diferentes fibras musculares. La actomiosina de pechugas de pollo tipo asadero tiene una temperatura de transición más baja que la actomiosina del muslo (músculo rojo) durante la gelificación inducida por calor. Todos estos resultados pueden explicar parcialmente las variaciones en calidad de los productos elaborados con diferentes tipos de músculos.

Las proteínas solubles en sal, de la pechuga de pavo (músculo blanco), presentan mejores propiedades de gelificación que las del muslo (músculo rojo) ya que existen diferencias en funcionalidad de las proteínas de los dos tipos de músculos.

Yasui *et al* (1979) estudiaron la gelificación de la miosina en solución de KCl y con pH de 6 y 7, a distintas temperaturas (entre 20 y 70EC) y observaron un aumento en la rigidez con la temperatura. Así para los dos valores de pH ensayados, la gelificación de la miosina comienza a 30EC y alcanza el máximo entre 60 y 70EC. Asimismo, algunos autores indican que los valores óptimos para la gelificación de la miosina, a pH 6, se obtienen a 60-70EC, en soluciones de KCl 0.6 M.

Cuando la concentración de miosina es mucho mayor que la de actina, la dependencia de la rigidez frente al pH sigue la misma pauta que la de la miosina sola, pero cuando la relación miosina/actina disminuye, los valores máximos de rigidez de los geles se obtienen para valores de pH inferiores a 6.0. En general, varios autores coinciden en afirmar que para proteínas extraídas a partir de carne normal, e incluso de carnes PSE

y DFD, la capacidad para formar geles es óptima a pH 6.0.

Respecto a la influencia de las sales (KCl, NaCl) sobre la capacidad de gelación de soluciones de miosina, la rigidez del gel alcanza valores máximos para concentraciones de KCl entre 0.1 y 0.2 M. Al aumentar la concentración de KCl hasta 0.4 M, se produce un descenso muy pronunciado en la rigidez, y no cambia si se sigue aumentando la concentración salina hasta 0.6 M.

En los productos cárnicos, el porcentaje de NaCl oscila entre 2-3%, lo que equivale a 0.47-0.68 M. Se ha comprobado que la sustitución de KCl por NaCl no introduce diferencias en cuanto a la gelificación de la miosina, por lo que son aplicables los resultados de este estudio a las soluciones de NaCl.

Los fosfatos influyen de manera notable en las propiedades funcionales de las proteínas cárnicas, incluida la capacidad de gelificación. Dichas sales ejercen su acción mediante la disociación de la actomiosina en sus componentes, actina y miosina, y al aumentar la concentración de miosina utilizable se mejora la capacidad de gelificación y en general todas las propiedades funcionales.

Tejada (1994) define los geles de pescado como hidrogeles ya que se forman cuando las proteínas dispersas en el agua, forman una matriz continua en la cual el agua es atrapada. Este concepto puede ser aplicado a los geles de proteínas cárnicas en general; teniendo en cuenta que son irreversibles los de proteína miofibrilar, a diferencia de los de proteínas del estroma. Las proteínas sarcoplasmáticas del pescado no producen geles elásticos inducidos por calor y, si no son removidas, intervienen en la habilidad de formación de geles de las proteínas miofibrilares.

De las proteínas del estroma, la principal es el colágeno. Los geles de gelatina (colágeno parcialmente desnaturalizado) son estabilizados por interacciones no covalentes, razón por la cual, ellos son térmicamente reversibles. Dichos geles son llamados comúnmente geles físicos, en contraste con los geles químicos, que son irreversibles. Los geles físicos presentan problemas al incluir las proteínas que los producen en algunos tipos de productos cocidos, debido a la producción de defectos y bajos rendimientos.

Las proteínas miofibrilares del pescado son responsables de la formación de geles homogéneos y termoestables (gel tipo *Kamaboko*) obtenidos usando pescado picado y lavado como materia prima. La gelificación es la principal propiedad funcional del *surimi*. Las proteínas responsables de la gelación del músculo de pescado son la miosina y la actomiosina. Las características de gelación de la actomiosina son derivadas principalmente de la porción de miosina y específicamente a la porción pesada de la cadena de la molécula.

Solo la proteína no agregada previamente por calor o congelada durante el almacenamiento es capaz o presenta habilidad para formar geles de alta calidad. No se ha encontrado ningún efecto de la tropomiosina sobre la gelación

La gelación incluye un número de cambios en las proteínas miofibrilares resultando en la agregación de esas proteínas como una red firme y elástica.

Acercas de la transición de sol a gel inducida por calor, varios autores han reportado múltiples enlaces de los segmentos del polímero dependientes de la temperatura: uniones salinas, enlaces Hidrógeno, enlaces disulfuro, interacciones hidrofóbicas y enlaces covalentes. Durante el calentamiento de las proteínas miofibrilares solubles en sal y dependientes de las condiciones de calentamiento (temperatura y tiempo), se favorecen diferentes tipos de enlaces entre las moléculas y, como resultado, se forman distintos tipos de geles.

Durante la conservación del pescado bajo refrigeración, a menudo pueden observarse ligeras variaciones en la solubilidad proteica, debido a que las proteínas hidrolizadas por la acción de proteasas permanecen solubles. Además, esta hidrólisis origina la pérdida de otras propiedades funcionales, tales como la capacidad gelificante y por supuesto la capacidad de retención de agua, la capacidad emulsificante entre otras, ya que todas dependen de la proteína y su estado.

Modificación de las proteínas.

Brekke y Eisele (1981), examinaron métodos químicos, enzimáticos y combinados de modificación de proteínas para mejorar las propiedades funcionales de la carne. Describieron el uso de los procesos de acilación y succinilación para mejorar la capacidad y estabilidad de la emulsión, la retención de agua, la gelación y la cohesión de proteínas musculares de baja funcionalidad y bajo costo. Las modificaciones tienen pequeños efectos sobre el valor nutricional de los productos elaborados, una de las razones de esto es que se puede realizar una proteólisis selectiva que solubiliza las proteínas e incrementa su retención de grasa y la emulsificación.

Spinnelli *et al* (1977) demostraron que la proteína de pescado puede ser efectivamente modificada, aumentando sus propiedades funcionales. En la Tabla 2.8 se presentan las diferencias en algunas propiedades funcionales de las proteínas de pescado después de haber sido modificadas por dos métodos diferentes. Las proteínas miofibrilares del pescado sin modificar son extremadamente sensibles a los procesos convencionales. Dichas proteínas pueden ser modificadas, bien sea, por tratamientos enzimáticos y/o químicos a productos proteicos con poderes de emulsificación superior al de las proteínas nativas.

Tabla 2.8. Propiedades funcionales de proteína de pescado modificada

Propiedad funcional	50-60% de Acetilación	50-60% de Succinilación
Actividad Emulsificante:% emulsión con 5 mg/ml de proteína	61	97
Cap. Emulsificante: g. de aceite emulsificados/100 mg. de proteína	53	132
Gelación: concentración de proteína para un gel estable en %	4	3
Capacidad de Aireación: volumen de espuma en ml.	550	600
Estabilidad de la Espuma: volumen de sinéresis, ml.	71	32
Absorción de Agua: ml. de agua absorbida por 1 g. de proteína	15	> 20

Spinnelli *et al* (1977).

A partir del pescado entero se preparan derivados, aislados y concentrados proteicos que son usados en la elaboración de diversos productos, por ejemplo a partir de aislados de proteína miofibrilar se pueden obtener pasabocas (*snaks*), carnes procesadas, productos procesados de pescado, productos para hornear (pastelería), entre otros; y los usos potenciales de los derivados obtenidos son en la elaboración de espumas, cebos sintéticos, bebidas, bases para postres, entre otros.

Caracterización de un material cárnico para uso industrial.

Para usar un material cárnico y no incurrir en defectos en los productos a elaborar es de gran importancia el conocimiento previo de él. Una forma sencilla es determinar sus características bromatológicas y algunas de calidad industrial que son de principal importancia.

Análisis físico-químicos

Se deben realizar los siguientes análisis físico-químicos: Humedad, pH, proteína y grasa de acuerdo con los métodos oficiales de la AOAC para estas determinaciones; las cenizas se determinan por diferencia.

Determinación de la capacidad de retención de agua.

El agua ligada e inmovilizada generalmente se determina por la cantidad que permanece en la carne después de someterla a algún tipo de expresión física. Esto puede hacerse apropiadamente, midiendo el agua libre expulsada ya que el contenido acuoso total es relativamente constante. Generalmente, la presión se aplica, bien comprimiendo la carne

entre dos placas o mediante la fuerza centrífuga. Dado que existe una transición continua entre el agua inmovilizada y el agua libre, la cantidad exacta de agua liberada se puede determinar.

En numerosos estudios, la capacidad de retención de agua de la carne se ha evaluado centrifugando un homogenizado de carne en soluciones salinas diluidas.

Después de centrifugar durante 15 minutos a 3000 - 3500 r.p.m. el exceso de solución es separado del residuo centrifugado constituido fundamentalmente por proteínas fibrilares. A partir del peso del residuo puede calcularse fácilmente la cantidad de agua retenida por gramo de proteína.

Restrepo (1986) reporta un experimento donde se mezclaron cantidades iguales de carne picada y agua destilada fría, se dejó la mezcla durante la noche y se centrifugó seguidamente durante 20 minutos a 15000 r.p.m., tras añadir una pequeña cantidad de agua. Para determinar la retención de agua se utilizó la diferencia entre los pesos original y final de la carne.

Existen algunas variaciones a este método de determinación. Calentando la carne a una temperatura apropiada (70EC para la fresca y 40EC para la descongelada), antes de la centrifugación el volumen de agua liberado permite su medición exacta.

Uno de los métodos rápidos y prácticos a realizar, a nivel de laboratorio o de planta, es una adaptación al sugerido por Honikel (1988), el cual consiste en tomar una muestra de carne, con un peso de 0.25 g aproximadamente, y colocarla sobre un papel filtro, para ser sometida a un esfuerzo de compresión de 12.5 kgf/cm², mediante una prensa manual de plexiglas; posteriormente se miden el diámetro de la película de carne y el diámetro de la zona húmeda que queda sobre el papel de filtro. La Capacidad de Retención de Agua se determina mediante la siguiente relación, derivada de la recomendada por Honikel (1988).

Porcentaje de Capacidad de Retención de Agua: $(D_1)^2 / (D_2)^2 \times 100$

Donde:

D₁: diámetro de la película de carne cm.

D₂: diámetro del anillo húmedo en el papel de filtro

Otra forma de determinar el agua libre de la carne consiste en utilizar métodos gravimétricos directos, el comprimir una muestra de carne entre dos pedazos de papel filtro y registrar la diferencia de peso de la muestra permite determinar la capacidad de retención de humedad. Este método presenta una gran dificultad operacional que consiste en la recuperación de la muestra entre los papeles de filtro.

Otro método consiste en tomar las muestras de un tamaño y forma geométricas uniformes, pesándolas exactamente. Posteriormente las muestras se suspenden mediante un cordel en bolsas impermeables al agua y se sellan. Las condiciones de realización del ensayo deben ser controladas. Las muestras deben permanecer libremente colgadas impidiendo de esta forma el contacto de ésta con el exudado. La determinación del peso de la muestra después de haber terminado el ensayo, permite determinar la pérdida de humedad de la misma.

Determinación de la capacidad emulsificadora de una carne.

La determinación de la capacidad emulsificadora de una carne se fundamenta en la extracción de la proteína miofibrilar por medio de una solución salina 1M a baja temperatura, propiciando las condiciones de mayor extracción para la actomiosina, posteriormente facilitando la formación de una emulsión de aceite, que se adiciona a un caudal constante mientras se aplica agitación mecánica y agua, actuando como agente dispersante la proteína extraída. Una vez haya coalescencia el ensayo termina, presentando los resultados como ml de aceite emulsificado por gramo de muestra.

Equipos y materiales: Balanza, dos agitadores de cuchillas con camisa refrigerada, cilindro graduado 20 ml y 500 ml, bureta graduada, medidor de caudal y lupa.

La muestra a utilizar debe ser obtenida según el procedimiento descrito para el análisis de proteína, cloruro de sodio 1 M, hielo, aceite.

Procedimiento: Mezclar en el agitador de cuchillas durante dos minutos 50 g de muestra de carne con 200 ml de cloruro de sodio 1 M, haciendo que durante todo el tiempo de picado el agitador de cuchillas permanezca a muy baja temperatura (0°C-5°C), una vez transcurrido este tiempo transferir al otro agitador 12.5 g de la mezcla obtenida, adicionando 37.5 ml de solución de cloruro de sodio 1 M, mezclando durante unos segundos, luego a un caudal de 0.8 ml/s, adicionar aceite vegetal desde una bureta graduada al extracto de sal, mientras el agitador está funcionando a alta velocidad. Se formará la emulsión, luego espesará y después se romperá y justamente cuando la emulsión se rompe, se suspenderá la adición de aceite.

Cálculos: La diferencia de lecturas, inicial y final, en la bureta, permitirá el cálculo de la cantidad de aceite gastado, el cual corresponde a la capacidad emulsificante de la muestra pudiéndose expresar como ml de aceite por g de carne a un % p/p.

Determinación del pH.

Se fundamenta en la medida del potencial eléctrico creado en la membrana de un electrodo de vidrio, como una función de la actividad de iones Hidrógeno a ambos lados de la membrana. Se utiliza como referencia un electrodo de calomelanos.

Equipos y materiales: Un peachímetro capaz de determinar la segunda cifra decimal, electrodos de vidrio de punta fina o convencional (según la dureza de la muestra) y un electrodo de calomelanos.

Debe disponerse de la muestra de carne, agua destilada y soluciones tampón pHs 4 y 7.

Procedimiento: El método permite realizar la lectura bien sea en una muestra preparada según el procedimiento descrito para el análisis de proteína, o bien usando directamente el electrodo de punta fina en la muestra.

Cuando la muestra está preparada según el procedimiento usado para proteína se le adiciona igual cantidad de agua destilada, se mezcla y se deja reposar por diez minutos.

Antes de proceder a efectuar las lecturas debe calibrarse el peachímetro, para lo cual debe ajustarse la temperatura de trabajo con la de las disoluciones tampón e introducir los electrodos de vidrio y de referencia, separados al menos dos centímetros. Posteriormente, debe darse encendido al aparato y esperar a que se estabilice.

Una vez graduado el peachímetro de acuerdo a los valores de pH de las soluciones tampón, se procede a realizar la lectura del pH de la disolución.

Cuando el peachímetro no esté censando un pH determinado, el equipo debe estar en la posición de descanso.

Si se trata de la lectura directa, simplemente se introduce la punta del electrodo en la carne cuidando que no queden espacios vacíos entre aquel y ésta.

Expresión de los resultados: El pH es el valor leído directamente en la escala del equipo. Debe hacerse por muestra por lo menos dos observaciones.

Es necesario una limpieza a fondo de los electrodos entre determinaciones sucesivas, ahora en el caso de la carne normalmente con un contenido graso importante, la limpieza es más laboriosa que cuando se trata de material desengrasado. Algunas veces es necesario, inclusive, sumergir los electrodos en solventes no polares, secándolos posteriormente, para luego ser lavados con agua destilada, volviéndolos a secar, para estar finalmente dispuestos para una nueva lectura.

Determinación del valor de ligazón.

Como esta es una característica netamente industrial, para su determinación es necesario asumir a nivel de laboratorio, las mismas condiciones a que será sometido el material cárnico, en el proceso de elaboración de los productos.

Se toma una muestra de carne previamente refrigerada (0-4°C) y se somete a picado en el *cutter*, donde se le adiciona el 10% de agua, el 5% de sal y el 0.5% de tripolifosfato de Sodio. Una vez el pastón adquiera una textura “pegajosa”, se adiciona un % de aceite vegetal con respecto al peso de la carne (valor que es determinado luego de realizar pre-ensayos con diferentes cantidades). Luego el pastón debe embutirse en tripa sintética de polietileno-poliamida, con una presión de embutido de 100-110 psi y posteriormente se somete al tratamiento térmico tradicional para los productos de pasta fina (68°C en el punto más frío, de acuerdo con la NTC 1325 de 982, 4° revisión de 1998). Se determina el Valor de Ligazón en la carne de acuerdo con la muestra que no presente separación de grasa.

BIBLIOGRAFÍA

ACTON, J. C. and DICK, R. Thermal transitions of natural actomyosin from poultry breast and thigh tissues. *En: Poultry Science*. Vol. 65 (1986); p. 2051-2062.

ALVAREZ C., Fredy y GARCIA G., Jorge H. Rendimiento y composición de la canal y calidad industrial de la carne de equinos de 7-10 años de edad. Medellín, 1992. 67p. Tesis (Zootecnista). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias.

ARANGO M., Claudia M. e IDARRAGA A., John J. Evaluación de algunos parámetros de rendimiento y calidad en canales de ovejas africanas. Medellín, 1991. 85 p. Tesis (Zootecnista). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Agronomía.

_____ y RESTREPO M, Diego A. Evaluación físico-química de productos cárnicos emulsificados elaborados con carnes de diversas especies animales. Medellín, 1996. 76 p. Tesis (Especialización en Ciencia y Tecnología de Alimentos). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias.

_____. Calidad Industrial de la carne: Propiedades funcionales de las proteínas cárnicas. Medellín, 1996. 56 p. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias.

ARENAS S., Wilfredo A. y ZAPATA P., Pascual O. Elaboración y aceptabilidad de algunos embutidos con carne de tiburón. Medellín, 1991. 106 p. Tesis (Zootecnista). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias.

BARTON, R. A. La preparación de las canales ovinas y bovinas para los mercados de exportación de Nueva Zelanda. *En: Comunicaciones I.N.I.A. Serie Producción Animal* (Madrid). Vol.5 (1979); p.217-232.

BLANDON B., A. y TORRES C., U. Algunas características de la canal y de la carne de novillos sacrificados a diferentes pesos. Medellín, 1991. 116p. Tesis (Zootecnista). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias.

BOLIVAR V., Diana y GARCES P., María E. Rendimiento y calidad de novillos implantados con 17-B-Estradiol más acetato de trembolona. Medellín, 1992. 83 p. Tesis (Zootecnista). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias.

BORDERIAS, A. J. y MONTERO, P. Fundamentos de la funcionalidad de las proteínas en alimentos. *En: Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos*. Vol. 28, No 2 (1988); p.159-169.

BREKKE, C. J. y EISELE, T. A. The role of modified proteins in the processing of muscle foods. *En: Food Technology*. Vol. 35, No 5. (1981), p. 231-234.

BREKKE, C. T. *et al.* Unpublished data. University of British Columbia, Vancouver, 1987. Citado por SMITH, Denise. M. Meat Proteins : Functional properties in comminuted meat products. *En: Food Technology*. (April, 1988); p.116 - 121.

BULL, H.B. and BREESE, V. Protein Hydration : Building sites. *En: Biochemistry Biophys.* Vol. 128 (1968); p. 483 - 496. Citado por: BORDERIAS, A. J. y MONTERO, P. Fundamentos de la funcionalidad de las proteínas en alimentos. *En: Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos*. Vol. 28, No 2 (1988); p.159-169.

CID, C. *et al.* Influencia de las técnicas de elaboración de diferentes productos cárnicos curados sobre la fracción miofibrilar de las proteínas. *En: Revista Española de Ciencia y Tecnología de Alimentos*. Vol. 32, No. 1 (1992); p.59-70.

CORDOBA, Jaime y ESTRADA, Jairo. Determinación de la capacidad emulsificante de la carne de conejo. Medellín, 1985. 36p. Tesis (Zootecnista). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Agronomía.

CHICA R., Juan y FRANCO G., John. Evaluación de la composición de la canal y calidad industrial del búfalo de agua (*Bubalus bubalis*). Medellín, 1988. 116 p. Tesis (Zootecnista). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias.

CHOU, David H. and MORR Charles V. Proteins - Water Interactions and functional properties. *En: Journal of the American Oil Chemist Society*. Vol. 23, No. 1 (1979); p. 53A - 61A.

DAMODARAN, S. y KINSELLA, J. E. Effects of ions on protein conformation and functionality. *En: Cherry, J. P. (De), Protein structure deterioration. Washington, D. C. : ACS Symposium series 206, Am. Chem. Soc. , 1982. p. 327. Citados por HUIDOBRO, A. y TEJADA, M. Propiedades de hidratación del músculo de pescado. En: Revista Española de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Vol. 3, No. 4 (1993); p.365-381.*

DJABOUROU, M. L. and PAPON, P. Influence of thermal treatments on the structure and stability of gelatin gels. *En: Polymer. Vol. 24 (1983); p.537-542. Citado por TEJADA, M. Gelation of myofibrillar fish proteins. En: Revista Española de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Vol. 34, No.3 (1994); p.257-273.*

DRAPER, J. Tecnología en la producción de salchichas. p. 51 - 65. *En: Seminario de Industria de Carnes. Vol. 3 (1984). Memorias del Tercer Seminario de la Industria de Carnes. Bogotá: ANDI, 196 p.*

FLORES, J. y BERMELL, S. Propiedades funcionales de las proteínas miofibrilares; capacidad de retención de agua. *En: Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos. (Valencia). Vol. 24, No. 2 (Junio 1984); p.151-158.*

_____ y _____. El colágeno: Características y propiedades de interés para la industria cárnica. *En: Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos (Valencia). Vol. 28, No. 4 (Diciembre 1988); p. 463-472.*

_____ y _____. Capacidad de emulsión de las proteínas miofibrilares. *En: Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos. Vol. 25, No. 4 (1985); p.481-489.*

_____ y _____. Capacidad de gelificación de las proteínas miofibrilares. *En: Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos. Vol.26, No.3 (1986); p. 318 - 324.*

_____. Estructura, composición y propiedades bioquímicas de las proteínas miofibrilares. *En: Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos. Vol.24, No. 1 (1984); p.15-24.*

FORREST, J.C. *et al.* Fundamentos de la ciencia de la carne. Zaragoza: Acribia, 1979. 364 p.

GOLL, D.E. *et al.* Muscle proteins. In: WHITAKER, J.R. and TANNENBAUM, eds. Food Proteins Chap. 6. Connecticut: s.n., 1977. p. 121-174.

GOMEZ A., Liliana. Utilización de la carne de pollo (deshuesada mecánicamente) en la elaboración de salchichas tipo Frankfurt. Medellín, 1988. 78 p. Tesis (Zootecnista). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias.

HAMM, R. Functional properties of the myofibrillar system and their measurements. 1986. Citado por HUIDOBRO, A. y TEJADA, M. Propiedades de hidratación del músculo de pescado. *En: Revista Española de Ciencia y Tecnología de Alimentos*. Vol. 3, No.4 (1993); p.365-381.

_____. Pos - mortem changes in muscle with regard to processing of hot - boned - beef. *En: Food Technology*. Vol. 31, No. 1 (1982); p.105-115.

_____. Sobre la capacidad de la carne para ligar agua. *En: Die Fleischerei*. Vol. 7, No. 9 (1982).

HEFTEL, J. C. *et al.* Proteínas alimentarias. Bioquímica. Prop. funcionales. Valor nutritivo. Modificaciones químicas. Zaragoza : De. Acribia. Citado por HUIDOBRO, A. y TEJADA, M. Propiedades de hidratación del músculo de pescado. *En: Revista Española de Ciencia y Tecnología de Alimentos*. Vol. 3, No.4 (1993); p. 365-381.

HERMANSSON, A. M. Gel characteristics - structure as related to texture and waterbinding of blood plasma gels. *En: Journal of Food Science*. Vol. 47, No. 1965 (1982); p.248-262.

_____. Methods of studying functional characteristics of vegetable protein. *En: Journal of the American Oil Chemist Society*. Vol. 56 (1979); p.272-279.

_____ and AKESON, C. Functional properties of added systems effect of salt on water-binding properties of model meat system. *En: Journal of Food Science*. Vol. 40, No. 603 (1975); p.15.

HERRERA T., Eyle M. Determinación de la capacidad emulsificante de la carne de pescado (Bocachico: *Bochilodus reticulatus* y Tilapia: *Sarotherodon niloticus*) congelada. Medellín, 1988. 86 p. Tesis (Zootecnista). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias.

HERRERA R., B. y HERRERA R., D. Relación de la edad y el peso al sacrificio y las características de la canal en cerdos. Medellín, 1985. 44p. Tesis (Zootecnista). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Agronomía.

HOFMAN, Klaus. El pH una característica de la calidad de la carne. *En: Fleischwirtschaft*. No.2 (octubre de 1988); p.13-18.

HONIKEL, K.O., *et al.* Influencia de la temperatura de almacenamiento de los músculos vacunos recién faenados sobre la capacidad de retención de agua de la carne y los pastones. *En: Fleischwirtschaft, Español*. Vol. 2 (1983); p.43-50.

HONIKEL, Karl. Capacidad de fijación de agua en la carne. *En: Fleischwirtschaft*. No.2 (octubre de 1988); p. 30-36.

_____. Relación de agua y emulsión de grasa en la elaboración de pastones para embutidos escaldados. *En: Fleischwirtschaft*. No.2 (octubre de 1988); p 30-36.

HONIKEL, K.O. Y HAMM, R. Measurement of water-holding capacity and juiciness. *En: Quality attributes and their measurement in meat, poultry and fish products*. Chap. 5 Great Britain: Blackie Academic & Professional, 1994.

HUIDOBRO, A. y TEJADA, M. Propiedades de hidratación del músculo de pescado. *En: Revista Española de Ciencia y Tecnología de Alimentos*. Vol. 3, No. 4 (1993); p.365-381.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Industrias alimentarias: productos cárnicos procesados (no enlatados). Bogotá: ICONTEC, 1982. 19p. (Norma Colombiana ICONTEC; n° 1325).

JONES, K. W. Protein - Lipid interactions in processed meats. *En: Recip. Meat Conference Proceedings*. Vol. 37, No. 52 (1984). Citado por SMITH, Denise. M. Meat Proteins : Functional properties in comminuted meat products. *En: Food Technology*. (April, 1988); p.116-121.

KIJOWSKI, J. M. and MAST, M. G. Effect of NaCl and phosphates on the thermal properties of chicken meat proteins. *En: Poultry Science*. Suppl. 1. (1986); p.71 - 92.

KINSELLA, J.E. Milk proteins : physicochemical and functional properties. *En: Critical Review of Food Science Nutr*. Vol.21, No. 3 (1984); p.197-262.

_____. Functional Properties of Proteins in Foods: A survey. *En: Critical Review of Food Science Nutr*. Vol. 7 (1976); p.219 - 280.

_____. Functional Properties of Soy Proteins. *En: Journal of the American Oil Chemist Society*. Vol. 54, No. 6 (1979); p. 454A - 472A; Vol 56, No 3 (1979); p.242 - 248.

KNIPE, L. Ingredientes y Aditivos para la Formulación de Productos Cárnicos. *En: Memorias del Curso Actualización en Procesamiento de Carnes*. U. Nacional de Colombia - Medellín, U. de Iowa - Asociación Americana de Soya (ASA). 1998.

KUNTZ, Y. D. Hydration of macromolecules 3 Hydration of polypeptides. *En: Journal of America Chemistry Society*. Vol. 93 (1971); p.514-516.

LAWRIE, R. A. Ciencia de la Carne. Zaragoza: Acribia, 1967. 380p.

LEFEVRE, J. M. Recherche de methodes d'evaluation des proprietes fonctionnelles des additifs proteiques alimentaires : Les concentrats de proteines de Lactoserum. Mem. Lab. Charcuterie Exp. (1979). Citado por FLORES, J. y BERMELL, S. Capacidad de emulsión de las proteínas miofibrilares. *En: Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos*. Vol. 25, No. 4 (1985); p.481-489.

LI-CHAN, E. *et al.* Muscle protein structure-function relationships and discrimination of functionality by multivariate analysis. *En: Journal of Food Science*. Vol. 52 (1987); p.31-42.

LOPEZ, Jairo y SIERRA, Mario. Evaluación comparativa de cuatro fuentes comerciales de soya en la elaboración de salchichón. Medellín, 1990, 219p. Tesis (Zootecnia). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias.

MAHECHA, Gabriela. Evaluación sensorial en el control de calidad de alimentos procesados. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 1985. 134 p.

MIRANDA, R. Importancia y comportamiento de las proteínas cárnicas durante el almacenamiento y la industrialización. *En: Alimentaria*. Vol. 7 (Junio - Julio de 1991); p.22-32.

MORRISEY, R. A. *et al.* Functional properties of muscle proteins. *En: HUDSON, B. J. F. (ed.). Developments in food proteins - 5*. London y New York : Elsevier Applied Science, 1987. p.195-255. Citados por HUIDOBRO, A. y TEJADA, M. Propiedades de hidratación del músculo de pescado. *En: Revista Española de Ciencia y Tecnología de Alimentos*. Vol. 3, No.4 (1993); p.365-381.

NAKAI, S. *et al.* Contribution of protein hydrophobicity to its functionality. *Die Nahrung*. 30; 327. Citado por SMITH, Denise. M. Meat Proteins : Functional properties in comminuted meat products. *En: Food Technology*. (April, 1988); p. 116 - 121.

OKADA, M. Elastic property of Kamaboko (fish meal jelly). *En. Bull. Tokai Reg. Fish Res. Lab*. Vol. 36 (1963); p.21-122. Citado por TEJADA, M. Gelation of myofibrillar fish proteins. *En: Revista Española de Ciencia y Tecnología de Alimentos*. Vol. 34, No.3 (1994); p.257-273.

OLSON, D.G. Principios de química cárnica. *En: Memorias del V Curso teórico/práctico de Tecnología Cárnica*. Ames, Iowa, USA: Iowa State University, 1997.

O'NEILL, E. M. *et al.* The surface-active properties of muscle proteins. *En* : Food Chemistry. No. 35 (1990). p.1-12.

PAULING, N. *En*: Ibid. Vol. 7 (1945); p. 555. Citado por: CHOU, David H. and MORR Charles V. Proteins - Water Interactions and functional properties. *En*: Journal of the American Oil Chemist Society. Vol. 23, No. 1 (1979); p. 53A - 61A.

PEARSON, A. M. Introduction to quality attributes and their measurement in meat, poultry and fish products. *En* : "Quality attributes and their measurement in meat, poultry and fish products" Chap. 1. Great Britain: Blackie Academic & Professional, 1994.

POMERANZ, Y. Functional properties of food components. 2ed. San Diego: Academic Press, 1991. 569 p.

PRICE, J. F. y SCHWEIGERT. Ciencia de la Carne y de los Productos Cárnicos. Zaragoza: Acribia, 1976. 380p.

RESTREPO, M. Diego A. Elementos de Industria de Carnes, Medellín : Universidad Nacional de Colombia, 1991. 246 p.

RHA, C. y PRADIPASENAS, P. Viscosity of proteins. *En*: MITCHELL, J. R. y LEDWARD, D. A. (Eds) Functional properties of food macromolecules. London y New York : Elsevier Applied Science, 1986. p.79-120. Citados por HUIDOBRO, A. y TEJADA, M. Propiedades de hidratación del músculo de pescado. *En*: Revista Española de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Vol. 3, No.4 (1993); p.365 - 381.

SAMEJIMA, K. *et al.* Heat gelling properties of myosin, actin, actomiosin and myosin subunits in a saline model system. *En*: Journal of Food Science. Vol. 34 (1969); p.242-245.

_____ *et al.* Relative roles of the head and tail portions of the molecule in heat - induced gelation of myosin. *En*: Journal of Food Science. Vol. 46 (1981); p. 1412 - 1438.

_____ *et al.* Role of myosin heavy chain from rabbit skeletal muscle in the heat - induced gelation mechanism. *En*: Agric. Biol. Chem. Vol. 48 (1984); p.:22-25. Citado por SMITH, Denise. M. Meat Proteins : Functional properties in comminuted meat products. *En*: Food Technology. (April, 1988); p.116 - 121.

SCHMIDT, G. R. *et al.* Functionality of protein matrix in comminuted meat products. *En*: Food Technology. Vol. 35 (1981); p. 235- 237, 252.

SCHMIDT, G. R. and TROUT, G. R. The chemistry of meat binding. In : "Recent advances in the chemistry of meat". Chap. 12. London: A. J. Bailey editors, 1984. p. 231-245.

SEBRANEK, J. Salchichas y procesamiento de carnes. *En: Memorias del V Curso teórico/práctico de Tecnología Cárnica*. Ames, Iowa. USA: Iowa State University, 1997.

SMITH, D. M.; ALVAREZ, V.B. and MORGAN, R.G. Generalized mathematical model for predicting heat - induced chicken myofibrillar protein gel strength. *En: Journal of Food Science*: In press. 1988. Citado por SMITH, Denise. M. Meat Proteins : Functional properties in comminuted meat products. *En: Food Technology*. (April, 1988); p.116-121.

_____. Meat Proteins : Functional properties in comminuted meat products. *En: Food Technology*. (April, 1988); p. 116 - 121.

SMITH, G. C.; JUHN, H.; CARPENTER, Z. L.; MATTIL, K. F. y CATER, C. M. Efficacy of protein additives as emulsion stabilizer in frankfurters. *En: Journal of Food Science*. Vol. 38. (1973); p. 850.

TANAKA, T. Gels. *Sci. Am*. Vol. 244, (1981); p. 124 - 130. Citado por TEJADA, M. Gelation of myofibrillar fish proteins. *En: Revista Española de Ciencia y Tecnología de Alimentos*. Vol. 34, No. 3 (1994); p.257 - 273.

TEJADA, M. Gelation of myofibrillar fish proteins. *En: Revista Española de Ciencia y Tecnología de Alimentos*. Vol. 34, No.3 (1994); p.257-273.

TORNBERG, E. Functional characteristics of protein stabilized emulsions : Emulsifying behavior of proteins in a sonifier. *En: Journal of Food Science*. Vol, 45 (1980); p.1662 -1671.

TSAL, R. *et al.* The emulsifying properties of purified muscle proteins. *En: Journal of Food Science*. Vol. 37 (1972); p.286 - 288.

WAGNER, J. and ANAN, M. Effect of frozen storage on protein denaturation in bovine muscle, myofibrillar ATPase activity and differential scanning calorimetric studies. *En: Journal of Food Technology*. Vol. 21, No. 9 (1986).

WATERS, E. Procesos térmicos. *En: Memorias del V Curso teórico/práctico de Tecnología Cárnica*. Ames, Iowa, USA: Iowa State University, 1997.

WATTS, B. M. *et al.* Métodos sensoriales básicos para la evaluación de alimentos. Ottawa: CIID, 1989. 170p.

WHITING, R. C. Ingredients and Processing Factors that Control Muscle Protein Functionality. *En: Food Technology*. April (1988); p. 104 -114.

WIRTH, F. Fijación de agua, fijación de grasa, formación de la estructura. *En: Fleischwirtschaft*. Vol. 2 (1982); p. 4-14.

_____. pH-wert un fleishwarenhertellung. *En: Fleischwirtschaft*. Vol. 9 (1978); p.1458-1468.

YASUI, T. *et al.* Changes in shear modulus, ultrastucture and spin - spin relaxation times of water associated with heat - induced gelation of myosin. *En: Journal of Food Science*. Vol. 44 (1979); p.1210-1211.

CAPITULO III

CONVERSIÓN DEL MÚSCULO EN CARNE, CAMBIOS POST - MORTEM

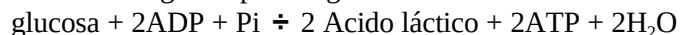
Claudia María Arango Mejía¹
Diego Alonso Restrepo Molina²

GLUCÓLISIS

El mayor cambio que experimenta el músculo una vez ha cesado la vida tiene que ver con la síntesis energética.

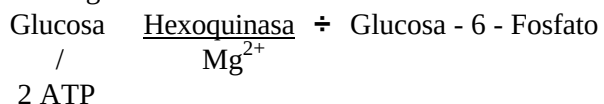
La interrupción de la circulación sanguínea priva al músculo del aporte de oxígeno, la respiración celular se paraliza y surge la síntesis anaeróbica de energía, igual a la que se presenta en vida cuando el animal atraviesa por estados anóxicos, sólo que en la condición posmortem no existe el torrente sanguíneo para la eliminación de los productos de esa síntesis en el músculo y su reconversión en el hígado. El sistema de síntesis energético, tan eficiente en vida a través de la glucólisis aeróbica, ciclo de los ácidos tricarboxílicos (que se ocurre en las mitocondrias) y el sistema de citocromos - coenzimas de la respiración-, con una producción neta de 36 moles de ATP por cada una de glucosa separada del glucógeno, pasa a ser una síntesis energética deficiente y limitada donde por cada molécula de glucosa separada del glucógeno, se producen 2 moles de ATP.

La ecuación global para la glucólisis anaerobia es:



Transcurriendo de la siguiente manera:

1. Glucógeno



¹ Profesora Asociada. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Facultad de Ciencias Agropecuarias. A.A. 568.

² Profesor Asociado. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Facultad de Ciencias Agropecuarias. A.A. 568

2. Glucosa - 6 -Fosfato fosfohexosa isomerasa $\rightleftharpoons$ fructuosa 6 fosfato
Mg²⁺
3. Fructosa - 6 - Fosfato fosfofructoquinasa $\rightleftharpoons$ fructosa 1,6 - difosfato
Mg²⁺, ADP, AMP
4. Fructosa 1,6- difosfato $\rightleftharpoons$ Gliceraldehído-3-fosfato
5. Gliceraldehído-3-fosfato $\rightleftharpoons$ 2 Acido -1,3- difosfoglicérico
6. 2 Acido-1,3-difosfoglicérico $\rightleftharpoons$ 2 Acido-3-fosfoglicérico + 2 ATP
7. 2 Acido-3-fosfoglicérico $\rightleftharpoons$ 2 Acido-2-fosfoglicérico
8. 2 Acido-2-fosfoglicérico $\rightleftharpoons$ 2 Acido fosfopirúvico
9. 2 Acido fosfopirúvico $\rightleftharpoons$ 2 Acido pirúvico + 2ATP
10. 2 Acido pirúvico $\rightleftharpoons$ 2 Acido láctico. Adaptado de Price *et al* (1.976).

La reacción 3 está controlando la velocidad con que transcurre la glucólisis ya que ella está inhibida por la presencia del ATP.

A este grupo de reacciones se debe la acidificación del músculo durante su conversión a carne.

De acuerdo con Price *et al* (1976) la glucólisis posmortem no transcurre a velocidad constante durante todas sus fases, inicialmente la velocidad es relativamente rápida hasta que se produce la eliminación de la capacitancia y resistencia de la membrana por la disminución del pH, permitiendo la difusión a través de las membranas, antes impermeables, de iones, posibilitando que se uniformice el pH. De aquí en adelante la velocidad comienza a decrecer hasta que el pH inactiva las enzimas glucolíticas o bien hasta que se terminan las reservas de glucógeno.

En la medida en que la glucólisis se desarrolle normalmente, el pH descenderá en carne de porcinos, desde un valor del músculo de 7.0 - 7.2 hasta valores de 5.6 ó 5.7 dentro de las 8 horas posmortem y luego a un pH entre 5.3 a 5.7 a las 24 horas posmortem. Este desarrollo normal de la glucólisis depende de las condiciones premortales a las cuales estuvo sometido el animal y a su tendencia a la susceptibilidad al estrés.

En algunos animales el pH puede descender muy poco en la primera hora después del sacrificio, permaneciendo en un valor relativamente alto, dando lugar a un pH final

mayor de 6.5. En otros casos es posible un descenso muy rápido del pH de la carne, sin que la canal haya perdido calor, es decir, encontrándose aún a temperatura alta, causando desnaturalización de la proteína, pérdida de la solubilidad y de capacidad de retención de agua, reflejándose en la carne en una coloración más pálida, una textura más abierta y con un corte húmedo, lo que se conoce como carne p.s.e. (*pale, soft, exudative*) (pálida, suave, suelta y exudativa).

El corte pálido, suelto y exudativo es un fenómeno que va en aumento, siendo atribuido fundamentalmente a la débil constitución de los cerdos actuales, en los cuales se ha manifestado una mayor sensibilidad al estrés, como características genéticas desarrollada simultáneamente con el mejoramiento de la relación carne/hueso en su canal.

Debido a las diferentes situaciones de estrés, se produce una descarga de adrenalina que degrada rápidamente el ATP, dando lugar a una rápida acidificación por el acortamiento o desaparición de la denominada fase de "demora", que no es más que aquel período inmediatamente posmortem en el cual aún existen reservas de ATP u otras fuentes diferentes al glucógeno.

La severidad del fenómeno no es igual en todos los casos, se ha clasificado en tres grandes grupos así:

Leve, cuando se presenta un descenso rápido (en tres horas) del pH, produciéndose un pH final, al cabo de 24 horas, en el intervalo comprendido entre 5.3 y 5.6 y que produce un músculo ligeramente p.s.e.

Severo, cuando se presenta un descenso rápido pero extremadamente grande con un pH final de 5.0 y que resulta en un músculo ligeramente oscuro o extremadamente pálido, pero en todos los casos extremadamente exudativo.

Muy severo, cuando se presenta un rápido descenso del pH entre los primeros 1 1/2 horas después del sacrificio dando pH entre 5.1 a 5.4, valores que se mantienen o ligeramente se elevan como pH final, dando por resultado músculos extremadamente p.s.e.

Mejía y Zapata (1991) presentan como métodos para la detección de la condición p.s.e. en el músculo la reflectancia de la carne cruda o curada (medida del color), la capacidad de retención de agua y el pH a los 45 minutos después del sacrificio y la conductividad eléctrica.

La medida del pH debe hacerse dentro de la primera hora posterior a la matanza, dentro de la línea de faenamiento y en un mismo músculo determinado, el músculo dorsal largo, sin embargo este método presenta dos dificultades: el acceso a este músculo es

algo difícil en las condiciones descritas y, la medida en canales calientes no es muy exacta.

La medida de la característica p.s.e. puede ser cuantificada a través de la capacidad de retención de agua, pero debido a que para realizarse debe extraerse la muestra y el tiempo de determinación es largo, industrialmente no se realiza.

Cuando la medida es a través del color, característica que también se ve seriamente comprometida, se requiere de la extracción de una muestra o de personal especializado, implica un tiempo relativamente elevado. Tampoco es considerado como un método de aplicación industrial.

El método que se fundamenta en la medida de la conductividad eléctrica, mejora el tiempo de diagnóstico sin tener que fraccionar la canal, la cual se comercializa entera; permitiendo la detección de esta característica en forma rápida, sencilla y sin estar supeditada a un determinado tiempo posterior a la matanza.

El metabolismo posmortem del músculo p.s.e. se desarrolla en forma rápida comparado con el músculo normal, con una anticipada degradación de las funciones de barrera de las membranas celulares, presentando mayor facilidad en el transporte iónico a través de la membrana, viéndose aumentada la conductividad total del tejido.

La determinación de la disipación eléctrica "d" resulta una medida muy precisa para la característica p.s.e. muscular, ya que ella está obtenida como la relación entre el valor de la conductancia compleja, el cual se ve aumentado por las razones expuestas y, la constante dieléctrica, el cual se ve disminuido. Finalmente, cuando se comparan las medidas del factor de disipación en un músculo p.s.e respecto a uno normal, se encuentran diferencias altas, próximas a 10 veces más en el primero de los casos.

La disipación eléctrica se mide mediante dos electrodos puntiagudos conectados al equipo y que son introducidos en el músculo a evaluar, realizando la correspondiente lectura en el equipo, el cual consta, básicamente, de un oscilador sinusoidal a una frecuencia de 15 Khz, de un detector de fase, de un despliegue digital del ángulo de desfase y de los dos electrodos.

En un ensayo realizado por Mejía y Zapata en 1991, donde se determinó la disipación eléctrica en 500 canales porcinos a una frecuencia de 10 Khz, confrontándolas contra lecturas de pH y de temperatura, concluyeron que la disipación eléctrica se comportaba como un buen indicador de la característica p.s.e, debiéndose determinar una escala de clasificación de acuerdo con la severidad del fenómeno, ya que las escalas usadas en otros países no tienen aplicación directa en el medio colombiano.

En Alemania se ha recurrido, con el propósito de disminuir la severidad del fenómeno p.s.e en cerdos de razas mejoradas, a deshuesar en caliente sus canales e inmediatamente enfriar su carne, esto para menguar por efecto de la temperatura, la velocidad de la glucólisis posmortem, evitando el descenso del pH a temperaturas de canal aún altas y por ende controlando el fenómeno.

El fenómeno contrario se presenta cuando ocurre un estrés prolongado antes del sacrificio. En el proceso de transporte hacia matadero, el animal se ve sometido a condiciones externas muy adversas para él, algunas veces ayunos demasiado prolongados en feria, alterando su sistema nervioso y aumentando la descarga de adrenalina, en un proceso semejante al que conduce a la característica p.s.e., sólo que en estos casos, si el animal está sujeto a una prolongada tensión nerviosa, las reservas glucogénicas se verán disminuidas y la glucólisis posmortem no transcurrirá hasta un pH relativamente bajo, sino que por el contrario, el descenso posmortem casi no se sucederá.

Este fenómeno sólo depende de las condiciones premortales y puede presentarse en la carne de cualquier tipo de ganado, es llamado también rigor alcalino; la carne que presenta este fenómeno se caracteriza por presentar un intenso color, su superficie al corte es más basta, ya que presenta una estructura más "cerrada" que la normal; debido a que su pH está muy alejado del punto isoeléctrico de la proteína miofibrilar, su capacidad de retención de humedad es alta, es por ello que se presenta como una carne de superficie al corte más seca que la carne normal. A este tipo de carne se le conoce como d.f.d., siglas que corresponden a las palabras inglesas *dry, firm and dark* (seco, firme y oscuro).

Existen, como en la musculatura p.s.e, unas escalas ya establecidas de acuerdo con la severidad del fenómeno, es decir una categorización de acuerdo con lo alejado que quede de las condiciones normales.

Un primer nivel, en el cual las características d.f.d. no son muy pronunciadas corresponde a un descenso lento y gradual del pH, hasta obtener un valor final de 5.7 a 6.0, presentando un músculo ligeramente oscuro. Una segunda categorización corresponde a un lento descenso del pH hasta un valor final en el intervalo de 6.0 a 6.5 y que presenta un músculo generalmente oscuro.

El color oscuro y claro de la carne d.f.d. y p.s.e respectivamente, se debe básicamente a un fenómeno óptico, de difracción, más que a una diferencia de concentración por lo menos apreciable, de los pigmentos musculares.

Por razones de concentración de pigmentos musculares, es más notorio el músculo oscuro, en bovinos y el pálido en porcinos.

En consideración a la calidad desde el punto de vista palatable, no existen diferencias apreciables en ésta entre los dos tipos de cortes debidos a glucólisis anormales, radicando las principales diferencias en la conservación y en el comportamiento durante el procesamiento. Algunas personas aceptan más fácilmente un corte pálido que uno oscuro, sin embargo eventualmente, podría presentar mayores características de calidad palatable el corte oscuro, por su mayor capacidad de fijación de agua y su bajo sabor acidulado.

Cuando el pH desciende gradualmente hasta valores de aproximadamente 5.7, durante las primeras 8 horas, con un pH final de 5.3 a 5.7 resulta un músculo bovino normal.

En general el tiempo de descenso normal del pH posmortem depende de la especie, para pollos transcurre entre dos a cuatro horas, 10 a 24 horas para el músculo bovino y hasta 50 horas para el músculo de ballena, dependiendo además de la temperatura a la cual transcurra la glucólisis, si ésta es alta, la glucólisis transcurrirá más rápidamente que si la temperatura es baja, en razón a que las reacciones incrementan su velocidad con la temperatura.

La carne normal de bovinos y porcinos presenta una coloración intermedia de acuerdo con el contenido de mioglobina, color que es susceptible de ser modificado de acuerdo con las diferentes interacciones con el Oxígeno, pero que en principio es atractivo, con una superficie al corte húmeda pero no pegajosa y con una textura fina. Obviamente el pH final estará en el punto isoeléctrico de la proteína miofibrilar presentando una pobre capacidad de retención de humedad. Acompañando el proceso de glucólisis se desarrolla lo que se denomina rigor mortis o rigidez cadavérica.

RIGIDEZ CADAVERICA O RIGOR MORTIS

En la medida que discurre la glucólisis posmortal llega un momento, más tarde o más temprano, de acuerdo con las condiciones premortales, en que la síntesis energética se detiene, bien sea por efecto del pH o por agotamiento del glucógeno. En ausencia o a muy bajas concentraciones de ATP, la actina y la miosina se unen en forma irreversible formando el complejo actomiosina, produciendo la rigidez cadavérica y haciendo los músculos inextensibles. El proceso es similar al de la contracción muscular en vida, sólo que en esta situación es irreversible en condiciones naturales.

En el proceso de contracción muscular se involucran cuatro proteínas miofibrilares: la actina, la miosina, como agentes contráctiles y, la tropomiosina y troponina que actúan como proteínas reguladoras, iniciando o terminando el proceso contráctil.

Se han presentado por diversos autores algunas teorías sobre la contracción muscular tratando de explicar el mecanismo. Price *et al* (1976) presentan estas teorías como:

1. Hanson y Husley en 1955. En ella se consideran los filamentos de actina y miosina interdigitados, deslizándose y penetrando libremente unos en otros, lo cual requiere del complejo ATP-Mg. Para la contracción se requiere la presencia de iones Ca^{2+} .

2. Davis en 1963 propuso una teoría fundamentada en principios eléctricos, en la cual durante la relajación los puentes transversales entre los filamentos de actina y miosina están extendidos por acción electrostática del ATP, durante la contracción al formarse el enlace electrostático entre los filamentos por acción del ión Ca^{2+} , se neutraliza la carga del puente transversal, lo cual hace que se presente una retracción ocasionando la contracción.

3. Bendall en 1966 propuso, para explicar este fenómeno, que durante la relajación los filamentos de la miosina no están unidos con la actina debido a la presencia del ATP-Mg, el cual es degradado durante la contracción, presentándose la unión.

4. Reedy en 1968 propuso la permanente unión de la actina y la miosina, en la cual el complejo ATP-Mg actúa evitando que los filamentos de miosina ejerzan atracción sobre la actina.

La Figura 3.1 representa la disposición de la actina y la miosina longitudinal y transversalmente y las direcciones del desplazamiento durante la contracción muscular.

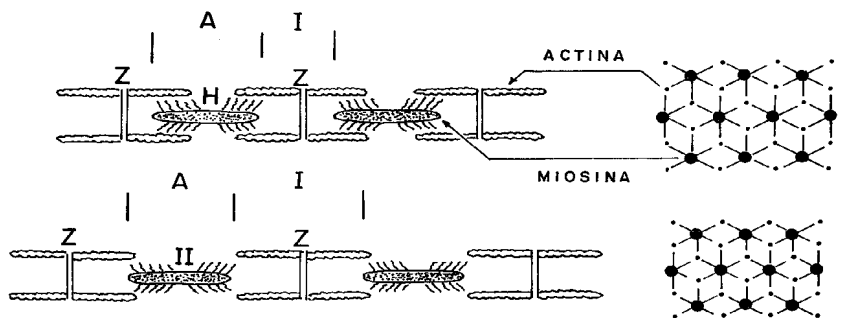


Figura 3.1. Representación esquemática de la disposición relativa de la miosina (con sus puentes transversales) y la actina, longitudinalmente y transversalmente. Fuente: Price *et al* adaptado por Restrepo (1991).

La contracción se presenta cuando el potencial de acción (impulso nervioso) iniciado en el cerebro, es conducido a través de una fibra nerviosa (neurona) y transmitido de un nervio motor a una fibra muscular causando la liberación del Ca^{2+} , unido al retículo sarcoplasmático, dentro del fluido sarcoplasmático, aumentando la concentración del Ca^{2+} libre en este fluido, el cual es un indicativo de la contracción muscular. Se requiere un aumento en la concentración del ión Calcio libre hasta valores de 10^{-5} para iniciar la contracción (Forrest *et al*, 1979).

La contracción ocurre porque el Ca^{2+} de exceso se une a la troponina, liberando de esta manera la acción inhibitoria de la formación de puentes de acto miosina que ejerce el complejo troponina - tropomiosina, permitiendo así la acción contráctil de la actomiosina y activando la ATPasa que es inhibida por el Mg^{2+} .

De otro lado, para mantener el músculo relajado se necesita energía, la cual está representada por la alta concentración de ATP en el complejo ATP - Mg. Esta energía es requerida para prevenir la formación de actomiosina y el complejo ATP - Mg actúa como lubricante para el deslizamiento de las fibras de actina y miosina, e inhibe la actividad de ATPasa. El Calcio liberado al interactuar con la troponina interfiere la unión del Mg^{2+} y el ATP. Con la ATPasa activada, el ATP es hidrolizado, permitiendo la contracción.

Una vez la concentración de Ca^{2+} en el fluido sarcoplasmático retorna a su nivel bajo, por acción del retículo sarcoplasmático a través de sus túbulos que recogen el exceso de Ca^{2+} en el sarcoplasma y los une en forma inactiva para ser almacenados en la cisterna, las moléculas de troponina liberan el Ca^{2+} que han ligado y de nuevo son hábiles para inhibir la formación de actomiosina, produciéndose así la relajación muscular.

Para la iniciación de la concentración del tejido vivo normal es necesario la estimulación, mientras que después de la muerte, los componentes contráctiles desarrollan tensión sin estímulos y pueden sostener una carga en ausencia de ATP.

A medida que descende el ATP se observa una rápida pérdida de extensibilidad muscular, pero el punto al que se produce esta inextensibilidad es bastante variable.

A esta inextensibilidad muscular es a lo que se le denomina rigidez cadavérica y es que, en la medida en que los músculos se contraen, se generan una serie de fuerzas de acción y reacción que conllevan a la observación de un fenómeno global de cadáver rígido.

La contracción muscular posmortem afecta una de las características de calidad más apreciadas en su consumo fresco, la terneza. Esta propiedad está asociada al esfuerzo para el corte durante la masticación y, cuando el efecto del tejido conectivo es poco (el cual es el principal responsable de la dureza de la carne), el grado de contracción

muscular lo determina.

El principal elemento que permitiría que existiese un efecto de reacción generado por la fuerza de contracción muscular, es el soporte esquelético. Si se plantea una experiencia con dos músculos correspondientes de las dos medias canales de una misma canal, en el cual uno de ellos es separado del esqueleto previo al establecimiento de la rigidez cadavérica, para posteriormente permitir su establecimiento en ambos con esta sola diferencia de condiciones, el músculo separado del esqueleto presentará una longitud menor y una mayor fuerza al corte como medida de la terneza.

La medida objetiva de la terneza de una carne puede efectuarse mediante el uso de un tenderómetro, la cual no es más que la medida de la fuerza de cizalladura ejercida por una cuchilla a una muestra de carne de sección transversal conocida. El cizallador Warner-Bratzler (por ejemplo) tiene la posibilidad de registrar en su cuadrante, el esfuerzo máximo producido (en Kgf) durante el corte de la muestra. La terneza es inversamente proporcional a la medida del esfuerzo cortante que se calcula así:

$$J = F/A$$

donde:

F = lectura efectuada en el cuadrante del tenderómetro Warner - Bratzler,

A = área de la sección de la muestra de la carne sometida a ensayo,

J = esfuerzo cortante (asimilado a dureza).

Si se trata de un área circular, entonces:

$$J = F/(BD^2 /4) = 4F / BD^2$$

Por lo tanto la medida de la terneza no dependerá del tamaño de la muestra, aunque sí de la forma como fue tomada.

Se acostumbra a tomar las muestras, mediante el uso de un sacabocados cilíndrico, en tres direcciones básicas: en la dirección a la fibra muscular, perpendicular a ella o haciendo un ángulo de 45°, obteniéndose valores diferentes cada vez, ya que la carne es un material anisotrópico, que significa que sus propiedades físicas dependen de la dirección en que se midan.

MADURACION

Al proceso natural mediante el cual se termina la rigidez cadavérica, haciéndose la carne más tierna y aromática se le denomina maduración. A este proceso están asociados muchos cambios químicos y bioquímicos: la disociación de la actomiosina, el rompimiento del sarcómero por desintegración de la línea Z, proteólisis, aumento del pH y de la

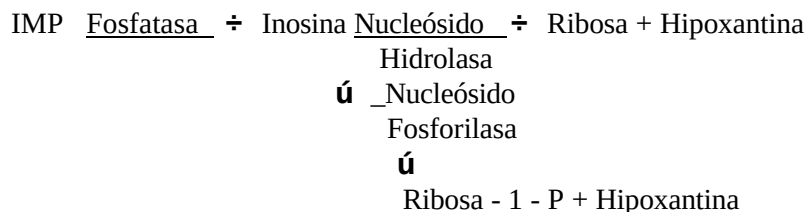
capacidad de retención de humedad asociados a la reorganización intramolecular de las proteínas determinando cambios en la carga eléctrica, y aumento de la presión osmótica.

A medida que la carne envejece, su dureza disminuye; se aumenta la extractibilidad de las proteínas miofibrilares con soluciones salinas, aumentando su capacidad de retención de agua. Para algunos investigadores la maduración no parece ser el resultado de una disociación de los enlaces establecidos entre la actina y la miosina, es decir, el rigor no se "resuelve", sino que se produce la separación de los filamentos de actina de la línea Z bajo la influencia de modificaciones iónicas o enzimáticas. La proteólisis que ocurre a nivel de las proteínas sarcoplasmáticas produce una liberación de iones Ca^{2+} y una captación de iones K^+ y Na^+ , los cuales ayudan a incrementar la capacidad de retención de humedad, cambiando al mismo tiempo las cargas iónicas produciendo un incremento en el pH de valores de 5.3 a 5.7 hasta 6.0 (Forrest *et al*, 1979).

La proteólisis que ocurre durante la maduración es realizada por enzimas catepsínicos almacenados en estado vivo en los lisosomas. Cuando el pH desciende estas enzimas se liberan y empiezan a degradar la estructura proteica del músculo.

La maduración está acompañada de:

1. Oxidación de lípidos, originando olores desagradables.
2. Formación de nucleótidos, amoníaco, sulfuro de Hidrógeno, acetaldehído y acetona que pueden ser favorables para el sabor y el aroma de la carne.
3. Degradación del ATP con formación de hipoxantina que causa olores y sabores desagradables, lo cual ocurre de la siguiente manera:



La hipoxantina es la causante de sabores desagradables en la carne, especialmente en la de pescado, es por ello que se utiliza para determinar el grado de frescura de la carne, los niveles de ATP y el de sus productos de degradación. El punto de madurez de la carne se conoce cuando la concentración de hipoxantina es de 1.5 a 2.0 $\mu\text{moles/g}$.

En el músculo del pescado la rigidez cadavérica y su desaparición ocurre muy rápidamente en general entre 5 y 30 horas respectivamente a 0°C .

El descenso del pH post-mortem es mínimo y depende, entre otros motivos, de las condiciones de pesca, ya que las reservas de glucógeno disminuyen dependiendo de la resistencia que opone el pescado a su captura. Por término medio, el pH desciende de 7.0 hasta 6.2 a 6.5, para luego incrementarse a 6.6 aproximadamente. La alta perecibilidad del pescado, se debe en parte a este suceso.

En bovinos se ha encontrado que la desaparición de la rigidez cadavérica requiere de tres a cuatro semanas, si la carne se mantiene a -1.5°C , dos semanas a 0°C , dos días a 20°C y únicamente un día si la temperatura es de 43°C , decrementando igualmente el tiempo útil del producto.

Con el fin de mejorar la terniza de la carne se han propuesto procedimientos alternativos al de maduración, en los cuales se incide física o químicamente sobre ella, permitiendo obtener resultados en tiempos más cortos, permaneciendo las demás características de calidad muy poco alteradas.

Ya que la dureza de la carne presenta relación con el grado de acortamiento muscular post-mortem, es posible incidir en ella mediante una redistribución de esfuerzos en la canal, previo al establecimiento de la rigidez cadavérica, bien sea mediante modificaciones en la suspensión de la canal del riel durante el oreo y la refrigeración, o mediante la adición de pesos, suspendidos de puntos determinados y estratégicos mediante ganchos, que impidan un mayor acortamiento en los músculos que por razones de mercado deben ser tiernos.

Se ha demostrado que el método de suspensión de las canales bovinas incide sobre la terniza de la carne, al determinar el grado de elongación del sarcómero. Cuando una canal se suspende de la pelvis se mejora la terniza de los músculos correspondientes a los cortes de primera de la pierna y el lomo con excepción de los músculos *biceps* femoral y *psoas* mayor, diferente a cuando se suspende del tendón común del calcáneo (tendón de Aquiles).

La electro estimulación es otro de los métodos físicos usados para incidir sobre la terniza de la carne. La estimulación eléctrica de canales, en la cual una corriente eléctrica de voltaje suficiente causa una contracción violenta y un gasto rápido de glucógeno y ATP con producción de ácido láctico, disminuye el pH del músculo y acelera el rigor mortis en condiciones de temperatura alta de la canal.

La estimulación eléctrica acelera el proceso de maduración a través de un incremento de la actividad enzimática debido al descenso en el pH a alta temperatura. La disminución en el pH causa rompimiento de los lisosomas produciendo una liberación de enzimas, disrupción proteica a causa de la violenta contracción con el cual se sucede daño estructural en la fibra muscular causando ablandamiento y previniendo el acortamiento por frío; a la vez favorece el aspecto comercial, permitiendo el despostado

en caliente y posterior refrigeración antes de 24 horas pos-sacrificio. Como desventaja principal la estimulación eléctrica desmejora la capacidad de retención de agua por el rápido descenso del pH (por debajo de 6.0) aún cuando la temperatura está alta (por encima de 30°C) ocasionando la desnaturalización de la proteína.

Actualmente se utilizan 3 tipos de equipos: Los de bajo voltaje, utilizan diferencias de potencial entre 50 - 300 voltios. Estos equipos son manuales. Los de mediano voltaje, construidos hasta 3000 voltios, operan en forma manual y automática y, los de alto voltaje, que se construyen automáticos hasta 3600 voltios.

Mediante dos terminales eléctricas, que pueden ser pinzas o barras, aplicadas en el tabique nasal, en la región cervical y cerca al tendón común del calcáneo, en el cuello, en la región isquiática femoral o través del nervio, es conectada la canal al electro estimulador.

Se han realizado muchos ensayos donde se han combinado voltajes, tiempos de aplicación, momento de aplicación, temperaturas, forma de aplicación, etc, obteniéndose resultados que dependiendo de las condiciones se reflejan más o menos en la terneza, mermas en la cocción, color, etc, encontrando resultados semejantes a los ya expuestos. Sin embargo Wolterdorf (1989), circunscribe el efecto ternizador de la estimulación eléctrica a la existencia previa del acortamiento por frío.

A la acción de las enzimas proteolíticas de origen vegetal y bacterial también es expuesta la carne con el fin de ternizarla. Se ha concluido que las enzimas proteolíticas de origen microbiológico exhiben una potente actividad hacia las fibras musculares y en algunos casos ligera actividad hacia las fibras colágenas. La papaína, tripsina y viocasa muestran una considerable actividad hacia la fibra muscular. La bromelina de la piña, muestra una menor actividad a este respecto.

Bavissotto citado por Velásquez (1986), reporta que la respuesta del músculo fibroso a la acción proteolítica de la papaína fue caracterizada por la desintegración del sarcolema y el núcleo, seguida por la desaparición de las estriaciones cruzadas, acompañado de un decrecimiento en la extensión de la fibra.

En un ensayo realizado por Velásquez (1986), se probaron tres niveles de papaína sobre el músculo gastrocnemio del bovino a dos temperaturas diferentes, encontrándose que el principal limitante a la acción proteolítica fue la difusión en la muestra, sin embargo el efecto ternizador de la papaína fue notorio cuando se midió la terneza en una cuchilla Warner - Bratzler.

BIBLIOGRAFÍA

MEJIA O., P y VALDERRAMA Z., V. La conductividad eléctrica como uno de los métodos para el reconocimiento del músculo pálido, suelto y exudativo (PSE). Medellín, 1991. 50p. Tesis (Zootecnista). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias.

VELÁSQUEZ M., P.P. La papína y su acción sobre la terneza de la carne. Medellín, 1986. 44p. Tesis (Zootecnista). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Agronomía.

WOLTERSDORF, W.F. Produce el enfriado rápido deficiencia de calidad en carnes? *En: Fleischwirtschaft*. No. 1 (1989); p.26-33.

CAPITULO IV

INGREDIENTES Y ADITIVOS USADOS EN LA INDUSTRIA CARNICA - FUNCIONALIDAD

Claudia María Arango Mejía¹
Diego Alonso Restrepo Molina²

La diferencia entre ingrediente y aditivo no parece ser muy clara, sobre todo cuando se piensa en términos de aquellos materiales que se adicionan intencionalmente en pequeñas cantidades, para lograr un efecto determinado. Existe sin embargo, la posibilidad de hacer la siguiente precisión:

Aditivo alimentario es toda sustancia que no se consume normalmente como alimento, aunque tenga carácter alimenticio, que teniendo o no valor nutritivo se añade a un alimento con un fin tecnológico determinado, en cualquier fase de la fabricación, de la transformación, del tratamiento, del acondicionamiento, del envasado, del transporte, o del almacenamiento y que su incorporación o la de sus derivados en el alimento pueda afectar o afecte, directa o indirectamente, las características de dicho alimento.

Los aditivos pueden clasificarse de diferentes maneras, pero una de las más prácticas es por su funcionalidad. La clasificación del Codex Alimentarius (CA), desde el # 1 al # 23 es la siguiente:

Colorantes	Conservadores
Antioxidantes	Emulgentes
Espesantes	Gelificantes
Estabilizadores	Exaltadores del sabor
Acidificantes	Correctores de acidez
Antiaglomerantes	Almidones modificados
Polvos gasificantes	Antiespumantes

¹ Profesora Asociada. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Facultad de Ciencias Agropecuarias. A.A. 568, Medellín.

² Profesor Asociado. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Facultad de Ciencias Agropecuarias. A.A. 568, Medellín.

Agentes de revestimiento	Sales de fusión
Agentes de tratamiento de las harinas	Aromatizantes
Exaltadores de aromas	Enzimas
Edulcorantes artificiales	Impelentes
Fosfatos	

No todos estos grupos funcionales aportan aditivos para la industria de carnes, por lo cual se tendrán en cuenta solo algunos de ellos.

SAL (Cloruro de Sodio).

Se considera básico en la industria de carnes. Posiblemente este compuesto esté acompañando la carne desde que ésta comenzó a ser usada por los humanos como alimento.

La sal, además de contribuir enormemente con el sabor, proporciona una serie de funciones que facilitan el proceso de elaboración de los productos cárnicos, así como su conservación. Cuando la sal es usada en carnes, en ciertas concentraciones (aproximadamente al 5%), contribuye enormemente en volver disponible la proteína miofibrilar, la cual participa activamente en el proceso de estabilización de las emulsiones cárnicas, sistema de mayor importancia en los productos de pasta fina.

Cuando la sal es usada en concentraciones bajas, aproximadamente 5%, el efecto es el de aumentar la capacidad de retención de agua, básicamente por acción que los iones cloruro tienen sobre la carga de la proteína, separando las fibras y propiciando que el agua se aloje en los espacios creados. La sal de todas maneras compromete el agua presente, haciéndola menos disponible, lo cual contribuye al incremento de la vida útil.

Cuando es usada en concentraciones mayores (10% o mas), su efecto es contrario al de propiciar la hidratación de la carne por el compromiso del agua con la proteína, siendo mas bien el de competencia con ésta por el agua.

Cuando la sal contiene impurezas de cualquier orden, se convierte en un enemigo poderoso para el industrial, ya que los efectos de éstas pueden ir desde inactivar otros aditivos hasta ocasionar serios deterioros de calidad al producto.

NITRITO DE SODIO (NaNO₂)

Se hace referencia prácticamente al Nitrito de Sodio, ya que es la especie química más difundida para la realización del proceso de curado. El Nitrato de Sodio puede también usarse, pero por razones de seguridad su uso es muy restringido. Sólo para la elaboración de productos cárnicos curados madurados, se aceptan (o se usan) industrialmente, mezclas de Nitrito y Nitrato de Sodio.

La principal razón por la cual se adiciona el Nitrito a la carne es para lograr el color rosado característico de los productos curados, debido a la aparición del compuesto Nitrosil-hemocromo, el cual resulta de la unión del Oxido Nítrico con la Mioglobina y la posterior pérdida del residuo histidilo de la globina.

FOSFATOS

La acción de los fosfatos está enmarcada dentro del efecto que ellos causan a la proteína. Probablemente los fosfatos como material seco no propicien algo más que comprometer un poco el agua presente, pero cuando su acción se realiza sobre la proteína miofibrilar su efecto es importantísimo.

Los fosfatos incrementan la fuerza iónica de las soluciones en las cuales se encuentran y dado que la solubilidad de la actomiosina es mejor en soluciones de alta fuerza iónica, la solubilidad de esta proteína, la de más alta proporción en la carne, se mejora en forma importante. Ahora bien, cuando los fosfatos van acompañados de sal, la solubilidad de la actomiosina es mucho mayor.

Los fosfatos también propician el incremento del pH en las soluciones en las cuales se adicionen, esto hace que cuando se aplican a la carne, ésta desplace su pH a valores alejados de 5.4 en donde se presenta la menor capacidad de retención de agua.

Los fosfatos también son agentes quelantes de metales, existiendo una teoría acerca de su poder de captura del Ca^{2+} de la carne, en razón de la cual se explica su funcionalidad. En vista de que los fosfatos actúan como quelantes de metales, aguas duras usadas en carnes disminuirán el efecto de éstos sobre la solubilidad de la proteína, pero a la vez, por esta propiedad, tendrán efecto sobre la estabilidad de los productos en términos de su rancidez oxidativa.

Los fosfatos comprometen el agua presente, por lo cual ayudan a disminuir la disponibilidad de ésta; esto hace que se consideren con algún poder estabilizante, desde el punto de vista microbiológico de los productos.

El uso de los fosfatos en carnes es autolimitante, ya que el abuso en su dosificación ocasionará la saponificación de las grasas, proporcionando un sabor jabonoso a los productos.

Los fosfatos comúnmente utilizados en la industria cárnica son el fosfato monosódico (MSP), monopotásico (MKP), disódico (DSP), dipotásico (DKP), pirofosfato ácido de sodio (SAPP), tripolifosfato de sodio (STPP), tripolifosfato de potasio (KTPP), pirofosfato tetrasódico (TSPP), pirofosfato tetrapotásico (TKPP) y hexametáfosfato de sodio (SHMP).

Uno de los cuidados especiales a tener en cuenta cuando se usan fosfatos, es su solubilidad. En general el tripolifosfato de sodio es más soluble que el hexametafosfato y éste último más que el pirofosfato.

La sal, el nitrito y el fosfato soportan principalmente la teoría de emulsiones, justificando, además de lo presentado, su uso tecnológico particular.

TEORÍA DE EMULSIONES CÁRNICAS

Cuando se elabora un producto cárnico de pasta fina, y se adiciona a un *cutter*, carne, grasa, agua, sales, harinas, reproceso, preemulsiones, especias, entre otros materiales, coexisten cuatro sistemas principales: dispersión, solución, espuma y emulsión.

Se habla de dispersión, porque se tienen materiales que son insolubles en agua y se encuentran dispersos en ella, por ejemplo tejido adiposo, reproceso, algunas partes vegetales, etc. Se tiene una solución porque efectivamente, se encuentran disueltos algunos materiales que son solubles en agua, por ejemplo las sales de curación, algunas proteínas, etc. Se encuentra también agua retenida por las interacciones proteína-proteína formando un gel. Se tiene además una espuma, porque con el trabajo mecánico se incorpora aire a la fase dispersante, y por último se tiene una emulsión, ya que se encuentran estabilizadas dos fases que son inmiscibles, el agua y la grasa. Precisamente este último sistema es el que da el nombre a todo este complejo, posiblemente por ser el más importante y porque como tal, de él depende la apariencia del sistema global. Para productos emulsificados, el picado, ya sea en un *cutter* o en un equipo emulsificador, destruye la estructura celular; estando la actomiosina probablemente mejor representada como un sol. Las proteínas sarcoplasmáticas están en solución y las del tejido conectivo en suspensión. Las partículas grasas por debajo de 200 μ están suspendidas en la matriz agua - proteína. Aunque la miosina/actomiosina puedan emulsionar aceite en un sistema modelo, el término "emulsión cárnica" está siendo reemplazado por "pastón o mezcla cárnica" para indicar la naturaleza más compleja del sistema y hacer énfasis en la conducta de gelación y coagulación por calor de las proteínas cárnicas. La "emulsión" y el gel pueden contener la grasa y el agua y mantener la textura elástica a través de varios ciclos de transiciones de grasa sólida - líquida durante la cocción en el horno, durante el almacenamiento, congelado y preparación culinaria.

Una emulsión se define como un sistema estable de dos líquidos inmiscibles y precisamente, la emulsión cárnica es un sistema de dos líquidos (grasa y agua), estabilizados mediante un agente que provee la carne: la proteína como emulsificante. La mayoría de los autores indican que las proteínas miofibrilares, tienen mayor capacidad de emulsión de grasa que las proteínas sarcoplásmicas. Este hecho se explica por la forma de sus moléculas, que son bastante alargadas y con una superficie disponible para rodear las gotas de grasa, 50 veces superior al resto de las proteínas.

En el músculo se encuentran presentes proteínas de diferentes tipos. Proteínas miofibrilares, sarcoplasmáticas y del tejido conectivo, las cuales proveen diferentes propiedades y tienen diferentes características que son usadas para clasificarlas.

Para que la proteína cárnica, específicamente la proteína miofibrilar, pueda realizar el trabajo de estabilización del sistema, debe estar solubilizada, por lo tanto se requiere dar las condiciones físicas y químicas necesarias para ese fin a la proteína, durante el proceso, para asegurar que se encuentre “disponible” para realizar su función.

La calidad, concentración de proteína miofibrilar disponible y la relación proteína-grasa son factores que afectan la capacidad y estabilidad de las emulsiones. Las proteínas miofibrilares forman una película alrededor de los glóbulos de grasa, de manera que, cuando se someten al tratamiento térmico, coagulan y forman una red o malla proteica muy consistente, que retiene el agua y la grasa. En cambio, las proteínas del estroma, influyen negativamente en la estabilidad de la emulsión debido a que, con el tratamiento térmico, se contraen y posteriormente se transforman en gelatina, dejando a las gotas de grasa libres y originando roturas de emulsión y depósitos de grasa y agua, es por eso que se debe tener especial cuidado en la adición de cantidades importantes de este tipo de proteínas a determinados productos cárnicos para evitar defectos o pérdidas excesivas o adicionarlas en forma de preemulsiones previamente formuladas y controladas (a saber: emulsiones de garra, etc.).

La capa de proteína que rodea la grasa debe ser lo suficientemente fuerte para retener la grasa presente y muy flexible para resistir la licuefacción y expansión de ella durante el cocinado, el cual causa la desnaturalización proteica y formación de una red tridimensional estabilizada por hidrofobicidad y enlaces Hidrógeno.

En vista de que se han determinado las condiciones óptimas de extracción de la actomiosina, en términos de un intervalo de temperatura entre 0EC - 5EC, sal (NaCl) a concentraciones del 5% y fosfatos en valores próximos al 0.5% además del tamaño de partícula, resulta lógico que estas deben ser las condiciones que se vigilen y cumplan estrictamente cuando de extraer proteína en un *cutter* para realizar una emulsión cárnica se trata. El procedimiento entonces debe ser el siguiente:

- C Adicionar la carne magra (fría y molida) al *cutter*.
- C Adicionar la sal, los fosfatos y los nitritos y picar intensamente. En la medida que el material se caliente por efecto de la fricción de la cuchillas, adicionar parte del agua de la formulación en forma de hielo para mantener la temperatura entre 0EC y 5EC.
- C Una vez extraída la proteína (se observa un cambio en la textura de la pasta la cual se torna pegajosa), adicionar la grasa molida en disco grueso. Elaborar la emulsión (continuar el corte hasta obtener una pasta homogénea) permitiendo que se eleve hasta 15EC la temperatura.

- C Adicionar preemulsiones.
- C Adicionar reproceso.
- C Otros materiales.
- C Condimentos.

Frente a la pregunta, qué se acaba de formar en el *cutter*?, existen algunas teorías que lo explican. La primera de ellas tiene que ver con la teoría tradicional de las emulsiones, mediante la cual, una gota de grasa es recubierta por una capa de proteína y ésta a su vez es ligada al agua, dado su doble carácter (hidrofílica e hidrofóbica) lo cual da la estabilidad al sistema y coloca la proteína como agente estabilizante.

La segunda teoría tiene que ver con el hecho de que al extraer la proteína se forman enlaces entre los puntos reactivos de éstas que se encuentran expuestos, formando una matriz proteica, una especie de esponja en cuyos alvéolos se aloja el agua y la grasa, la estabilidad de la emulsión dependerá de la eficiencia de extracción de ésta (proceso que, desde el punto de vista mecánico, se ve altamente favorecido por el uso de emulsificadores), de tal manera que si se presenta coalescencia es debida a que se excedió la cantidad de grasa que podía alojar la matriz (por deficiencia de proteína disponible), y que si existen excesivas pérdidas de peso en el producto final, estas se deben a la misma razón, pero en consideración al agua.

En este punto es preciso introducir los conceptos de balance de grasa y balance de humedad, los cuales permiten calcular las cantidades máximas de grasa y agua que pueden adicionarse a un pastón cárnico cuando se usan condiciones como las descritas para la extracción de la proteína, prácticamente sin riesgo de que se presente la coalescencia, siempre y cuando se realice un tratamiento térmico adecuado.

El balance de grasa permite calcular la máxima cantidad de grasa a adicionar a una mezcla, teniendo en cuenta la cantidad máxima que puede estabilizar la proteína presente. Se efectúa de la siguiente manera:

Cantidad de grasa máxima que estabiliza la proteína presente - Cantidad de grasa real presente > 0

Para el cálculo de la cantidad de grasa máxima se recurre al valor de ligazón, el cual no es más que la cantidad de grasa que puede estabilizar la proteína de un corte, cuando ella se extrae en condiciones óptimas normales, expresada en porcentaje, es decir, el balance de grasa se expresaría así:

Balance de grasa:

$$\sum_{i=1}^n VI_i \times m_i \quad \& \quad \sum_{i=1}^n \%G_i \times m_i \quad \geq 0$$

donde:

VI_i = es el valor de ligazón del corte i

% G = es el % de grasa del corte i

m_i = la masa en Kg del corte i

Por último se considera el balance humedad el cual permite calcular la máxima cantidad de humedad a adicionar a una mezcla, teniendo en cuenta la cantidad máxima que puede estabilizar la proteína y los materiales secos presentes.

Debe considerarse que la proteína tiene la posibilidad de retener, en promedio, cuatro veces su peso en agua, los materiales secos retienen hasta una vez su peso en agua. Para materiales especiales, tales como almidones modificados, gomas, carrageninas, entre otros, deben usarse los valores de capacidad de retención de humedad característica de cada referencia de material. Se efectúa de la siguiente manera:

Cantidad máxima de humedad que retienen los materiales presentes - Cantidad de humedad real que presenta la fórmula \$ 0

Balance de humedad:

$$\sum_{i=1}^n CRA_i \times m_i \quad \& \quad \sum_{i=1}^n \%H_i \times m_i \quad \$ \quad 0$$

Donde:

CRA_i = es la capacidad de retención del agua del corte i

% H_i = es el % de humedad del corte i

m_i = es la cantidad de masa, en kg, del corte i

En una emulsión se pueden producir una serie de fenómenos que la modifican o incluso la destruyen, como son: desplazamiento de los microglóbulos de la fase discontinua, bien hacia la superficie, o bien hacia el fondo, según su densidad; floculación por aglomeración de partículas; coalescencia por unión o fusión de partículas que aumentan de tamaño y disminuyen en número y cambio de emulsión o inversión de fase por pasar del tipo aceite en agua al tipo agua en aceite, o viceversa; lo que trae como consecuencia defectos de los productos.

El aumento de la fuerza iónica favorece la solubilización de la proteína cárnica, lo que incrementa el poder emulsificante. En realidad existe una relación crítica entre el pH y la fuerza iónica en la formación de la emulsión, ya que los iones mejoran la capacidad de emulsión debido a que favorecen el desdoblamiento de las moléculas,

incrementándose de este modo el área efectiva como membrana interfásica. La influencia del pH se debe entre otras causas a que cerca del punto isoeléctrico de las proteínas miofibrilares, la solubilidad disminuye notablemente, por lo que disminuye la aptitud para la formación de emulsiones. Además, como la carga neta de las proteínas en este estado es igual a cero, no pueden contribuir a la estabilidad electrostática de las partículas.

Para productos estabilizados por amarre y para la estabilización de la grasa en mezclas crudas, varios autores han sugerido que membranas proteicas se depositan alrededor de los glóbulos de grasa estabilizando la mezcla cárnica por la teoría clásica de la emulsificación. Las fibras musculares hinchadas y la proteína miofibrilar solubilizada incrementan la solubilidad de la matriz continua de proteína la cual estabiliza las dispersiones de grasa en mezclas crudas.

ACELERADORES DE LA CURACION

Es posible la adición de sustancias que propicien el mejor estado de la Mioglobina, para su reacción con el óxido nítrico (agentes reductores), y/o la adición de sustancias que disminuyan el pH (agentes acidificantes) y que por tanto aceleren la aparición del óxido nítrico, el cual es reactivo principal para la reacción del curado.

Obsérvese que mientras el primer grupo de reactivos buscan que toda la Mioglobina presente reaccione, el segundo busca que todo el Nitrito de Sodio se convierta en óxido nitroso, lo cual puede resumirse en un excelente curado. Este hecho tiene un efecto secundario digno de resaltarse y es que tiende a disminuir el Nitrito de Sodio residual, evitando de paso reacciones indeseables.

Los compuestos químicos más usados en el primer grupo son: el ácido ascórbico o su isómero el ácido eritórbito, o más profusamente difundidos, sus sales sódicas. En el segundo grupo se tienen la Gluconato delta Lactona (GDL) y el Pirofosfato ácido de Sodio.

ANTIOXIDANTES

Uno de los ingredientes que en proporción importante se encuentra presente en los productos cárnicos es la grasa, la cual es susceptible a diversos deterioros, entre los cuales el más común es la oxidación. Para prevenir este problema se usan diversos compuestos que actúan directamente inhibiendo los cambios oxidativos. El Butil hidroxitolueno (BHT), el Butil hidroxianisol (BHA), la Terbutil hidroquinolina (TBHQ) y el Propil galato son usados con este fin. Algunos compuestos actúan mejorando la actividad de estos compuestos y eventualmente son usados para potenciar su acción; entre otros se tiene el Ácido Cítrico, el Citrato Monoglicérico y el Monoisopropílico.

COMPUESTOS SABORIZANTES

Edulcorantes: Generalmente este tipo de compuestos se adiciona a los productos cárnicos durante su elaboración con diferentes objetivos: el primero de ellos es para contrarrestar el sabor de la sal; el segundo es para propiciar un mayor tiempo de vida útil de los productos, ya que compromete agua presente y disminuye la actividad del agua; la tercera razón es para propiciar color durante el proceso de horneado, ya que se sucede una reacción de pardeamiento. Por último, cuando se trata de productos cárnicos curados madurados, el azúcar provee la fuente energética para los microorganismos acidificantes usados para tal proceso.

Espicias y Condimentos: Las especias y los condimentos son aquellos ingredientes usados en los diversos productos para caracterizarlos por el sabor. Algunos de ellos pueden proveer, además, alguna otra característica benéfica, por ejemplo tener algún efecto antioxidante.

Las especias usadas en carnes provienen de diferentes partes de las plantas. El ajo, la cebolla y la cúrcuma provienen de la raíz; la canela, el apio y el cilantro provienen del tallo; el laurel, el cilantro, el perejil y el eucalipto proviene de las hojas; el clavo proviene de las flores; el anís, la canela, la nuez moscada, el coriandro y el comino provienen de la semilla.

El uso de especias naturales, por tratarse de entes biológicos, generalmente no permiten estandarizar los sabores de los productos ya que, rara vez, se trata de materiales uniformes. Ahora bien, el uso de material vegetal directamente en productos cárnicos, no es muy aconsejable por la contaminación que pueden aportar, a menos que se haga un tratamiento de desinfección previo, que en el mejor de los casos, cuando no tiene gran incidencia en las características organolépticas, resulta costoso.

Estos antecedentes conducen a que se obtengan a partir de ellos, principios activos de aroma (aceites esenciales) y sabor (oleorresinas), las cuales además de no causar los problemas microbiológicos de sus predecesoras, proporcionan un material plenamente estandarizado para ser usado también en productos estandarizados.

Humo: El efecto del humo en los productos cárnicos es de diversa índole: el humo proporciona color, sabor, efecto antioxidante y sin lugar a dudas facilita la formación de piel en algunos de ellos. Cuando el proceso de ahumado se realiza en caliente, proporciona además, el complemento a la reacción del curado, propiciando la formación del nitrosilhemocomo.

Para evitar los efectos indeseables del humo, cuando se obtiene directamente en las plantas de carnes haciendo combustir madera, entre los que se pueden nombrar además

de la desuniformidad entre diferentes aplicaciones, la aparición de compuestos nocivos para la salud del consumidor y sabores desagradables; se han obtenido mediante diversos procesos, humos líquidos y en polvo, altamente refinados, que responden a las necesidades de inocuidad y estandarización reclamadas por industriales de la carne y consumidores.

Comercialmente se encuentran diversas referencias que permiten dar feliz solución a, prácticamente, cualquier necesidad que se tenga frente a un proceso de ahumado para caracterizar un producto.

El humo líquido se obtiene mediante el proceso que se representa mediante el siguiente diagrama de flujo:

Aserrín ==> Secador ==> Generador de humo ==> Columna de absorción ==> Tanque colector ==> Filtraciones sucesivas y purificación.

Este proceso arroja un producto que contiene fundamentalmente ácidos, que proveen astringencia al sabor, contribuyen a la formación de piel y aceleran la curación; fenoles, que se constituyen en el principal componente del sabor, actuando además como agentes de control microbiano y, carbonilos que se constituyen en agentes secundarios de sabor, además de participar en la formación de la piel por su efecto en la coagulación de la proteína.

Para la producción industrial de estos humos se usa fundamentalmente maderas mas pesadas y menos resinosas, tipo maple, roble y nogal, para producir humos acuosos, acuosos con polisorbatos, acuosos neutralizados, oleosos y secos.

Estos humos así producidos tiene amplias ventajas frente a los humos tradicionalmente obtenidos, como son la uniformidad en el sabor, aroma y color; su uso incrementa la capacidad de producción en las plantas, mayor vida útil de los productos (por sus propiedades antioxidantes y bacteriostáticas), operación mas limpia, ausencia de sustancias peligrosas y control de emisiones.

Las técnicas fundamentales de aplicación consisten en adición directa a la emulsión o pasta, duchado o inmersión, adición a salmueras.

La absorción de los componentes del humo, las cuales determinan el sabor y el color, fundamentalmente cuando éste se aplica por duchado o inmersión, son: concentración del humo, tiempo de exposición, temperatura y tipo de humo líquido.

Una forma práctica de aplicar humo mediante duchado o atomización, consiste en establecer la concentración óptima que provee el sabor y color de ahumado deseados;

determinar el porcentaje de acidez de esta solución óptima; cuando se inicia la producción, medir el nivel de acidez en el depósito cada una o dos horas y, adicionar el volumen apropiado de humo líquido fresco para mantener el volumen y concentración constantes.

El humo líquido también puede aplicarse en salmueras, a las cuales también proporcionará sabor, propiedades antioxidantes, propiedades antimicrobianas y propiedades antifúngicas, entre otras.

Proteínas hidrolizadas: Las proteínas vegetales hidrolizadas son usadas como base de sabores a carne. Generalmente se usa para este fin la proteína de soya, la cual mediante hidrólisis enzimática, alcalina o ácida, proporciona el material que es usado solo, haciendo parte de mezclas con otros saborizantes y especias o vehiculizado sobre polvos, para saborizar diversos productos.

COLORANTES

“La comida entra por los ojos”, es un adagio popular de amplio arraigo en nuestra cultura, el cual no es más que el reconocimiento del papel preponderante que juega el color en los alimentos.

La legislación sobre colorantes no es igual en todo el mundo. En algunas partes, sólo son aceptados los colorantes de origen natural, mientras que en otras son aceptados algunos de origen sintético.

La curcumina, la riboflavina, la cochinilla, la clorofila, el caramelo, los carotenoides, las xantófilas, las antocianinas y, la tartrazina, la azorrubina (o carmiosina), el amaranto y la eritrosina son algunos de los colorantes que se usan en carnes.

CAPITULO V

CONSERVACION DE LA CARNE

Claudia María Arango Mejía¹
Diego Alonso Restrepo Molina²

Como complemento indispensable al proceso de obtención de la carne, se considera el o los procesos mediante los cuales la carne es conservada en buenas condiciones para ser usada, bien como producto fresco para la preparación culinaria directa, o como materia prima básica para la elaboración de productos.

Los cambios que determinan la pérdida de calidad de la carne son de todos los tipos, tanto físicos como químicos y microbiológicos, pero los que revisten mayor gravedad y se producen más rápidamente son los cambios microbiológicos, los que además propician alteraciones de los otros dos órdenes.

La contaminación de la carne de los animales de abasto público o de caza es inevitable, el mismo proceso de sacrificio y la posterior exanguinación, propician la apertura de nuevas vías de invasión de los microorganismos del tracto intestinal a todo el cuerpo del animal y si se considera que mediante la exanguinación se están eliminando los leucocitos y anticuerpos, es muy alta la posibilidad de difusión de estos microorganismos. Adicional a esto, deben considerarse las condiciones de temperatura (39°C aprox.) y de pH (7.0 aprox.) naturales de la canal de un animal (bovino, porcino, ave) sano, con un buen manejo premortal, que no sólo no dificultan sino que favorecen la proliferación microbial.

Mediante la puesta en práctica de procedimientos como la rápida evisceración, el uso de implementos y utensilios limpios, correctas y eficientes operaciones de faenamiento y aplicaciones de ácido láctico superficial a las canales, puede llegarse comercialmente

¹ Profesora Asociada. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Facultad de Ciencias Agropecuarias. A.A. 568.

² Profesor Asociado. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Facultad de Ciencias Agropecuarias. A.A. 568.

a la minimización de la carga bacteriana inicial, pero no a la eliminación total. Por esto, una vez obtenida la canal debe, inmediatamente, aplicarse un método de conservación que permita prolongar el tiempo de vida útil del producto, posibilitando un real aprovechamiento del mismo.

El método a escoger debe reunir una serie de condiciones que pueden resumirse en cinco aspectos principales:

- C Efecto sobre la calidad del producto: Esta característica debe entenderse como que no tenga efecto negativo, o por lo menos no severo, desde el punto de vista físico y químico sobre su calidad.
- C Implicación de riesgo sanitario para los manipuladores o consumidores: En caso de ser positiva esta consideración, el método en cuestión no tendría aplicación comercial.
- C Posibles fallas del método: Esto implica que si el procedimiento de conservación elegido no presenta una respuesta uniforme frente al mismo estímulo, el método no es confiable y por tanto es no aplicable.
- C Problemas relativos a la distribución y comercialización del producto: Específicamente deben considerarse los condicionamientos a los cuales queda sujeto el producto, una vez sea conservado mediante el procedimiento en cuestión, definiendo claramente qué tipo de inconvenientes puede acarrear.
- C Evaluación económica e ingenieril de la aplicación comercial del método: Se refiere a la determinación de la factibilidad técnica económica del proceso en consideración.

En general, los métodos de conservación de canales, carne y productos cárnicos se fundamentan en procesos físicos (incrementos y decrementos de la temperatura, transferencia de masa, modificaciones en la presión, colocación de barreras), químicos (adición de sustancias) y físico-químicos.

PROCESOS FÍSICOS

Modificaciones de la temperatura: Los métodos particulares para la modificación de la temperatura que se emplean para carnes se fundamentan exactamente en los mismos principios que para cualquier sustancia en la naturaleza, es decir, mediante los procesos de flujo de energía térmica, sólo que las sustancias que participan directamente en los procesos, deben reunir, además de unas buenas características térmicas, características de compatibilidad con la carne o el producto cárnico a tratar.

Las eventuales incompatibilidades que puedan presentarse, son subsanadas mediante procedimientos complementarios, que minimizan o eliminan los efectos negativos derivados del proceso principal de conservación.

Decrementos de la temperatura: Para los procesos de conservación de canales y carne fresca, son comúnmente usados los métodos que implican la disminución de la temperatura como mecanismo para retardar la proliferación de microorganismos, así como para disminuir la velocidad con que transcurren las reacciones químicas y enzimáticas deteriorativas de la carne. En la medida que el enfriamiento es más severo, mayor será el control que se puede efectuar; además, si la disminución de la temperatura es tan drástica que el agua presente cambios de estado, el control es mucho mayor ya que la disponibilidad de agua, como medio universal para las reacciones, es menor.

Es claro que mientras más drástico sea el descenso de la temperatura, más costoso será el proceso, así mismo, mientras mayor sea la velocidad del descenso, es decir mientras más rápido se obtengan las condiciones finales, mayor será el costo.

Este costo de proceso está fundamentado en la cantidad de energía a retirar para el caso de los procesos que impliquen disminución de la temperatura y en el tiempo disponible para hacerlo, lo cual está en relación íntima con la calidad y el costo del material que lo hace. Parece lógico que cuando el fluido refrigerante sea aire ambiental, el costo del enfriamiento, por grado de temperatura, sea mucho menor que si se hubiese utilizado para este proceso un aire pre-enfriado y pre-humidificado, condiciones que a la vez mejorarán el intercambio calórico disminuyendo el tiempo para la obtención de las condiciones finales, lo cual incide directamente en la calidad del producto .

Cuando el material a tratar es un producto cárnico, el método más usado consiste en incrementar la temperatura rápidamente, con el fin básico de destruir los microorganismos potencialmente toxigénicos y los causantes de alteraciones que pueda contener el producto. En la medida en que el tratamiento sea severo, la efectividad del tratamiento será mayor y por ende más costosa, sin embargo, el tratamiento no garantiza que el producto quede libre de ser recontaminado, o de la microflora remanente (en el caso de que el tratamiento no asegure esterilidad) no se active, por lo que estos métodos siempre van acompañados de otro u otros métodos de conservación complementarios; un buen empaque, modificación de la atmósfera, disminución de temperatura.

Las observaciones hechas para los tratamientos térmicos que implican disminución de temperatura, relacionadas con la efectividad del proceso y el costo, son igualmente válidas para los procesos que implican incrementos de temperatura. Así mismo, son válidos los mecanismos de transmisión de calor, solo que acá la dirección del flujo calórico es en sentido contrario

En los procesos de enfriamiento lo que se transfiere desde el material (canales, carne, productos) hasta el fluido refrigerante es energía, energía térmica, al igual que en los procesos de calentamiento.

Independiente de quien sea el que entrega energía o de quien sea el que la reciba, solo existen tres mecanismos para este intercambio calórico: la conducción, la convección y la radiación.

En la transmisión de calor por conducción se intercambia directamente energía molecular, cediendo las moléculas de mayor energía parte de ella, a las moléculas vecinas de menor energía. Es el mecanismo predominante cuando un sólido se calienta o enfría.

La transmisión de calor por convección se caracteriza por el movimiento de grupos de moléculas energizadas, el cual puede ser natural (por cambios de densidad) o inducido, llamándose libre y forzado. Es el mecanismo predominante cuando un fluido se calienta o enfría, sirviendo como medio refrigerante o calefactor.

El tercer mecanismo es el de radiación en el cual se trasmite energía por ondas electromagnéticas.

Con el propósito de ilustrar esta situación considérese una canal de un bovino, recientemente obtenida y en la sala de oreo de un matadero ubicado en una zona fría. La canal a 39°C está radiando calor al ambiente y a todos los objetos que la rodean, así mismo se está enfriando, entregándole energía térmica al aire circundante, es decir, intercambiando calor por convección con el aire circundante y ella misma enfriándose por conducción.

Microscópicamente lo que sucede en este caso es que las moléculas calientes de la superficie de la canal, están en contacto directo con una capa de moléculas frías de aire que están recubriendo la canal, estas moléculas son energizadas por las de la superficie de la canal que a la vez están colocándose en equilibrio térmico con éstas, cediéndoles parte de su energía en forma de calor. Allí el intercambio calórico es por conducción. Al interior de la canal lo que sucede es que las moléculas vecinas a las de la superficie que cedieron energía (disminuyendo su temperatura) están en equilibrio térmico con ellas cediéndoles a la vez parte de su energía y por ende, disminuyendo su temperatura; así sucesivamente continúa el fenómeno en toda la canal entre capas de moléculas adyacentes. Es claro que aquí se configura el clásico mecanismo de transmisión de calor por conducción.

Lo que sucede en el aire es que las moléculas que estuvieron en contacto con las de la superficie de la canal se energizaron, aumentando su temperatura y disminuyendo su densidad, ascendiendo libremente en un medio más denso que ellas y por supuesto, chocando con otras moléculas menos energizadas, a las cuales transmiten parte de su energía, configurando así el clásico mecanismo de transmisión de calor por convección.

Cuando un producto cárnico escaldado es expuesto al vapor de agua para su cocción, los fenómenos que se suceden son exactamente los mismos que los descritos en el ejemplo anterior, lo único que cambia es la dirección del flujo calórico, aquí el fluido no se calienta sino que se enfría y el producto no se enfría sino que se calienta.

La rapidez para la obtención de las condiciones finales deseadas depende de varios factores:

1. La naturaleza y composición del material: Las propiedades térmicas del material dependen de este factor.

La capacidad calórica y la conductividad de la carne magra, son diferentes a las de la grasa y las de éstas a su vez, diferentes a las del hueso. Así mismo, la capacidad calórica de la carne de pollo es diferente a la de la carne del pescado, además, la capacidad calórica puede variar de un músculo a otro dentro del mismo animal, por esto se habla de propiedades globales.

La carne de pescado en promedio, tiene una mayor capacidad calórica que la carne de cerdo, esto significa que para calentar 1 kg de carne de pescado 1°C , se debe gastar más energía que para calentar 1 kg de carne de cerdo, 1°C .

La carne en general, tiene una mayor conductividad térmica que la grasa, esto quiere decir que la grasa se comporta como un aislante térmico, comparativamente con la carne, en otras palabras, será mucho más difícil, más prolongado y más costoso, calentar o enfriar una carne grasa que una carne magra cuando el resto de condiciones permanecen invariables.

2. El tamaño y el espesor del material a tratar: A mayor tamaño del material mayor dificultad, menor velocidad de flujo de calor; a mayor espesor más lento, menor la velocidad del flujo de energía térmica. A mayor tamaño y espesor más energía térmica tendrá que entregarse o retirarse, requiriéndose mayor capacidad del fluido de intercambio.

3. Área de intercambio: El área de intercambio calórico es directamente proporcional a la tasa de flujo de calor. A mayor área de intercambio calórico, mayor tasa de transmisión de calor. Un embutido cárnico de 2 m de largo, calibre 28 y de 1.5 Kg. de peso, se calentará o enfriará más rápido que otro calibre 50, del mismo peso pero más corto, esto por efecto del área combinado con el efecto del diámetro.

4. Diferencia de temperatura: A mayor diferencia de temperatura entre el fluido de intercambio y el cuerpo (canal, carne, producto), la rapidez con que transcurre el proceso es mayor. Es mucho más fácil calentar una salchicha a 72°C con vapor de agua a 150°C que con vapor a 96°C , ya que el "potencial de acción", es mayor en el primer

caso que en el segundo.

5. Naturaleza y composición del fluido de intercambio: Se refiere exactamente a los mismos factores que se consideraron en el numeral 1, sólo que acá el material considerado es el fluido de intercambio calórico. Nuevamente la capacidad calórica y la habilidad para la convección térmica (coeficiente de transmisión de calor por convección), serán los factores a tener en cuenta. La capacidad calórica puede entenderse para fines prácticos, como la capacidad de ceder o recepcionar una cantidad de energía térmica por cada unidad de masa y por cada grado de temperatura, es decir, un fluido que tenga una capacidad calórica muy baja estará pobremente capacitado para ceder, o "robar" calor a un cuerpo o a otros fluidos, así mismo, si tiene un bajo coeficiente de transmisión de calor por convección, su velocidad de realización del proceso será menor. En la medida en que estas dos condiciones mejoran, el costo del material más el asociado con su uso, se incrementan.

Desde el punto de vista del proceso de transmisión de calor, éstos son los factores más importantes a tener en cuenta para hacerlo posible, sin embargo, por tratarse de un alimento tan susceptible a la pérdida de calidad, debe tenerse especial cuidado para realizar los procesos de intercambio calórico, de tal manera que la pérdida de calidad, medida en términos diferentes al parámetro microbiológico sea mínima.

Refrigeración:

Modificación de temperatura: El proceso de refrigeración para canales y carne se entiende como la disminución de su temperatura hasta valores próximos al punto donde se inicia congelación del agua de la carne, es decir, valores cercanos a -1.5°C . Normalmente se considera que la carne, conservada en refrigeración ha estado a una temperatura en un intervalo de 0°C a 4°C .

Debe distinguirse claramente la diferencia entre la refrigeración y la conservación en refrigeración. En el primer proceso se disminuye la temperatura hasta un valor determinado en el intervalo de refrigeración, en el segundo proceso lo que se hace es mantenerla en este intervalo.

Las demandas energéticas de estos dos procesos son diferentes, siendo generalmente mucho mayores las relativas a la refrigeración que al proceso de conservación en refrigeración.

La forma de hacerlo varía con la especie y con las condiciones particulares de la canal y de la carne.

Las canales bovinas una vez obtenidas se encuentran a una temperatura próxima a los 39°C , permitiendo poder establecer un aceptable potencial de acción con el medio ambiente que puede hallarse a 22°C , por ejemplo. Si se aprovecha esa diferencia de

temperatura entre la canal y el ambiente en un sitio que bien puede ser una sala del matadero, la primera fase del proceso de refrigeración se cumplirá allí, permitiendo además que comience a transcurrir parte de los procesos bioquímicos asociados con la muerte y que el agua de lavado de la canal (práctica común en las salas de sacrificio) sea eliminada de la misma, bien sea por goteo o por evaporación. La disminución de la temperatura que se produce aquí es poca, básicamente por el fluido de enfriamiento usado, aire natural, que tiene muy baja capacidad de enfriamiento, sin embargo, el ahorro energético, en algunos casos, puede ser importante. Este proceso conocido como “oreo” puede entenderse como una pre-refrigeración.

La refrigeración de canales se realiza básicamente con aire frío, en una cámara aislada térmicamente hasta conseguir las condiciones finales deseadas. Se varía generalmente la velocidad del aire y la calidad del mismo, esta última propiedad se refiere a la humedad relativa. El agua de humidificación mejora las condiciones térmicas del aire. Un aire seco es menos buen refrigerante que otro a la misma temperatura pero con un 100% de humedad. La velocidad del aire también incide sobre la rata de pérdida del calor de la canal. Una vez consideradas estas características se determina que la mejor forma de enfriar canales de bovino con aire es saturándolo de humedad y moviéndolo a altas velocidades lo que se logra con un proceso conocido comercialmente como *turbo-chill*, pero es costoso. Condiciones de velocidad del aire más bajas y humedades relativas bajas, dan como resultado tiempos de refrigeración prolongados, con el respectivo efecto sobre la calidad y pérdidas importantes de humedad por evaporación. Velocidades bajas con humedades relativas altas, acortan un poco el tiempo de refrigeración, disminuyen las pérdidas por evaporación y humedecen la superficie de las canales, favoreciendo la proliferación de microorganismos.

Estos dos últimos métodos son menos costosos que el primero, pero también, menos eficientes.

Podría pensarse en un fluido de mayor capacidad de refrigeración para ser utilizado en canales de bovino, pero los que mejoran las condiciones térmicas del aire húmedo tienen efecto negativo sobre la canal, comunicando colores, olores y sabores anormales. Un acondicionamiento previo de la canal implica un gasto económico importante que no se justifica para este tipo de proceso.

Una canal más grande se enfriará más lentamente que una pequeña, así como una canal más magra se enfriará más rápidamente que una más grasa, perdiendo más humedad la primera durante el proceso de enfriamiento.

Las canales de cerdo se refrigeran generalmente astilladas (sin cabeza y sin espinazo) con el fin de facilitar el flujo de aire a su alrededor, evitando la formación de zonas “muertas” y volviendo el proceso más eficiente, al retirar parte del material no deseado.

En consideración a que las canales de cerdo no son despellejadas y a que contienen normalmente una grasa de cobertura (capa aislante) importante, los tiempos para la obtención de las condiciones finales son largos, teniendo en cuenta su tamaño relativamente bajo.

Los métodos generales de refrigeración usados en bovinos, pueden ser usados en las canales porcinas.

Las canales de pollo, al ser consideradas con piel y dado el color de su musculatura y su tamaño, ordinariamente son refrigeradas con agua fría, existiendo enfriadores continuos en co y en contracorriente, con capacidad suficiente para que, sin causar daño apreciable al producto, se puedan obtener las condiciones finales en tiempos relativamente cortos.

La refrigeración de las canales de pescado no es muy conveniente como medio de conservación, ya que la canal puede estar contaminada con bacterias psicrófilas que a las temperaturas de refrigeración pueden proliferar, posibilitando la descomposición del mismo. Esta consideración explica por qué el tiempo de vida útil de la carne de pescado es mucho menor a las mismas condiciones de refrigeración, que las carnes rojas, las cuales normalmente están contaminadas por bacterias mesófilas que se inhiben en temperaturas inferiores a 10°C.

No obstante la anterior consideración, se sigue usando la práctica de la refrigeración con hielo para el transporte del pescado fresco, en camiones sin ninguna o escasa adecuación, para tal fin. En este caso, el hielo fundido (agua helada) si bien proporciona un mejor fluido de enfriamiento que el hielo, porque está en contacto directo con el producto, también está proporcionando un medio de cultivo homogéneo a toda la carga. El balance técnico económico de esta rudimentaria operación, generalmente es negativo, recomendándose la congelación como mecanismo de conservación para este tipo de carne.

El proceso de conservación en refrigeración es mucho más económico, ya que sólo se requiere mantener el producto en condiciones estables, ocasionando una demanda energética del equipo que la proporciona, mucho menor que en el proceso de refrigeración.

Normalmente, cuando se realiza industrialmente la conservación de canales y carne, las canales “oreadas” son sometidas al proceso de refrigeración en cámaras especialmente diseñadas para tal fin y, una vez obtenidas las condiciones finales son trasladadas al cuarto de conservación, el cual generalmente tiene un equipo de refrigeración mucho más pequeño y menos potente que el de la primera, funcionando automáticamente mediante sensores térmicos que se activan en los extremos del intervalo de temperatura escogido para conservación.

El equipo de refrigeración debe escogerse teniendo en cuenta principalmente los siguientes aspectos:

1. la temperatura máxima a la que entra la carga a refrigerar,
2. las propiedades térmicas más adversas, de acuerdo con la composición de los materiales,.
3. la capacidad máxima de carga,
4. el material de construcción de la cámara y el área,
5. las condiciones térmicas del fluido refrigerante.

El equipo de conservación en refrigeración debe escogerse teniendo en cuenta, principalmente:

1. la temperatura ambiente externa y el intervalo de temperatura de funcionamiento,
2. materiales de construcción y área,
3. tiempo durante el cual la cámara permanece abierta,
4. personal y equipo extraño que permanece dentro y tiempo de permanencia.

Industrialmente existen otros métodos de conservación por disminución de temperatura, los cuales, por lo costosos, no tienen aplicación directa sino cuando el tiempo de conservación es muy prolongado o la carne es muy susceptible de alteración.

Congelación: La congelación es un método ideal para la conservación de carnes o productos cárnicos por tiempos prolongados.

Los mecanismos de transmisión de calor para la congelación son los mismos que para la refrigeración, sólo que aquí, las condiciones son más extremas. En este proceso se pretende disminuir la temperatura por debajo de aquella en la cual comienza a congelar el agua presente, es decir, por debajo de -1.5°C aproximadamente. En la medida en que el agua presente en la carne se va congelando, los solutos disueltos en ella se van concentrando, haciendo por ello, por propiedades coligativas, que el punto de congelación se vaya deprimiendo cada vez más, por esta razón no puede hablarse de un punto de congelación determinado para carne.

Comercialmente se usa el término congelación de la carne para designar el proceso mediante el cual la temperatura de la carne desciende hasta -18°C , y conservación en congelación, al proceso mediante el cual se dan condiciones de estado estable a la carne congelada, minimizando la velocidad de los cambios deteriorativos que se estén sucediendo en ella.

Para la consecución de estas condiciones finales es lógico pensar además, en el uso de otros fluidos refrigerantes diferentes al aire, sin descartarlo obviamente, que posean propiedades térmicas más ventajosas que las de él, incurriendo en otros costos como son

los de protección del material, con tal de que al final, el proceso muestre un buen balance técnico económico.

Como condición indispensable, por el efecto que puede causar la congelación en la carne o en los productos cárnicos, debe considerarse la protección de ella mediante adecuados empaques.

El aire forzado a muy bajas temperaturas y a muy altas velocidades, es usado en equipos llamados túneles de congelación, los cuales no son más que cámaras con diseño de superficies suavizadas y que permiten el trabajo por tandas. En razón a su diseño, el equipo no presenta zonas muertas para el flujo, lográndose con ello una renovación permanente del aire refrigerante, generalmente se introduce allí la carne deshuesada y adecuadamente protegida mediante materiales sintéticos que impidan las pérdidas de humedad que pueden ser muy elevadas. Los paquetes de carne son arrumados en capas, de tal manera que el flujo de aire sea posible por debajo y por encima de la capa. A este método se le denomina congelación de túnel.

El uso de fluidos refrigerantes directamente, sin un fluido intermediario como el aire o el agua, también es posible; se han diseñado para tal fin congeladores verticales y horizontales de placas que permiten el intercambio calórico de la carne con el fluido, a través de paredes metálicas (inertes para las carnes) y que acortan el tiempo de proceso, por el efecto combinado de las placas refrigerantes y el espesor de los bloques de carne.

El uso de salmueras previamente enfriadas, como fluidos refrigerantes también es posible; su uso en carnes está limitado a pequeñas piezas muy bien empacadas en materiales resistentes a la humedad y a la permeabilidad a olores y sabores.

Y muy cercano al anterior sistema se encuentra el uso de gases licuados, Nitrógeno, Bióxido de Carbono, los cuales mediante un sistema diseñado en contracorriente permite aprovechar todo el calor latente y sensible del fluido refrigerante. Este método de congelación aunque muy eficiente es bastante caro.

En el proceso de congelación, el agua presente en la carne como agua libre e inmovilizada, cambia de estado, pasando a ser una sustancia menos densa, es decir, la misma cantidad de agua, una vez congelada, ocupa mayor volumen, lo cual hace pensar que si los cristales se forman por agregación habrá sitios donde la presión causada por la expansión del agua será tal que ocasionará daño en el tejido, el cual se estará manifestando en las pérdidas durante el proceso de descongelación.

El congelamiento rápido hace que los cristales de hielo se formen orientados y muy delgados, por una menor migración del agua, de modo que la carne no sufre una lesión mayor en el tejido. Sin embargo, la carne congelada rápidamente presenta una coloración blanquecina en la superficie por efecto óptico debido a la calidad de los

cristales de hielo formados. Para evitar este efecto se recomienda descongelar la superficie y recongelarla lentamente (glaseado); sin embargo, la recongelación en carnes no está muy recomendada ya que el deterioramiento del tejido es cada vez más importante, además se expone el producto o por lo menos parte, durante la descongelación a temperaturas relativamente altas que pueden favorecer el crecimiento de microorganismos, en un medio que es bastante adecuado para ello.

Diversos autores concuerdan al aseverar que, a pesar de existir múltiples métodos de descongelación de la carne, las pérdidas totales post-preparación culinaria son semejantes en todos ellos.

Influencia del enfriamiento sobre la calidad de la carne: Asociado al proceso rápido de enfriamiento de la carne procedente de canales recién faenadas, se presenta un fenómeno de dureza anormal conocido como *Cold Shortening* (acortamiento por frío), el cual se presenta cuando las canales recién faenadas alcanzan temperaturas en el intervalo de 10°C a -1°C, durante las 10 primeras horas post-mortem, aproximadamente. Este límite temporal se traza previendo que aún no se haya establecido plenamente el rigor mortis, ya que la condición indispensable para que se presente el *Cold Shortening* es la presencia de ATP o la posibilidad de síntesis lo cual implica que aún el pH no haya descendido suficientemente.

Lo que sucede es que los iones Ca^{2+} que se encuentran fuera del retículo sarcoplasmático en las miofibrillas en el momento en que la temperatura desciende por debajo de 10°C debido a fenómenos de membrana, no son transportados de vuelta al retículo, provocando una intensa contracción muscular ligada al incremento en el metabolismo muscular (Woltersdorf, 1989).

Para bovinos, donde más profusamente se ha estudiado el fenómeno, es claro que ni todas las canales ni toda la carne de la canal está expuesta al *Cold Shortening*. Las canales adecuadamente oreadas no cumplirán las condiciones para presentar el fenómeno. Así mismo, en un proceso de refrigeración comercial de canales, sólo las capas superficiales de músculos que están en contacto con el fluido refrigerante podrán alcanzar temperatura por debajo de los 10°C antes de transcurridas las 10 primeras horas post-mortem.

Incrementos de la temperatura: El incremento temporal de la temperatura como método de conservación o estabilización de los productos cárnicos, sólo se cumple cabalmente cuando va complementado con otros métodos de conservación como el uso de empaques adecuados que impidan la recontaminación, si el tratamiento térmico es severo o, métodos que impliquen la disminución de la temperatura.

Comercialmente los métodos de conservación que implican incremento temporal de la temperatura sólo se aplican para productos cárnicos y eventualmente para trozos de

carne, pero nunca se usan para canales completas. El uso en productos cárnicos además, se confunde con una adecuación de éstos para el consumo o como una característica del procesamiento, es de tener en cuenta que es usado el tratamiento térmico como criterio de clasificación de los productos cárnicos.

Aparte de las consideraciones anteriores es innegable que con el tratamiento térmico del producto, así sea leve como en el escaldado, se está prolongando la vida útil de éste, al destruir o inactivar una buena parte de la microflora. En la medida en que el tratamiento térmico sea más severo, igual será el control microbial, en igual medida mejorará la inactivación de enzimas, y la estabilidad del producto. Esta es precisamente la razón para considerar los tratamientos con incrementos en la temperatura como métodos de conservación.

Escaldado: El escaldado de los productos es un tratamiento que industrialmente se considera realizado a partir de que el producto cárnico, en su punto más frío (generalmente el centro geométrico), haya alcanzado una temperatura de por lo menos 68°C (Norma Técnica Colombiana 1325, cuarta revisión de 1998). Las salchichas, los salchichones y otros productos embutidos semejantes, son considerados escaldados una vez alcanzan esta temperatura en su centro geométrico y esta temperatura se ha sostenido por un tiempo adecuado.

Los cálculos del tratamiento térmico para este tipo de productos de masa homogénea, con forma regular, de propiedades térmicas relativamente constantes para esos intervalos de temperatura, son sencillos de realizar y se ilustran convenientemente en el capítulo correspondiente.

Los jamones picados moldeados, que en razón a su composición se deterioran al alcanzar temperaturas muy altas, son considerados escaldados industrialmente cuando su temperatura interna llega a los 68°C.

Cocción: Es un tratamiento un poco más severo que el escaldado, pero está menos generalizado para productos cárnicos. Esta se usa básicamente para productos que en razón a su composición y a la procedencia de sus materiales así lo exigen. Las morcillas son un claro ejemplo de estos procedimientos; las temperaturas alcanzadas en ellos fluctúan también en un amplio intervalo. Para la NTC 1325, cuarta revisión de 1998, la temperatura de cocción se fija en 75°C. A estas temperaturas, la condición microbiológica del producto es buena.

Esterilización: Este procedimiento de conservación por incremento de la temperatura fue descubierto originalmente por Nicolás Appert, quien conservaba alimentos sometidos a calentamiento a temperaturas un poco inferiores a los 100 °C por tiempos prolongados en procesos que se llamaron de caldera abierta y luego, tomando el nombre de su descubridor se llamaron appertización. Pronto, reportan diversos

autores, se descubrió que la estabilidad de los productos poco ácidos como las carnes, se veía mejorada cuando se sometía a tratamientos un poco más severos.

En la actualidad el proceso se ha modificado mucho, llegándose a determinar variables y valores a cuantificar, indicadores de la efectividad de un tratamiento que se llama esterilización comercial, el cual, mediante adecuados procedimientos de realización, permite garantizar la estabilidad del producto en condiciones normales de manejo.

La esterilización comercial para carnes se define como el tratamiento térmico mediante el cual la concentración remanente de esporas del *Clostridium botulinum* sea 10^{-9} de las iniciales. En consideración a que este microorganismo es termorresistente, además de ser altamente tóxico, se garantiza con ello que todas las formas esporuladas y vegetativas de otros microorganismos hayan sido destruidas.

Se han determinado las variables indicadoras del proceso (ciclólitolínico), la temperatura y el tiempo, y los valores patrón de efectividad: 2.8 minutos a 250 EF como temperatura interna del producto, además se han derivado equivalencias para poder establecer otras posibles combinaciones, igualmente efectivas y que amplían la gama de productos que pueden esterilizarse, así como los equipos a utilizar.

Radiación: Las radiaciones con microondas y rayos infrarrojos, usados eventualmente como método de conservación de las carnes, deben su efectividad al incremento de la temperatura que ocasionan en el producto irradiado, con el respectivo efecto sobre los microorganismos. Su longitud de onda, 10^{-5} m, poco mayor que la de la luz visible, 10^{-6} m, no alcanza por su contenido energético, a producir ionización.

Transferencia de masa.

Secado: Este método de deshidratación, posiblemente uno de los más primitivos existentes, se fundamenta en la eliminación, mediante diversos procedimientos, del medio básico para la supervivencia microbial y para el transcurrir de las reacciones de todo orden.

La deshidratación de la carne puede hacerse mediante el uso de un fluido seco, con el cual pueda estar en contacto directo, lo cual significa que no debe interactuar con ella, salvo como agente deshidratante, mediante procesos de transferencia de energía.

El uso del aire caliente como agente deshidratante ha sido el más estudiado. En este proceso como en cualquiera que implique transferencia de masa, deben propiciarse aspectos como incremento del área de contacto y capacidad de transporte de material. Los mejores resultados para la desecación con aire se obtienen calentando éste, lo que mejora su capacidad de humidificación, haciéndolo circular a velocidades importantes, sin permitir que fluidice (transporte neumático) el lecho de carne, e incrementando la relación superficie a volumen de carne para mejorar el contacto interfacial.

En Colombia es generalizado el proceso de deshidratación del pescado, bien sea como proceso único de conservación o combinado con la salazón.

La deshidratación de filetes de pescado usando aire libre o natural, se realiza mediante el paso de una corriente de aire sobre el producto, extrayendo el agua. Este proceso se realiza en dos fases, la primera consiste en la desecación de la superficie, la cual se realiza a velocidad constante, pudiéndose considerar relativamente independiente del material y variando sólo con las condiciones del aire (velocidad, temperatura, humedad relativa), el área de exposición y el contenido de humedad, y una segunda fase que depende básicamente del material y de lo rápido que difunde el agua desde el interior del filete hacia la superficie. Generalmente este proceso es muy lento y más aún en la medida en que el producto va estando más seco.

Entre los factores que afectan el proceso de deshidratación del pescado y al aire como fluído de trabajo se consideran la superficie del pescado, la cual depende de su talla y peso; a medida que el tamaño aumenta, disminuye la rata de secado en relación al peso. Si la velocidad del aire aumenta, la rata de secado aumenta, pero si es el espesor el que aumenta la rata baja.

Es posible, mediante condiciones controladas, deshidratar pescado en cámaras especialmente construidas para tal fin, en las cuales se mejora la eficiencia en el proceso, obteniéndose productos de mejor calidad.

Liofilización: Este proceso consiste en la deshidratación de la carne, usando el vacío como mecanismo impulsador de ella.

Se consideran dos procedimientos para llevar a cabo este proceso, ambos se fundamentan en hacer el vacío mediante una bomba, pero mientras que en el primero el agua es evaporada, en el segundo el agua se sublima, es decir, en este último, el agua en estado sólido pasa a vapor directamente. Este proceso permite reducir el contenido acuoso a menos del 2% sin que apenas se alteren la forma y el volumen originales. La estabilidad de este tipo de carnes es prolongada, mucho más que la de los productos deshidratados por los métodos convencionales.

La carne que ha sido cocinada antes de ser liofilizada tiene mayor estabilidad que la de la carne fresca.

La estabilidad de las carnes deshidratadas depende en gran medida, de las condiciones que se les pueda proporcionar durante el almacenamiento, siendo determinante que las carnes puedan estar empacadas al vacío y libres de todo efecto de humedad exterior.

Para la rehidratación o reconstitución de este tipo de productos se recomienda usar cloruro de sodio al 1% - 2% y pirofosfato sódico entre 0.1%, y 0.15%, en el agua de

reconstitución.

La irradiación: Puede considerarse como un método físico de conservación. Las más importantes son las radiaciones ionizantes que son aquellas que tienen suficiente energía como para liberar electrones de los átomos produciendo iones. Este tipo de radiaciones destruye los microorganismos de los alimentos, razón por la que se denomina esterilización en frío.

Bajo esta consideración, la radiación es un mecanismo alternativo a este proceso, sin embargo, en carnes no deben utilizarse haces de electrones muy energizados porque se corre el riesgo de inducir radiactividad en el producto o en el empaque.

Es posible diseñar tratamientos diversos de conservación de carnes usando las radiaciones ionizantes; un tratamiento equivalente al escaldado puede lograrse mediante la radiación a 100.000 rads lo que garantiza la destrucción de la *Pseudomonas geniculata* que es muy sensible a la radiación. Si este proceso se complementa con una adecuada barrera y refrigeración, el tiempo de vida útil del producto se ve incrementado.

Igualmente se determina la dosis de 4.5 megarads como la dosis segura para la disminución de 10^{-12} de la concentración de *Clostridium botulinum* inicialmente presentes en la carne o el producto cárnico.

Un rad equivale a la absorción de 100 ergios por gramo.

Atmósfera modificada. Este es un método que si bien es cierto su descubrimiento se remonta a épocas anteriores, sólo ahora se está difundiendo profusamente su uso. Básicamente consiste en intervenir el catabolismo en alimento, la carne para el caso, modificando las condiciones gaseosas ambientales que favorecen el deterioro. En el capítulo correspondiente al empaque se amplía este tema.

PROCESOS QUÍMICOS

Salazón: La adición de sal a la carne como método de conservación probablemente sea uno de los procedimientos más antiguos para la conservación de carnes y, seguramente, también será el método que más ha proporcionado utilidad desde el punto de vista del procesamiento de carnes. La sal adicionada a la carne a bajas concentraciones, proporciona un incremento en la capacidad de retención de humedad de la carne, a concentraciones relativamente altas la sal disminuye la actividad del agua al aumentar la presión osmótica, permitiendo con ello un control microbial creciente en importancia, en la medida en que más sal sea agregada a la carne. Adicional a esto debe considerarse el efecto global deshidratante que puede presentar la sal cuando es usada en cantidades altas.

Cuando es usada la sal sola, como agente conservante, la concentración de ésta en el producto o en el ambiente externo inmediato a él, considerándolo en buenas condiciones higiénicas iniciales, debe aproximarse a concentraciones del 10%, preferiblemente mayores, lo que determina una actividad acuosa suficientemente baja, garantizando una relativa estabilidad del producto.

La actividad acuosa (A_w) se define como la relación entre la fugacidad del agua en la carne o el producto cárnico y la fugacidad del agua pura a la misma temperatura. Asumiendo que la fugacidad es equivalente a la presión (lo que no es exactamente real), A_w puede definirse como la relación entre la presión parcial del agua en la carne o el producto cárnico y la presión del agua pura a la misma temperatura. El A_w siempre es una fracción de 1 ó máximo 1 ya que en el caso extremo, la presión parcial del agua en el alimento será igual a la presión del componente puro.

No existe una relación directa entre el contenido de humedad y la actividad acuosa. La actividad acuosa de la carne fresca es de 0.99 o mayor, mientras que su contenido de humedad está próximo a 60%.

La proliferación de los microorganismos depende de la actividad acuosa; a mayor A_w mayor posibilidad de proliferación.

Considerando que se han tenido unas buenas prácticas de sacrificio y faenamiento de la canal, no es errado pensar que la mayoría de la contaminación presente se halla en la superficie de la carne, de tal manera que, una desecación de la superficie garantizaría una A_w superficial baja, pero lo que sucede es que desde el interior difunde humedad hacia la superficie, mientras que los solutos toman la dirección contraria. La adición de sal, bien sea seca o en salmuera, en la medida que aporta solutos que comprometen el agua libre presente, también tendrá un efecto conservante por la combinación de los dos factores.

En Colombia, como agente conservante principal, se usa básicamente la sal para la conservación del pescado, el cual una vez salado termina el proceso de deshidratación exponiéndolo al sol, colocándolo directamente en el suelo sobre barbacoas construidas con hojas de palma.

Para la salazón del pescado es usual filetear sus canales y luego trozarlas sin dividir las completamente, como acondicionamiento para el proceso en sí. La salazón se realiza mediante tres procedimientos básicos: salazón en seco (o método Irlandés), la salazón en húmedo y la combinada.

El salado en seco consiste en sumergir los filetes, por capas, con el lado interno de la canal hacia arriba, en sal gruesa, por espacio de dos semanas, al cabo de las cuales, la sal es reemplazada, previo acondicionamiento de los filetes, por sal fresca en la cual

permanece por lo menos otra semana.

El salado húmedo presenta dos variaciones, las cuales dependen de la concentración de la salmuera a usar, saturada y fuerte. La salmuera llamada fuerte corresponde a un 75% de la saturación en las condiciones de temperatura de operación, mientras que la saturada, corresponde a una solución 100% saturada de sal a las condiciones de temperatura del proceso. Las canales de pescado son introducidas allí hasta un contenido de humedad del 50 al 60%, para luego ser deshidratadas mediante corrientes de aire caliente o utilizando ventilación natural y calor solar. Es aconsejable que las condiciones del aire estén próximas a 25°C y 60% a 70% de humedad relativa.

Un método combinado usa alternativamente salado seco y húmedo, conservando finalmente las canales en salmueras sobresaturadas.

Para carnes procedentes de otras especies, a no ser que se trate de la elaboración de un producto poco usual, la sal se usa como agente saborizante, aunque parece que ella potenciaría el efecto conservador de otros agentes.

El umbral sensible de la sal (intervalo dentro del cual son formulados los productos), se encuentran entre 1.5% y 2.8%, tratando que la relación sal/humedad en el producto final sea mayor que el 4%, cifra que según Knipe (1997), está por debajo del nivel en el cual declara que la sal aún mantiene un leve efecto conservador en productos cárnicos, sin embargo, una concentración como la propuesta por este último autor implicaría, manteniendo la sal dentro del intervalo sensible, elaborar productos con niveles máximos de humedad del 5,1%, lo cual modificará ostensiblemente las características sensoriales de los mismos.

La práctica ha demostrado que relaciones sal/humedad mayores de 0.04 en el producto curado final, acompañadas por un efectivo tratamiento térmico y una observancia cuidadosa de las condiciones de la carne y los insumos y, el producto, pre y pos elaboración, posibilitan un tiempo de vida útil razonable para el mismo (Ministerio de Salud, Decreto N°2162 de 1983).

La sal es considerada un ingrediente básico del curado, siendo usada algunas veces como vehículo para las sales de nitrito y para el condimento.

Determinación de sal: Se fundamenta en la extracción de los cloruros del producto picado con agua caliente y alcohol y posterior determinación por el método Carpentier-Vohlard.

Equipos y materiales: Papel filtro, embudos, matraces aforados de 200 y 250 ml, erlenmeyers de 150 y 250 ml, pipetas de 5 ml, bureta con divisiones de 0.1 ml, balanza analítica, placa calefactora, agitador magnético con calefacción, agitador de imán teflón,

vasos de precipitado de 500 ml, centrífuga provista de tubos de por lo menos 100 ml de capacidad.

Muestra preparada según el método para determinación de proteína, ácido nítrico 60%, agua destilada, alcohol etílico al 40% v/v, hierro III y Sulfato de Amonio al 4%, Nitrobenceno, Nitrato de Plata 0.1 N, Ferrocianuro de Potasio 15%, Sulfocianuro de Potasio 0.1 N, Acetato de Zinc 30%.

Procedimiento: Pesar 10 g de muestra, introducirla en un erlenmeyer de 250 ml, adicionando 150 ml de alcohol etílico al 40%, agitar y calentar suavemente durante una hora. Transvasar a un matraz aforado de 250 ml con alcohol etílico al 40% a través de un embudo. Adicionar 5 ml de solución acuosa de Ferrocianuro de Potasio al 15% y 5 ml de solución acuosa de Acetato de Zinc al 30% completando el volumen con agua destilada. Agitar y dejar 10 minutos en reposo, centrifugar 5 minutos a 2000 r.p.m. separar la grasa y filtrar en un matraz aforado hasta el enrase, verter el contenido del matraz en un vaso de 500 ml, lavando con agua destilada la cual se une a la inicial en el vaso.

Colocar en placa calefactora y evaporar el líquido hasta 100 ml para eliminar el alcohol. Dejar enfriar y llevar el líquido de nuevo al matraz de 200 ml y enrasar con agua destilada.

En un erlenmeyer de 250 ml, introducir 10 ml de nitrato de plata 0.1 N, 1 ml de Acido Nítrico al 60%, 1 ml de solución de hierro III y Sulfato de Amonio al 4%, 10 ml del extracto preparado en el paso anterior y 50 ml de agua destilada, agitar y dejar reposar por 10 minutos en la oscuridad. Adicionar 1 ml de Nitrobenceno para aglomerar el precipitado y obtener una solución limpia. Valorar el exceso de Nitrato de Plata con Sulfocianuro de Potasio 0.1 N hasta cambio de color.

Cálculos:

% Na Cl: $14.625 (10 - n)/P$

Siendo:

P: peso en gramos de la muestra a la que se le ha obtenido el extracto.

n: volumen en ml, de Sulfocianuro de Potasio 0.1 N gastado en la valoración.(Panreac, 1986).

El curado: El método del curado en la actualidad no tiene mucho uso como procedimiento de conservación, en contraste con la época antigua donde jugó un papel preponderante bajo esta consideración. Para la moderna industria transformadora de carnes, éste ya no es considerado como método de conservación sino como procesamiento, es más, puede afirmarse que es el principal método de procesamientos

de carnes si se considera que la mayoría de los productos, elaborados por la industria, son productos curados.

Seguramente la adición de los nitritos a la carne apareció en forma accidental, acompañando la sal como contaminación de ésta cuando era usada como agente conservante o saborizante. Posiblemente el color, olor, sabor y durabilidad del producto orientó acerca de la diferencia de acción del agente conservante de acuerdo con su procedencia. Sin embargo, la química del nitrito no se comenzó a explorar sino hasta hace relativamente pocos años, permaneciendo aún reacciones sin conocer, desde el punto de vista de su cinética.

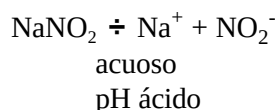
La parte más explorada de este proceso es el curado en húmedo sobre el cual se tienen algunas teorías de su transcurrir, pero un conocimiento acerca de los fenómenos de transferencia de masa que posibilitan las reacciones, aún se encuentran por hacer, inclusive puede decirse que se carece, en la actualidad, de los argumentos científicos para llevar a cabo dicha determinación, considerando además, de que se encuentran involucrados entes biológicos supremamente heterogéneos, la situación se ve complicada en húmedo, mucho más en seco.

Para que un producto cárnico pueda llamarse curado, requiere indiscutiblemente presentar como compuesto principal de color el nitrosilhemocromo, el cual se forma por la interacción química entre el óxido nítrico y la mioglobina de la carne; esta condición indispensable puede ser usada al intentar definir el producto curado.

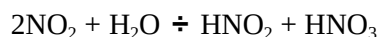
La adición de nitrato o nitrito de sodio, sal y azúcar en proporciones adecuadas y el propiciamiento de condiciones para la formación del nitrosilhemocromo en la carne es lo que actualmente se conoce como procedimiento de curado.

La adición de las sales de sodio a la carne, no garantizan por sí solas la elaboración de un producto curado, se requiere la formación del nitrosilhemocromo, la cual a su vez no es posible sin la fuente de Oxido Nítrico.

El Nitrito de Sodio, en un medio ligeramente ácido como el que proporciona la carne, y en solución, se ioniza, dando origen al ion nitrito, muy reactivo, que puede actuar como agente oxidante o como reductor, según:



para producir en equilibrio:



La cantidad producida de ácido en equilibrio con la sal sin disociar, puede establecerse mediante la ecuación de Henderson-Hasselbach, la cual considera el pH y la pK_a (= 3,4) (Price *et al*, 1976):

$$pH = pK_a + \log ([sal] / [ácido])$$

Posiblemente a la presencia de estos ácidos se deba parte del efecto conservante del Nitrito de Sodio.

El Acido Nitroso (HNO_2) se descompondría de acuerdo con la reacción :



Este Oxido Nítrico que aparece, producto de ésta descomposición, reacciona con la mioglobina, por la sustitución de la molécula de agua, para formar la Oxido Nítrico mioglobina o nitroximioglobina.

Esta no es la única reacción que transcurre, también se presenta reacción del Oxido Nítrico con otros compuestos porfirínicos como la catalasa, la peroxidasa, los citocromos, la citocromoxidasa y la hemoglobina.

Posterior a la formación de la nitroso mioglobina y mediante un proceso de desnaturalización de la fracción globina del pigmento y posiblemente su separación, se forma el nitrosilhemocromo compuesto característico de las carnes curadas.

Esta vía parece ser la menos real si se considera que la reacción del curado transcurre en presencia del ion NO_2^- el cual es un potente oxidante, es más lógico pensar que este ion tendrá en principio una reacción sobre la mioglobina, actuando sobre la valencia del Hierro, oxidándola de tal manera que el compuesto a reaccionar sería la metamioglobina, la cual podría reaccionar con el Oxido Nítrico como tal o desnaturalizada, sin ser muy remota esta última posibilidad cuando se trata de curado lento en piezas grandes. La primera vía implica que se forme nitrosometamioglobina y posteriormente el hierro se reduzca para luego desnaturalizar la fracción globina. La segunda posible vía se presenta cuando la metamioglobina está desnaturalizada por calor y se propicia la reacción del curado por reducción del hierro y posterior reacción con el Oxido Nítrico formándose el Oxido Nítrico Globín Hemocromo desnaturalizado (Price *et al*, 1976).

En esta reacción, el reactivo límite debe ser la mioglobina, en caso contrario la reacción no transcurriría completamente y el producto no sería curado. Lo usual es que el Nitrito de Sodio esté en exceso, muchas veces más de las cantidades requeridas normalmente, esto con el fin de garantizar una cantidad de nitrito residual que permita, al pH dado, una cantidad de ácido en equilibrio para alcanzar una acción conservante importante.

Sin embargo, esta acción conservante no es "eterna", ya que el Ácido Nitroso en equilibrio con la sal residual reacciona con los α aminoácidos produciendo los α hidroxácidos correspondientes, además de Nitrógeno gaseoso y agua.

Para Price (1994) esta reacción es la que más disminuye el nitrito residual ya que en la medida que el producto de una reacción se agota, ésta se desplaza hacia los productos agotando los reactivos (principio de L'chatelier).

Relacionado también con la presencia del ión nitrito, además de otras sustancias como los peróxidos, el hipoclorito, etc., está la oxidación del nitrosilhemocromo mediante catálisis de luz ultravioleta, en la cual el pigmento hemo pierde el átomo de hierro para finalmente romperse el anillo de la porfirina dando lugar a sustancias porfirínicas, verdes, amarillas o incoloras. Lo que se conoce como quemadura por nitrito en carnes curadas presentándose como manchas verdes en los productos, se debe al efecto del ión nitrito sobre el nitrosilhemocromo.

El uso del Nitrato de Sodio en el proceso del curado de carnes está cada vez más restringido, obedeciendo esta situación a la imposibilidad de predecir la cantidad de Óxido Nítrico que se formará como reactivo básico y, la cantidad de NO_2 , como producto intermedio, a partir de una cantidad determinada de Nitrato de Sodio. En principio la reducción del nitrato al nitrito de sodio se realiza mediante el uso de bacterias nitrato reductoras, las cuales pueden ser naturales o inoculadas, dependiendo del tipo de producto y del nivel de tecnificación de la producción, sin embargo, en cualquier caso, en unos más que en otros, la incertidumbre sobre el rendimiento de esa reacción es alta.

Algunos autores consideran el nitrato como "fuente" de nitrito, pero como el nitrato presenta una dependencia del entorno tan marcada, sin que se pueda calcular en cada caso la cantidad de nitrito que se ha de formar de acuerdo con la actividad de las bacterias nitrato reductoras, no se puede considerar por tanto como una "fuente segura" de nitrito, de la cual eventualmente, puede obtenerse una cantidad tan importante de nitrito que ocasione defecto en la fabricación del producto o, una cantidad tan pequeña que no alcance a procesar completamente el mismo.

El uso del Nitrato de Sodio en carnes es considerado para productos madurados, en condiciones ambientales específicas y cuyo tiempo de proceso es muy prolongado. Es más, se habla de curado lento al proceso en el cual es usado el Nitrato de Sodio, precisamente por la cantidad de reacciones en serie que deben producirse, para obtener finalmente, la disponibilidad de óxido nítrico para la reacción.

Existe una vasta evidencia científica acerca del papel del nitrito en el control de la bacteria *Clostridium botulinum*, la cual es causante del botulismo en humanos.

Para poder cumplir con lo anterior es necesario agregar más de 100 partes por millón a los productos que se desean curar y por éste medio conservar. Esta cantidad provee el Oxido Nítrico necesario para la curación, el nitrito residual para la producción de ácido para la conservación y no influye negativamente sobre el color de la carne.

El Nitrito y el Nitrato de Sodio continúan usándose en productos cárnicos a pesar de las restricciones que las evidencias científicas aconsejan, ya que ellos están implicados en la formación de nitrosaminas como la nitroso pirrolidina en la tocineta frita, lo cual se considera un potente carcinógeno del hígado. Se reporta la presencia del dimetil nitrosamina, dietil nitrosamina, nitrosopiperidina y nitrosopirrolidina, todos compuestos cancerígenos, en productos cárnicos que contenían niveles de nitrito residual de 24 partes por millón.

Igualmente se reporta que los condimentos usados en la salmuera para el proceso de curado de la carne, pueden presentar eventualmente este tipo de compuestos producidos por la interacción de los condimentos con las sales de nitrito. La pimienta negra forma con el nitrito, nitrosopiperidina.

El otro inconveniente asociado con el uso del nitrito tiene que ver con la cantidad de nitrito residual en el producto, ya que durante el consumo, el nitrito residual puede reaccionar con las aminas existentes en el tracto gastrointestinal de los humanos, el cual posee un medio óptimo en cuanto a pH y temperatura para la formación de las nitrosaminas. Es por ello que el nivel de nitrito inicial y por ende el residual debe ser controlado en la mezcla y en el producto terminado. La norma ICONTEC 1325 en su cuarta revisión de 1998, regula los niveles máximos de nitrito en los productos cárnicos. Para producto en proceso se permiten niveles de hasta 200 p.p.m.

En un estudio realizado por Cossio y Gandur (1985) donde determinaron los niveles de nitrito residual en chorizos comerciales (sin marca) expendidos en Medellín, se hallaron valores de hasta 390 partes por millón, indicando el pobre control de calidad en la elaboración, con excesos de más de 400% sobre la base de la normalización existente en la masa cruda.

Como coadyuvantes del curado son considerados la sal, el azúcar, los antioxidantes y el humo.

Procedimiento del curado: De acuerdo con la velocidad a la que transcurre el proceso del curado, se habla industrialmente de curado rápido y de curado lento. En la primera suelen considerarse los procedimientos en los cuales ha sido usado el Nitrito de Sodio como agente del curado, ya que al implicar una etapa menos para la producción de Oxido Nítrico, comparativamente con el que usa nitratos, es más rápido en cualquier condición externa. Como la curación por nitritos es la más generalizada para la gran

mayoría de los productos cárnicos de consumo diario, es común referirse al "curado lento" o "rápido" teniendo en cuenta la temperatura a la que transcurre el proceso. Cuando se propicia desde la fase de elaboración un contacto muy íntimo de las sales de curación con el pigmento de la carne mediante el proceso del picado, pasando el producto intermedio seguidamente al tratamiento térmico donde se completa la reacción, se habla de curado rápido al compararlo con el proceso en el cual sólo se fricciona, con una mezcla de sales curantes, la pieza a curar y luego se guarda a temperatura de refrigeración hasta que transcurra la reacción con la mioglobina. También se habla en éste último caso de la diferencia en tiempos de proceso referidos a la concentración de sales curantes usadas para el proceso. En general es más rápido el proceso cuando:

1. hay menos etapas involucradas en la formación del reactivo,
2. hay mayor contacto entre los reactivos,
3. hay mayor concentración, sin exceder el nivel óptimo de los reactivos,
4. la reacción transcurre a mayor temperatura.

El tipo de producto y su naturaleza condicionan el procedimiento a usar ya que en muchos de ellos se aprovechan las operaciones básicas de transformación para mejorar las condiciones de la reacción. Es imposible obtener un perril curado rápidamente, acelerando el proceso mediante la molienda de su carne para propiciar posteriormente un mayor contacto entre los reactivos, debido a que con el objetivo de acelerar el proceso, se modifica la naturaleza del producto, es decir, finalmente puede obtenerse carne curada pero no un perril curado.

De acuerdo con la forma de adición de la sal curante, el proceso de curado se clasifica en húmedo y seco.

El curado húmedo se lleva a cabo usando el agua como vehículo, no sólo de los agentes curantes sino también de otras sustancias como los saborizantes. El curado seco no usa el agua como vehículo externo, sino que en él se propicia el contacto mediante fraccionamiento y la difusión directa de los compuestos.

En el curado húmedo se aplica, por vía muscular o venosa, una cantidad determinada de salmuera, preparada básicamente con sal, Nitrito de Sodio y azúcar en concentraciones que deben ser establecidas con base en la cantidad a inyectar, la cual a su vez depende del tamaño, forma y peso de la pieza. El tiempo de curado queda determinado por estas concentraciones y por la temperatura.

Para el manejo industrial de las salmueras curantes, se han diseñado densímetros específicos para la medida directa de la concentración de sal en la salmuera, estos implementos son denominados salinómetros, los que poseen un cuello graduado de 0° a 100° salinométricos y una temperatura de calibración y operación. Cero grados salinométricos corresponden al agua pura, mientras que 100° salinométricos

corresponden a una solución saturada de sal a la temperatura de calibración del salinómetro.

Su uso es igual al de cualquier densímetro, se introduce en la salmuera y se lee en el cuello del salinómetro, justamente en la graduación determinada por la superficie de la salmuera, mientras el salinómetro flota en ella.

Usando una salmuera de 43° salinométricos, preparada en proporciones adecuadas de sal, nitrito y azúcar, es posible la curación de una pierna de cerdo de 5 Kg mediante la inyección muscular multiaguja del 12% de su peso en salmuera ($5 \times 0.12 = 0.6$ Kg), conservándola en refrigeración durante 75 - 80 horas, para posteriormente realizar el proceso de escaldado.

Cuando las piezas de carne a curar son muy pequeñas o muy delgadas, es posible curarlas con sólo sumergir las piezas en la salmuera, permitiendo la difusión de los compuestos; en estos casos como en el anterior debe tenerse en cuenta la concentración de las salmueras, el tamaño y espesor de la pieza, así como la temperatura a la cual transcurrirá el proceso, para los cálculos del tiempo del proceso.

También es posible para el caso de piezas muy grandes combinar los métodos de inyección e inmersión en la salmuera acortando con ello el tiempo de curado, si se considera que existirían dos fuentes de Oxido Nítrico, una interna, los agregados de salmuera por efecto de la inyección, y otra externa que sería la salmuera de inmersión.

Este método de curado húmedo es usado cuando se requiere un curado relativamente rápido para una pieza que debe conservar la forma y apariencia del estado fresco.

El curado seco consiste en la adición de una mezcla de sal curante (Nitrito de Sodio, Cloruro de Sodio y azúcar) a la carne que se ha de curar. Cuando se trata de piezas de carne enteras (perniles para la elaboración de jamones serranos, bandas de tocino, etc.), esta adición se hace frotando la pieza con la mezcla cuya cantidad a adicionar dependerá de las concentraciones del Nitrito de Sodio, de la sal y del azúcar en ella, del tamaño, espesor y peso de la pieza, así como de la temperatura a la cual transcurrirá la difusión, el contacto y la reacción entre los compuestos.

La adición directa de las sales curantes durante la elaboración de los productos finamente picados se realiza, bien sea en el *cutter* si se trata de productos emulsificados o bien en el mezclador cuando se trata de productos estabilizados por amarre o emulsificados en emulsificador. Cuando se realiza en el *cutter*, los nitritos encuentran un medio en el cual se ha propiciado la principal condición para que se dé la reacción del curado, el contacto íntimo entre los reactivos, eliminando el mayor obstáculo para que en ella se suceda la difusión de los diferentes compuestos a través de toda la masa, contribuyendo de paso a incrementar la fuerza iónica, mejorando la solubilidad de la

actomiosina.

Este es el método de curación que más rápidamente transcurre debido a que la relación superficie/volumen de la carne a curar es muy alta, tendiendo a infinita; en la medida en que esta relación decaiga, la velocidad con que transcurre la reacción también lo hará, como ocurre en el caso de los productos estabilizados por amarre, donde los ingredientes para la reacción deben difundir en los trozos de carne, demandando un mayor tiempo.

En los productos finamente picados y curados, es posible efectuar el tratamiento térmico a continuación del embutido, precisamente porque el contacto entre los reactivos del curado está garantizado y la reacción se acelera además con el incremento de temperatura.

Método de determinación de nitritos en productos cárnicos: Es un método colorimétrico que permite mediante la calibración con una sustancia patrón, conocer la concentración del nitrito en una muestra, una vez se ha obtenido su extracto.

Equipos y materiales: Espectrofotómetro, potenciómetro, balanza analítica, agitador electrónico, calentador, beakers de 50 y 250 ml, pipetas volumétricas de 1.5 y 10 ml, embudos, matraces volumétricos de 50 y 500 ml, probetas de 100 ml, papel de filtro #54 y soportes metálicos.

La muestra del producto debe prepararse en la forma descrita para la determinación de proteína, Cloruro Mercúrico a saturación, Acido Sulfanílico, Acido Acético al 5%, á naftilamina, Nitrito de Plata y Cloruro Sódico.

Procedimiento: Pesar cinco gramos de muestra finamente picada en un vaso de precipitado de 50 ml que contiene una varilla de agitación. A continuación se adicionan 40 ml de agua destilada a temperatura de ebullición, mezclando perfectamente.

Luego se arrastra la muestra con 200 ml de agua destilada caliente a un matraz volumétrico de 500 ml, sin dejar ninguna partícula de carne adherida a las paredes del vaso, posteriormente se deja reposar a 20°C durante 5 horas. Seguidamente se adicionan cinco ml de solución de cloruro mercúrico a saturación, se mezclan y se diluyen a 500 ml de agua destilada; luego se filtra en papel filtro #54.

De acuerdo con el contenido de nitrito esperado, se transfiere una cantidad del extracto, que se determina experimentalmente, a un matraz volumétrico de 50 ml, adicionando dos mililitros de Acido Sulfúrico y solución de á naftilamina, la cual se prepara disolviendo 0.5 g de Acido Sulfanílico en 150 ml de Acido Acético al 5%, a esta solución se adiciona 0.125 g de á naftilamina disueltos en 20 ml de agua destilada caliente, la solución de á naftilamina no debe exponerse a la luz. Diluir en 250 ml en

un matraz volumétrico.

Luego de dejar reposar durante una hora, se mide la absorbancia a 500 nanómetros usando agua destilada como blanco.

El cálculo del contenido de nitritos se efectúa por referencia de una curva de absorbancias preparada con una serie de soluciones patrones de Nitrito de Plata, tratando la solución con Cloruro Sódico.

El método descrito por la norma ISO/DIS 2918, citado por Panreac (1986) utiliza una longitud de onda de lectura de 520 nm con un procedimiento algo más complicado.

Adición de ácidos: El efecto conservante de los ácidos no sólo es debido a la disminución del pH (concentración de iones Hidrógeno), ocasionado por el ácido que se disocia en la solución, sino que también se debe al ácido que se mantiene sin disociar y que puede atravesar la membrana celular, por su relativa neutralidad, disociándose al interior de la célula.

En la industria de carnes son usados para productos específicos, métodos de conservación complementarios que implican el uso de ácidos como el Acético y el Hexadienóico o Acido Sórbico ($\text{CH}_3 - \text{CH} = \text{CH} - \text{CH} = \text{CH} - \text{COOH}$), como medio de inmersión de productos curados y para salmueras y líquidos de escabechado, respectivamente.

El Acido Láctico producido naturalmente en el proceso de glucólisis tiene algún efecto conservador sobre las carnes. El Acido Láctico obtenido mediante procesos biotecnológicos, tiene en la actualidad un amplio uso en carnes frescas y en productos cárnicos incorporado como Lactato de Sodio; se considera que tiene un marcado efecto sobre la *Listeria monocytogenes*, de reciente inclusión en la Norma Técnica Colombiana (NTC 1325, 1982, cuarta revisión de 1998).

Otros ácidos usados como agentes conservantes en la industria de alimentos no tienen mayor aplicación en la industria de carnes.

PROCESOS FÍSICO - QUÍMICOS

Ahumado: el proceso de ahumado de carnes puede clasificarse como de adición de sustancias químicas, o como método de transferencia de masa, o como ambos, considerándolo por ende como método de conservación físico-químico.

Este proceso fue usado desde la antigüedad como método de conservación de carnes; aún hoy en los sitios donde no se dispone de electricidad, es común ver colocado sobre el fogón de leña, la carne ahumándose y secándose.

Actualmente el uso del ahumado, como método de conservación de carnes, ha sido sustituido por otros métodos mucho más eficientes como la refrigeración, que muy poco modifican las características de la carne.

El ahumado para la industria de carnes moderna, es un método de procesamiento, tal vez el mejor complemento al proceso de curado, ya que mediante él se propician, en una gran cantidad de casos, las condiciones finales que completan la reacción del curado, además, se están proporcionando a la carne o al producto, una barrera física que contribuye a la conservación de la calidad, aparte del control microbial que pueden ejercer los compuestos del humo y del sabor, olor y color característicos que proporcionan a los productos.

Cuando en una planta procesadora de carnes se produce humo mediante la pirólisis de la madera, es posible la aparición de compuestos dañinos para la salud del consumidor

Se ha usado el 3-4 Benzopireno, como indicador principal de compuestos cancerígenos en el humo. Cuando se identifica este compuesto, el contenido de sustancias carcinógenas es de 10 veces mayor, ya que existen otros componentes que poseen el mismo efecto como el 3,4,9,10 Dibenzopireno, 1,2,5,6-Dibenzoantraceno y 20 - Metilcolantreno. Existiendo además compuestos co-cancerígenos o potenciadores del efecto cancerígeno.

Actualmente, y con el ánimo de evitar la presencia de compuestos dañinos para la salud del consumidor además de la estandarización del producto a adicionar, la industria de carnes emplea profusamente el humo líquido, el cual conserva los compuestos favorables (y deseables) del humo en cantidades conocidas y estandarizadas, evitando los compuestos dañinos que han sido retirados en plantas especializadas, mediante refinados procesos de purificación.

BIBLIOGRAFÍA

COLOMBIA. MINISTERIO DE SALUD. Decreto No. 2162: por el cual se reglamenta parcialmente el título V de la Ley 09 de 1979, en cuanto a producción, procesamiento, transporte y expendio de los productos cárnicos procesados: Bogotá: El Ministerio, 1983. 10p.

COSSIO P., M.C. y GANDUR T., C. Determinación de los niveles de nitrito en chorizos comerciales. Medellín, 1985. 56p. Tesis (Zootecnista). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Agronomía.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Industrias alimentarias: productos cárnicos procesados (no enlatados). Bogotá: ICONTEC, 1982. (Norma Colombiana ICONTEC, No. 1325, cuarta revisión de 1998).

KNIPE, C.L. Fosfatos. *En*: Memorias del V Cusillo teórico/práctico de Tecnología Cárnica. Ames, Iowa, USA: Iowa State University, 1997.

PANREAC. Métodos analíticos en alimentaria: carne y productos cárnicos. s.l.: Montplet Esteban, 1986. 49p.

CAPITULO VI

TRATAMIENTOS TÉRMICOS EN PRODUCTOS CÁRNICOS

Alejandro Amézquita Campuzano¹

Diego Alonso Restrepo Molina²

El tratamiento térmico en los productos cárnicos escaldados es una etapa fundamental y definitiva dentro del proceso de elaboración. En algunos casos, esta etapa constituye la última del proceso antes de su distribución y comercialización, como en el caso del salchichón y algunos otros productos cárnicos cuyo empaque final, es la misma funda en la que fueron embutidos. En otros casos, sin embargo, es la etapa inmediatamente previa a la de empaque. En todos los casos, constituye la última etapa en la que el producto recibe un calentamiento, hasta una temperatura interna final que varía entre los 70EC y los 74EC, y que por lo tanto disminuye su carga microbiana. Ahí radica la importancia de esta etapa desde el punto de vista de la higiene y seguridad alimentaria. La única excepción a lo anterior, es cuando ocurre el proceso de post-pasteurización, que consiste en un calentamiento del producto posterior a la etapa de empaque con el objetivo de asegurar un mayor efecto del proceso.

De otro lado, no sólo es el aspecto sanitario el que le da este carácter de importancia a la etapa del tratamiento térmico, sino también otros aspectos como el económico y el sensorial. Un tratamiento térmico diseñado correctamente, permite controlar en una forma bastante precisa, la pérdida de humedad y, por lo tanto de peso, del producto durante esta etapa. Esto facilitará, en última instancia, el cálculo del costo final del producto, al igual que los cálculos referentes a rendimientos y eficiencia desde el punto de vista productivo. Además, en la etapa del tratamiento térmico, se define una gran cantidad de las características organolépticas finales en el producto, tales como el color y la pelabilidad, entre otras. En otras palabras, a través de un tratamiento térmico diseñado de acuerdo a las necesidades específicas de cada procesador, se puede obtener un producto final con la apariencia deseada por el consumidor. Esto hace que el

¹ Ingeniero de Alimentos, Dpto. de Ventas TECNAS S.A.

² Profesor Asociado. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Facultad de Ciencias Agropecuarias. A.A. 568 - Medellín.

tratamiento térmico de los productos cárnicos tenga características de ciencia pero a la vez, de arte.

Por las anteriores razones, es necesario que la persona a cargo del diseño del tratamiento térmico para un producto específico, conozca a fondo y detalladamente los siguientes aspectos:

- C El equipo en el cual se va a llevar a cabo esta etapa. Esto involucra aspectos mecánicos y de programación.
- C Los principios científicos que rigen la transferencia de calor y de masa cuando se utiliza aire como medio calefactor (propiedades térmicas y psicrométricas).
- C Las características físicas del producto cárnico.

PRINCIPIOS BÁSICOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR

El calor puede considerarse como una forma de la energía y la transferencia de calor, como el flujo de energía térmica.

El flujo de calor entre dos cuerpos ocurre cuando entre ellos existe diferencia de temperatura, pudiendo estar en contacto o separados. El flujo de calor siempre se sucede desde la sustancia más caliente a la más fría, lo cual se conoce como la Ley Cero de la Termodinámica.

El calor representa la energía en tránsito bajo la influencia de una diferencia de temperatura. Es inexacto hablar de almacenamiento de calor. La energía almacenada dentro de un cuerpo es energía interna, es decir, la energía que posee la sustancia en virtud de la presencia, posiciones relativas y movimientos de las moléculas, átomos y partículas subatómicas que la conforman. Cuando el calor fluye hacia un cuerpo, se convierte en energía interna y se almacena como tal.

ESCALAS DE TEMPERATURA

Para medir la temperatura de los cuerpos, como medida indirecta de la energía interna, se han diseñado diferentes escalas de temperatura, de las cuales existen dos tipos: las escalas de temperatura relativa y las escalas de temperatura absoluta. En las primeras arbitrariamente se fijó el cero, tomando como referencia alguna sustancia o algún fenómeno de la naturaleza; mientras que las segundas, fueron derivadas a partir del conocimiento específico del comportamiento de la materia. Las primeras admiten temperaturas bajo cero; las segundas, solo temperaturas positivas.

Las escalas de temperatura relativa son la Centígrada y la Fahrenheit. Las escalas de temperatura absolutas son la Kelvin, cuyas divisiones tienen la misma longitud de la centígrada y, la Rankine, cuyas divisiones tienen la misma longitud de las Fahrenheit.

Las equivalencias entre las diferentes temperaturas son las siguientes:

$$1^{\circ}\text{C} = 9/5 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

$$t^{\circ}\text{F} = 9/5 t^{\circ}\text{C} + 32$$

$$t^{\circ}\text{C} = (t^{\circ}\text{F} - 32)5/9$$

$$\text{T}^{\circ}\text{K} = t^{\circ}\text{C} + 273$$

$$\text{T}^{\circ}\text{R} = t^{\circ}\text{F} + 460$$

UNIDADES DE ENERGÍA TÉRMICA

Las principales unidades de energía térmica son:

Caloría-gramo: Es la energía necesaria para calentar un gramo de agua en un intervalo de temperatura de un grado centígrado. Debido a que la capacidad calórica de cualquier sustancia varía con la temperatura, es necesario, para efectos de la definición, especificar el intervalo de temperatura entre 14.5°C y 15.5°C.

Caloría-Kilogramo o Kilocaloría: Se define en términos similares a la anterior, solo que aquí se considera un kilogramo de agua.

BTU (*British Thermal Unit*): Es la energía necesaria para calentar una libra de agua en un grado Fahrenheit a 60°F. Esta libra a la cual se refiere la definición, es la inglesa, la cual es equivalente a 453,5924 gramos.

PROPIEDADES TÉRMICAS DE INTERÉS

Capacidad calórica (C_p): Es la cantidad de calor necesaria para incrementar la temperatura de un cuerpo en un grado de temperatura. El calor específico no es mas que la relación entre las capacidades calóricas del cuerpo y la del agua.

La capacidad calórica tiene unidades de BTU/lib°F o Kcal/Kg°C, o sus equivalencias.

La Tabla 6.1 presenta algunos valores de la capacidad calórica de sustancias de uso común en la industria de carnes.

Esto quiere decir que para aumentar la temperatura de 1 libra de carne de res en 1°F, se requieren 0.68 BTU. Este valor está dado para una carne magra, de res o cerdo, en un animal adulto, con un contenido aproximado de grasa del 20%.

Entre más alto sea el contenido de humedad de una carne, mayor será el requerimiento de energía para aumentar su temperatura. Es por esto, que la capacidad calórica de la carne puede variar dependiendo de los siguientes factores:

- C Especie animal
- C Edad del animal (dentro de una misma especie)
- C Procedencia anatómica del material
- C Alimentación del animal

Tabla 6.1. Capacidad calórica de algunas sustancias de uso común en la industria de carnes

Sustancia	Capacidad calórica (Kcal/ KgEC)	Temperatura (EC)
Aire	0.24	0
Freón 12	0.22	0
Agua	1.00	0
NaCl (22%)	0.88	2
Corcho	0.40	10
Carne pescado	0.76	Por encima de 0EC
Carne de bovino	0.68	Por encima de 0EC
Carne de cerdo	0.71	Por encima de 0EC

Mientras mayor sea el contenido de grasa de la carne, menor será el requerimiento de energía para aumentar su temperatura. Para aumentar la temperatura de 1 libra de grasa en 1°F, se requieren aproximadamente de 0.45 a 0.48 BTU de energía. Este rango se da también dependiendo del contenido de humedad de la porción grasa de la carne. En algunas especies, como por ejemplo en los pollos, la porción grasa de la carne puede contener hasta un 20% de humedad.

MANIFESTACIONES DEL CALOR EN UN CUERPO

Calor latente y sensible: Cuando una sustancia está recibiendo calor desde otra mas caliente, puede ocurrir que en la sustancia receptora se incremente la temperatura, en cuyo caso se hablará de calor sensible, o que la sustancia receptora cambie de fase, en cuyo caso se hablará de calor latente. Este calor latente toma el nombre de acuerdo con la fase de cambio de la sustancia, es así como se dice calor latente de vaporización, calor latente de fusión, etc.

La energía en forma de calor sensible, que se adiciona o sustrae a una sustancia, se calcula mediante la relación:

$$q_{\text{sensible}} = m \cdot C_p \cdot \Delta t$$

Donde:

m: masa de la sustancia

C_p: capacidad calórica de la sustancia

Δt: cambio de la temperatura de la sustancia durante el proceso.

La energía en forma de calor latente que se adiciona o sustrae a una sustancia, se calcula mediante la relación:

$$q_{\text{latente}} = m \cdot \delta$$

Donde:

m: masa de la sustancia

δ : calor latente (cambio de entalpía por unidad de masa entre los estados de cambio para la sustancia en particular de que se trate).

Es de gran importancia anotar que los valores de δ dependen de la temperatura y la presión.

A bajas temperatura y a bajas presiones, δ toma valores mayores para una misma sustancia. Los valores de δ son particulares para cada una de las sustancias y las caracterizan, determinando su uso técnicamente.

En la Tabla 6.2 se presentan valores de δ para diferentes sustancias de uso común en la industria de carnes.

Tabla 6.2. Calor latente para algunas sustancias de uso común en la industria de carnes.

Sustancia	Calor latente de fusión (Kcal/Kg)	Calor latente de evaporación (Kcal/Kg)	TEC
Carne pescado	66		Prox a 0EC
Carne de cerdo	47		Prox a 0EC
Carne bovino	50		Prox a 0EC
Agua	80	539	

MECANISMOS DE TRANSMISIÓN DE CALOR

En un proceso físico donde se transfiera calor pueden distinguirse tres mecanismos generales por los cuales se realiza: conducción, convección y radiación.

En la transferencia de calor por conducción se intercambia directamente energía molecular, desde la sustancia mas caliente a más fría, cediendo las moléculas de mayor energía parte de ella a las moléculas vecinas de menos energía. Este fenómeno se presenta en materiales sólidos.

La convección es la transmisión de calor por el movimiento de grupos de moléculas de un fluido, movimiento que puede ser natural (por cambios de densidad del fluido) en cuyo caso el mecanismo de transmisión de calor recibe el nombre de convección libre; o inducido por algún agente externo, como un ventilador, en cuyo caso el mecanismo de transmisión de calor recibe el nombre de convección forzada.

La transmisión de calor por radiación, es la transmisión de energía térmica por ondas electromagnéticas.

Estos mecanismos de transmisión de calor en los procesos industriales, generalmente se combinan de tal manera, que su efecto corresponde a la composición de los efectos individuales de cada uno de ellos. En el siguiente ejemplo se ilustra este hecho:

Ejemplo: cuando el vapor procedente de una caldera entra a un recipiente enchaquetado, tipo marmita, y calienta un fluido que se encuentra en su interior, pueden distinguirse los siguientes mecanismos de transmisión de calor:

- C transmisión de calor por convección en el vapor de agua, hasta las paredes de la marmita,
- C transmisión de calor por conducción desde las caras internas de la marmita, hacia las caras más interior y más exterior,
- C transmisión de calor por convección al fluido que se encuentra al interior de la marmita y al aire circundante de ésta,
- C transmisión de calor por radiación de la marmita como sistema, hacia el exterior.

En general, el mecanismo de transmisión de calor en sólidos es el de conducción, en fluidos es el de convección (libre y forzada). La transmisión de calor por radiación tiene lugar en el espacio, de la misma manera que la luz.

La tasa de transmisión de calor por cualquiera de los tres mecanismos expuestos, puede decirse, es directamente proporcional a la diferencia de temperatura e inversamente proporcional a la resistencia que ofrece el medio al flujo de calor.

En la solución de problemas de transferencia de calor, es necesario, además de conocer el modo de la transferencia de calor, determinar si el proceso es o no estable.

Cuando la rapidez del flujo de calor en un sistema no varía con el tiempo, entonces la temperatura en cualquier punto no cambia y se tiene el estado estable. El flujo de calor en un sistema es inestable cuando las temperaturas de varios puntos del sistema cambian con el tiempo, es decir, una parte de la energía entra o sale del sistema. Los problemas relacionados con el flujo de calor en estado transitorio, con frecuencia, solo pueden resolverse por métodos numéricos y gráficos, los que constituyen soluciones aproximadas.

Cuando se finaliza el faenado de una canal de un bovino, su temperatura decae desde aproximadamente 39°C a 28°C durante el proceso de oreo, donde pueden distinguirse tres mecanismos de transferencia de calor: convección libre, desde la canal al ambiente de la sala, conducción desde el interior de la canal a la superficie y, radiación al medio externo. Posteriormente la canal *oreada*, se refrigera en cuarto frío, donde su

temperatura descende de 27EC a 4EC; pudiéndose distinguir los mismos mecanismos del proceso de oreo. Este proceso de enfriamiento corresponde a flujo de calor en estado inestable.

Cuando se trata de conservar la temperatura en un valor determinado, 4EC para el caso de la conservación en refrigeración, el proceso es (aproximadamente) estable.

Transferencia de calor por conducción: La relación básica para la transferencia de calor por conducción, fue propuesta en 1822 por el científico francés J.B.J. Fourier, quien estableció que la rapidez del flujo de calor por conducción en un material, es igual al producto de tres cantidades:

- C la conductividad térmica del material,
- C el área de la sección transversal a través de la cual fluye el calor por conducción y,
- C la rapidez de variación de la temperatura con respecto a la distancia en la dirección del flujo de calor.

De tal manera que la expresión matemática para la transferencia de calor por conducción se expresaría:

$$Q = K \cdot A \cdot \left(\frac{dT}{dx} \right) X \text{ (como aproximación finita de los diferenciales)}$$

Donde:

- Q velocidad de transmisión de calor por unidad de tiempo (aproximación finita del diferencial),
- K = conductividad térmica del material,
- A = área de la sección transversal,
- $\left(\frac{dT}{dx} \right) X$ = gradiente de temperatura

En términos generales, la conductividad térmica K, varía con la temperatura, sin embargo, esta variación puede pasarse por alto si el intervalo de la temperatura, para el caso específico considerado, no es muy grande, o la dependencia de la conductividad es baja con respecto a la temperatura. La conductividad térmica para la mayoría de las sustancias, puede considerarse constante para una gran cantidad de aplicaciones en la industria de carnes. En la Tabla 6.3 se presentan algunos valores de la conductividad térmica de sustancias de uso común en la industria de carnes.

Tabla 6.3. Conductividad térmica de algunas sustancias utilizadas en la industria de carnes.

Sustancia	Conductividad térmica K (BTU/ h.pie.EF)
Aluminio	119
Acero inoxidable tipo 304	9.4
Acero inoxidable dulce	26
Corcho	0.025
Lana de vidrio fina	0.022
Lana de vidrio empaquetada	0.016
Hule	0.087
Concreto	0.54
Cartón	0.04

Al analizar la relación de velocidad de transmisión de calor por conducción, puede concluirse que la rapidez con que se transfiere dicho calor varía de acuerdo con características del sistema, tales como el área de transferencia, la diferencia de temperatura y el espesor de la pared, así como del tipo de material utilizado.

Un material con una baja conductividad térmica es un buen aislante. Los materiales que presenten alta K, son buenos conductores. Algunas veces la literatura reporta valores de conductancias térmicas (C), las que representan la cantidad de calor que pasaría en la unidad de tiempo a través de la unidad de área, de un material de espesor dado y sometido a la diferencia de temperatura unitaria. De tal manera que la ecuación anterior quedaría:

$$Q_K = C.A. \Delta t$$

Donde:

- Q_K = velocidad de transmisión de calor por conducción,
- C = conductancia térmica,
- A = área de flujo de calor,
- Δt = diferencia de temperaturas

Este concepto permite el manejo de procesos en los cuales aparezcan varias resistencias térmicas en serie (varios materiales como barrera al flujo de calor, por ejemplo, la pared de una cava), para el cual se define un coeficiente global de transferencia de calor U, igual a:

$$1/U = \sum_{i=1}^n 1/C_i$$

Donde:

n = número de capas de materiales que componen la pared,

C_i = conductancia térmica del material.

De esta manera la forma general de la ecuación de transferencia de calor en estado estable sería:

$$Q_K : U.A.\Delta t$$

Transmisión de calor por convección: El científico británico Isaac Newton en 1701, halló experimentalmente que la velocidad con la que se enfría la superficie de un sólido sumergido en un fluido mas frío, es proporcional a la diferencia entre la temperatura de la superficie del sólido y la temperatura del fluido frío, lo que se conoce como la Ley de enfriamiento de Newton y se expresa por:

$$Q_c : h_s.A.(t_a \& t_s)$$

Donde:

Q_c = velocidad de transmisión de calor,

h_s = coeficiente de transmisión de calor de la superficie,

A = área de intercambio calórico,

t_a = temperatura del fluido refrigerador,

t_s = temperatura de la superficie

La Tabla 6.4 presenta valores aproximados de los coeficientes de transmisión de calor para diferentes sustancias usadas en alimentos.

Para el caso en que el calor pasa a través de varias resistencias térmicas en serie, donde se combina el mecanismo de transmisión de calor por conducción y por convección, la relación general de velocidad de transmisión de calor sería:

$$Q_{K\&C} = U.A.\Delta t; \text{ siendo } 1/U = 1/h_1 + 1/h_2 + \dots + 1/h_n + 1/C_1 + 1/C_2 + \dots + 1/C_m$$

Tabla 6.4. Coeficientes superficiales de transferencia de calor para diferentes compuestos utilizados como medio de calentamiento en productos cárnicos.

Medio de calentamiento	Coeficiente de transf. de calor
Aire – Convección natural	5 a 24 $\frac{Kcal}{hr\ m^2\ ^\circ C}$ ó 1 a 5 $\frac{BTU}{hr\ ft^2\ ^\circ F}$
Aire – Convección forzada	24 a 244 $\frac{Kcal}{hr\ m^2\ ^\circ C}$ ó 5 a 50 $\frac{BTU}{hr\ ft^2\ ^\circ F}$
Agua – en reposo	5 a 244 $\frac{Kcal}{hr\ m^2\ ^\circ C}$ ó 1 a 50 $\frac{BTU}{hr\ ft^2\ ^\circ F}$
Agua – flujo turbulento o forzado	244 a 9765 $\frac{Kcal}{hr\ m^2\ ^\circ C}$ ó 50 a 2000 $\frac{BTU}{hr\ ft^2\ ^\circ F}$
Agua - en ebullición	2440 a 48824 $\frac{Kcal}{hr\ m^2\ ^\circ C}$ ó 500 a 10000 $\frac{BTU}{hr\ ft^2\ ^\circ F}$
Vapor de agua - condensado	4880 a 97649 $\frac{Kcal}{hr\ m^2\ ^\circ C}$ ó 1000 a 20000 $\frac{BTU}{hr\ ft^2\ ^\circ F}$
Vapor de agua – sobrecalentado	24 a 244 $\frac{Kcal}{hr\ m^2\ ^\circ C}$ ó 5 a 50 $\frac{BTU}{hr\ ft^2\ ^\circ F}$
Aceite – convección forzada	49 a 1462 $\frac{Kcal}{hr\ m^2\ ^\circ C}$ ó 10 a 300 $\frac{BTU}{hr\ ft^2\ ^\circ F}$

Transmisión del calor por radiación: La transmisión de calor por radiación es la transferencia de energía por medio de radiación electromagnética. Es independiente del medio en el cual se sucede y depende de las temperaturas relativas, distribución geométrica y texturas superficiales que emiten o absorben calor en un proceso.

La transmisión de calor por radiación, aunque se presenta con solo la existencia de diferencias de temperatura entre dos cuerpos, solo es el mecanismo dominante cuando entre ellos existen diferencias importantes de temperatura, no implicando ello que en un proceso no coexista con otros mecanismos de transferencia de calor. Sin embargo, para efectos prácticos, en algunos casos puede considerarse, sin incurrir en errores apreciables, como único mecanismo de transferencia de calor.

Las moléculas o los átomos, por efecto de cierta clase de excitación producida por el calor, incrementan su energía interna, emitiéndola en una cantidad determinada por el nivel de temperatura de las moléculas, y capaz de pasar en mayor o menor proporción a un receptor de la radiación distante de la molécula del cuerpo radiante. Si se comparan los fenómenos de conducción y convección con la radiación térmica, se halla que los primeros son afectados por la diferencia de temperatura y muy poco por el nivel de ésta, en tanto que el último aumenta rápidamente a medida que se eleva la temperatura. Puede concluirse que a temperaturas bajas, la conducción y la convección son las que más contribuyen a la transmisión de calor, mientras que a temperaturas altas, la radiación se convierte en el mecanismo más importante.

Naturaleza de la radiación térmica: Si se colocan dos cuerpos pequeños de áreas A_1 y A_2 en un gran recinto en el que se ha practicado el vacío, y perfectamente aislado exteriormente, cuando el sistema alcance el equilibrio térmico los cuerpos emitirán cierta cantidad de radiación, determinada por su área y su poder emisivo. Del mismo modo, absorberán la misma cantidad de radiación de acuerdo con sus áreas y absortividades (la absortividad es una fracción de la radiación incidente que es absorbida); de tal manera que en el equilibrio térmico, la relación del poder emisivo (cantidad de energía emitida por unidad de área a una temperatura dada) de una superficie, a su absortividad es la misma para todos los cuerpos.

Cuando un cuerpo tenga una absortividad, α , igual a uno, o lo que es lo mismo, un poder emisivo en el límite superior, recibe el nombre de radiador perfecto o cuerpo negro; implicando su absortividad de uno, una reflectividad de cero.

La relación del poder emisivo de una superficie real a la del cuerpo negro recibe el nombre de emisividad (ϵ) de la superficie. Un cuerpo en equilibrio térmico debe cumplir que su emisividad ϵ , sea igual a su absortividad α .

La Ley de Stephan-Boltzman es la fórmula básica de la transmisión de calor radiante y se expresa mediante la relación:

$$\Phi_R = A \cdot \sigma \cdot T^4$$

Donde:

- ϕ_R = velocidad de transmisión de calor radiante,
 A = área del cuerpo,
 σ = constante de Stephan-Boltzman
 (1.37 x 10⁻¹² cal/cm².s.EK⁴, 1.73 x 10⁻⁹ BTU/pie².h. ER⁴)
 T^4 = temperatura medida en grados absolutos (R o K)⁴

Los cuerpos reales no satisfacen las especificaciones de un radiador ideal y emiten radiación a una rapidez menor que los cuerpos negros; si los cuerpos reales emiten a una temperatura igual a la del cuerpo negro, una fracción constante de la emisión del cuerpo negro en cada longitud de onda, reciben el nombre de cuerpos grises. De aquí que la rapidez neta del calor transferido de un cuerpo gris a una temperatura T, viene dado por:

$$\phi_R = g.A.\sigma.T^4$$

Puede generalizarse, mediante una aproximación, la relación de intercambio de calor radiante entre dos cuerpos, así:

$$\phi_R = hr.A.(t_1 \& t_2)$$

Donde:

- h_r = coeficiente de transmisión de calor por radiación,
 t_1 = temperatura del cuerpo,
 t_2 = temperatura del entorno,

Además, $h_r = 4. \sigma . \epsilon. T_m^3$

Obsérvese que la temperatura utilizada en la ecuación de transmisión de calor viene dada en grados absolutos. Este coeficiente puede reemplazarse fácilmente para hallar U_R :

$$U_R = \frac{1}{\frac{1}{h_{r1}} + \frac{1}{h_{r2}} + \dots + \frac{1}{h_{rn}}}$$

PROCESOS DE CALENTAMIENTO Y ENFRIAMIENTO

Conducción de calor en estado inestable. Las consideraciones anteriormente realizadas relacionan fenómenos de transferencia de calor en estado estable. Sin embargo, antes de que las condiciones de estado estable se alcancen, debe transcurrir algún tiempo desde que el proceso de transferencia de calor se inicia, con el objeto de que las condiciones de transición desaparezcan. Por ejemplo, cuando encendemos el motor de

una cava, debemos esperar un tiempo hasta que la temperatura en la cava se estabilice, o cuando encendemos una parrilla eléctrica, debemos esperar algún tiempo para que su temperatura sea uniforme.

Flujo de calor con resistencia interna despreciable: Se consideran, para fines prácticos, sistemas con resistencia interna despreciable, aquellos en los cuales la resistencia térmica externa, entre la superficie del sistema y el medio que lo rodea, sea grande, comparada con la resistencia térmica interna del sistema, que controla el proceso de transferencia de calor.

Para ilustrar esta situación, tómese como ejemplo un cilindro largo que se enfría al aire. La velocidad con que la superficie del cilindro transmite calor al aire, viene dada por la ecuación:

$$dq/d\theta = h_s A (t_s - t_a)$$

Donde:

- $dq/d\theta$ = velocidad de transmisión de calor,
- h_s = coeficiente de transmisión de calor por convección,
- A = área superficial del cilindro,
- t_s = temperatura de la superficie,
- t_a = temperatura del aire

El calor que la superficie está perdiendo debe ser suministrado por conducción desde el interior del cilindro. Si se supone que el calor se transmite desde el centro del cilindro, se puede calcular la cantidad de calor que pasa de la superficie al aire, como la producida por la diferencia de temperatura necesaria para producir la misma velocidad de flujo de calor desde el centro del cilindro a la superficie, aunque se incurra en un pequeño error, ya que la distancia que debe recorrer el calor que fluye a la superficie, es menor que el radio del cilindro. Con esta suposición, se puede decir que:

$$dq/d\theta = (K/r). A. (t_s - t_c)$$

Donde:

- K = conductividad térmica,
- r = radio del cilindro,
- A = área del cilindro,
- t_c = temperatura del centro del cilindro,
- t_s = temperatura de la superficie del cilindro

Igualando, se tiene que:

$$\frac{h_s r}{K} = \frac{(t_c - t_s)}{(t_s - t_a)}$$

El término $h_s r / K$, es el número de Biot (Bi), que para el caso, expresa la relación entre las caídas de temperatura relativa del sólido al medio. Cuando el número de Biot es pequeño, lo que en la práctica equivale a valores por debajo de 0.2, puede considerarse que la caída de temperatura en el sólido es despreciable, o lo que es igual, que es indiferente tomar la medida de la temperatura del sólido en un punto cualquiera, para un momento determinado.

Para los procesos de calentamiento o enfriamiento de productos o materiales en la industria de carnes, generalmente la evaluación del número de Bi conduce a valores altos, ya que el coeficiente de transferencia de calor por convección (h_s), debe ser muy alto (para minimizar los tiempos de proceso por razones microbiológicas), mientras que los radios pequeños, no alcanzan a compensar los valores de h_s . Las conductividades térmicas (K) bajas (por ser malos conductores), ofrecen el mismo efecto de incrementar el Bi.

El que el número de Biot sea alto, conlleva a que las soluciones de los problemas de transferencia de calor en estado transiente para la industria de carnes, deban ser soluciones gráficas. Las gráficas de Hessler del anexo 1, son cartas construidas para la solución de este tipo de problemas. Como limitante tienen que son cartas en las cuales se considera el flujo de calor unidireccionalmente, riñendo con la realidad en la cual el flujo de calor se presenta en todas las direcciones, sin embargo, el tratamiento matemático que se da, es el componer o conformar figuras reales, con flujos de calor reales a partir de sobreponer las figuras y flujos consideradas en las soluciones de Hessler; la segunda limitación consiste en que solo se tienen soluciones para figuras regulares, es decir: cilindros, esferas, placas, pirámides, etc., dentro de las cuales se incluyen una gran mayoría de formas de productos cárnicos, pero otros, definitivamente se alejan de esto (p.e. un pernil).

Las gráficas de Hessler correlacionan las siguientes variables:

- C En el eje de las abscisas: el número de Fourier ($F_o = \alpha \cdot \theta / r^2$; donde $\alpha = K/C_p \cdot \rho$, llamada también difusividad térmica)
- C En el eje de las ordenadas: $t_f - t_\alpha / t_i - t_\alpha$, usando el inverso del número de Biot como parámetro.

Como los supuestos con los que fueron construidas las gráficas son los de flujo de calor unidireccional, sin fuentes térmicas internas y figuras geométricas regulares, es posible componer los resultados de $(t_f - t_\alpha / t_i - t_\alpha)_{\text{del cuerpo 1}}$, con los de $(t_f - t_\alpha / t_i - t_\alpha)_{\text{del cuerpo 2}}$, con los de $(t_f - t_\alpha / t_i)_{\text{del cuerpo 3}}$, etc., mediante la multiplicación de los resultados, pero no es posible componer los números de F_o ; lo cual significa que es posible hallar la temperatura final al cabo de un tiempo determinado directamente, pero no es posible determinar directamente el tiempo para una temperatura final definida, debiéndose recurrir al método de error y ensayo.

CÁLCULO DE TIEMPOS DE COCCIÓN

El conocimiento de todas las variables que se han discutido hasta este punto, permite estimar el tiempo de cocción de los productos cárnicos bajo unas condiciones determinadas del medio de calentamiento y de acuerdo al diámetro y al peso del producto. Para figuras no regulares.

Waters (1995), sin embargo, reporta los tiempos de cocción estimados para jamones de pierna entera, en su forma geométrica normal, utilizando cocción con vapor (100% H.R.), dependiendo del peso de la pierna. Estos datos tienen utilidad desde el punto de vista práctico y para efectos de estimación de tiempo en una forma rápida (Tabla 6.5).

Tabla 6. 5. Tiempo aproximado requerido, con base en el peso, para la cocción con vapor de jamón de pierna, desde 10EC hasta 66EC de temperatura interna.

Temperatura del Vapor = 68°C		Temperatura del Vapor = 72°C	
Peso crudo	Tiempo	Peso crudo	Tiempo
3.50 kg	4 hrs 5 min	3.50 kg	3 hrs 30 min
3.60 kg	4 hrs 12 min	3.60 kg	3 hrs 36 min
3.70 kg	4 hrs 19 min	3.70 kg	3 hrs 42 min
3.80 kg	4 hrs 26 min	3.80 kg	3 hrs 48 min
3.90 kg	4 hrs 33 min	3.90 kg	3 hrs 54 min
4.00 kg	4 hrs 40 min	4.00 kg	4 hrs 0 min
4.10 kg	4 hrs 47 min	4.10 kg	4 hrs 6 min
4.20 kg	4 hrs 54 min	4.20 kg	4 hrs 12 min
4.30 kg	5 hrs 1 min	4.30 kg	4 hrs 18 min
4.40 kg	5 hrs 8 min	4.40 kg	4 hrs 24 min
4.50 kg	5 hrs 15 min	4.50 kg	4 hrs 30 min
4.60 kg	5 hrs 22 min	4.60 kg	4 hrs 36 min
4.70 kg	5 hrs 29 min	4.70 kg	4 hrs 42 min
4.80 kg	5 hrs 36 min	4.80 kg	4 hrs 48 min
4.90 kg	5 hrs 43 min	4.90 kg	4 hrs 54 min
5.00 kg	5 hrs 50 min	5.00 kg	5 hrs 0 min
5.10 kg	5 hrs 57 min	5.10 kg	5 hrs 6 min
5.20 kg	6 hrs 4 min	5.20 kg	5 hrs 12 min
5.30 kg	6 hrs 11 min	5.30 kg	5 hrs 18 min
5.40 kg	6 hrs 18 min	5.40 kg	5 hrs 24 min
5.50 kg	6 hrs 25 min	5.50 kg	5 hrs 30 min
5.60 kg	6 hrs 32 min	5.60 kg	5 hrs 36 min
5.70 kg	6 hrs 39 min	5.70 kg	5 hrs 42 min
5.80 kg	6 hrs 46 min	5.80 kg	5 hrs 48 min
5.90 kg	6 hrs 53 min	5.90 kg	5 hrs 54 min
6.00 kg	7 hrs 0 min	6.00 kg	6 hrs 0 min
6.10 kg	7 hrs 7 min	6.10 kg	6 hrs 6 min
6.20 kg	7 hrs 14 min	6.20 kg	6 hrs 12 min
6.30 kg	7 hrs 21 min	6.30 kg	6 hrs 18 min
6.40 kg	7 hrs 28 min	6.40 kg	6 hrs 24 min
6.50 kg	7 hrs 35 min	6.50 kg	6 hrs 30 min
6.60 kg	7 hrs 42 min	6.60 kg	6 hrs 36 min
6.70 kg	7 hrs 49 min	6.70 kg	6 hrs 42 min

Continuación Tabla 6.5

Peso crudo	Tiempo	Peso crudo	Tiempo
6.80 kg	7 hrs 56 min	6.80 kg	6 hrs 48 min
6.90 kg	8 hrs 3 min	6.90 kg	6 hrs 54 min
7.00 kg	8 hrs 10 min	7.00 kg	7 hrs 0 min
7.10 kg	8 hrs 17 min	7.10 kg	7 hrs 6 min
7.20 kg	8 hrs 24 min	7.20 kg	7 hrs 12 min
7.30 kg	8 hrs 31 min	7.30 kg	7 hrs 18 min
7.40 kg	8 hrs 38 min	7.40 kg	7 hrs 24 min
7.50 kg	8 hrs 45 min	7.50 kg	7 hrs 30 min
7.60 kg	8 hrs 51 min	7.60 kg	7 hrs 36 min
7.70 kg	8 hrs 59 min	7.70 kg	7 hrs 42 min
7.80 kg	9 hrs 6 min	7.80 kg	7 hrs 48 min
7.90 kg	9 hrs 13 min	7.90 kg	7 hrs 54 min
8.00 kg	9 hrs 20 min	8.00 kg	8 hrs 0 min

Al igual que para los jamones, Waters (1995), también reporta los tiempos de cocción estimados para salchichas, en su forma geométrica normal, utilizando cocción con vapor (100% H.R.), dependiendo del diámetro de la salchicha (Tabla 6.6).

Tabla 6. 6. Tiempo aproximado requerido, con base en el diámetro, para la cocción de salchichas, utilizando vapor a 75EC, hasta alcanzar una temperatura interna final de 70EC

Diámetro (mm)	Tiempo (desde temperatura interna inicial de 10EC)	Diámetro (mm)	Tiempo (desde temperatura interna inicial de 40EC)
15	4 min	15	3.5 min
20	7 min	20	6 min
25	11 min	25	9 min
30	16 min	30	13 min
35	22 min	35	18 min
40	28 min	40	23 min
45	36 min	45	29 min
50	44 min	50	36 min
55	54 min	55	43 min
60	1 hr 4 min	60	51 min
70	1 hr 26 min	70	1 hr 9 min
75	1 hr 39 min	75	1 hr 19 min
80	1 hr 53 min	80	1 hr 30 min
90	2 hrs 23 min	90	1 hr 54 min
95	2 hrs 39 min	95	2 hrs 7 min
100	2 hrs 56 min	100	2 hrs 21 min
110	3 hrs 33 min	110	2 hrs 50 min
115	3 hrs 53 min	115	3 hrs 6 min
120	4 hrs 13 min	120	3 hrs 23 min
130	4 hrs 57 min	130	3 hrs 58 min
135	5 hrs 20 min	135	4 hrs 16 min
140	5 hrs 44 min	140	4 hrs 36 min
150	6 hrs 35 min	150	5 hrs 16 min

En forma similar, se pueden realizar cálculos para los procesos de enfriamiento de salchicha, en los que por lo general, se utilizan duchas de agua fría como medio refrigerante.

En la Tabla 6.7 se presentan datos de enfriamiento para salchichas, con base en el diámetro de las mismas.

Tabla 6.7. Tiempo aproximado requerido, con base en el diámetro, para el enfriamiento por duchado de salchichas, utilizando agua a 15°C, partiendo de una temperatura interna del producto 70°C.

Diámetro (mm)	Tiempo (hasta temperatura interna final de 30EC)	Diámetro (mm)	Tiempo (hasta temperatura interna final de 20EC)
15	2.5 min	15	4 min
20	4 min	20	7 min
25	7 min	24	11 min
30	9 min	30	15 min
35	12 min	35	21 min
40	16 min	40	27 min
45	20 min	45	34 min
50	25 min	50	42 min
55	30 min	55	41 min
60	36 min	60	60 min
70	49 min	70	1 hr 22 min
75	56 min	75	1 hr 34 min
80	1 hr 3 min	80	1 hr 47 min
90	1 hr 20 min	90	2 hrs 15 min
95	1 hr 29 min	95	2 hrs 30 min
100	1 hr 39 min	100	2 hrs 46 min
110	1 hr 59 min	110	3 hrs 21 min
115	2 hrs 10 min	115	3 hrs 40 min
120	2 hr 22 min	120	3 hrs 59 min
130	2 hrs 47 min	130	4 hrs 41 min
135	3 hrs 0 min	135	5 hrs 3 min
140	3 hrs 13 min	140	5 hrs 26 min
150	3 hrs 42 min	150	6 hrs 16 min

CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE EQUIPOS DESDE EL PUNTO DE VISTA DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR

El criterio básico para la selección de equipos para tratamientos térmicos es el de la potencia de éstos, obviamente teniendo en cuenta las limitaciones espaciales, de calidad, estética y precio. Con el ejemplo se pretende ilustrar la forma de llegar a determinar los requerimientos de potencia en un proceso de escaldado de un jamón.

Ejemplo: Determinar la cantidad de calor que fluye debido a la condensación de un vapor de agua saturado procedente de una caldera que tiene una presión de trabajo de 3.2 psig, colocada en un sitio donde la presión atmosférica es de 11.5 psia, si este vapor es el medio calefactor en un equipo enchaquetado que contiene un fluido que debe mantenerse a 80 EC, considerando que el recipiente está construido en acero inoxidable, que posee un área efectiva de transferencia de calor de 2.5 m² y un espesor de pared de 3 mm.

Supóngase además que el coeficiente de transmisión de calor por convección, para el vapor condensante es de 10.000 Kcal /h. m² . °C, y para el fluido es de 30.000 Kcal / h. m² . °C.

En primer lugar se procede a identificar los mecanismos de transmisión de calor dominantes en cada una de las partes del equipo:

- C Transmisión de calor por convección por medio del vapor de agua condensante
- C Transmisión de calor por conducción a través de la pared del equipo
- C Transmisión de calor por convección en el fluido
- C Obviamente existe transmisión de calor por radiación, sin embargo, de acuerdo con el criterio expresado anteriormente, se desprecia.

La relación a utilizar será aquella que combina los dos mecanismos, conducción y convección en estado estable, es decir:

$$\dot{Q} = U.A.(t_{vapor} - t_{fluido})$$

Donde:

$$1 / U = 1 / h_1 + 1 / h_2 + 1 / C_1$$

en los cuales h_1 y h_2 corresponden a los coeficientes de transmisión de calor por convección en el vapor.

La conductancia térmica se determina mediante:

$$C_1 = K_{acero} / X_{espesor}$$

De la Tabla 6.3, se toma la K del acero;

$$K = 18 \text{ Kcal / h. m. } ^\circ\text{C}$$

entonces:

$$C_1 = 18 / 0.003 = 6000 \text{ Kcal / h. m}^2. ^\circ\text{C}$$

$$\text{Luego: } 1/U = 1/10.000 + 1/30.000 + 1/6.000 = 3 \times 10^{-4}$$

De donde:

$$U = 3333.33 \text{ Kcal} / \text{h. m}^2. ^\circ\text{C}$$

La temperatura del vapor corresponde a la temperatura de saturación a la presión del vapor.

$$P_{\text{manométrica}} = P_{\text{total}} - P_{\text{atmosférica}}$$

Si el proceso se realiza en un sitio donde la presión atmosférica es de 11.5 psia, entonces:

$$P_{\text{total}} = 3.2 + 11.5 = 14.7 \text{ psi} = 1 \text{at.} = 1.033 \text{ Kg f} / \text{cm}^2$$

De las tablas de vapor de agua, anexo 2, t_{sat} a $1.033 \text{ Kg f} / \text{cm}^2 = 100^\circ\text{C}$

Aplicando la relación inicial, se tiene:

$$\dot{Q} = 3333.33 \text{ Kcal} / \text{h. m}^2. ^\circ\text{C}_x 2.5 \text{ m}^2_x (100 - 80)^\circ\text{C} = 166.666.5 \text{ Kcal} / \text{h}$$

A partir de este resultado se puede determinar la potencia del equipo que suministra el vapor, la caldera, de la siguiente manera:

Suponiendo que el vapor entre a la camisa como vapor saturado seco, y que allí todo se condense (lo cual puede lograrse colocando una trampa para vapor a la salida del equipo). Puede entonces calcularse la cantidad de vapor que suministra este calor, mediante la relación:

$$\text{Cantidad de vapor} = \frac{166.666.5 \text{ Kcal/h}}{539 \text{ Kcal/Kg de vapor (para el agua a } 100^\circ\text{C)}} = 309.21 \text{ Kg/h}$$

Si se considera que 1 BHP (potencia de caldera en HP) = 34.5 lib. vapor / h a 212°F (100°C), entonces:

$$\text{Potencia de caldera} = \frac{309.21 \text{ Kg vapor/h} \times 2.2 \text{ lib/Kg}}{34.5 \text{ lib vapor/BHP}} = 19.74 \text{ BHP}$$

Lo anterior quiere decir que de acuerdo con la disponibilidad comercial, se adquiriría una caldera de 20 BHP.

EL AIRE COMO MEDIO DE TRANSFERENCIA DE CALOR Y DE MASA

En la mayoría de los tratamientos térmicos para productos cárnicos escaldados se utiliza aire circulando, como medio de calentamiento y secado. Por esto es necesario entender completamente el comportamiento y las propiedades de este fluido.

El aire en su estado natural, siempre está conformado por una mezcla de gases absolutamente secos y vapor de agua (agua en estado gaseoso). La parte de la termodinámica que se ocupa de la determinación de las propiedades de las mezclas aire-vapor de agua se denomina *psicrometría*. La cantidad de vapor de agua que se puede mezclar con una cantidad específica de aire depende directamente de la temperatura de la mezcla; entre más alta sea dicha temperatura, mayor es la cantidad de vapor de agua que el aire puede retener.

CONCEPTOS BASICOS

A continuación se definen algunos términos que son fundamentales para el entendimiento de la psicrometría:

Presión de vapor: p_s

La evaporación, es el fenómeno por el cual un líquido cambia de estado y se convierte en gas. Este paso de líquido a gas se da bajo unas condiciones específicas de temperatura y presión. Hablando estrictamente del agua, ésta puede ser evaporada a cualquier temperatura, inclusive cuando se encuentra en forma de hielo, dependiendo simplemente de la presión a la cual sea sometida. La presión a la cual se da este cambio de fase, de agua líquida a vapor (estado gaseoso), o de hielo a vapor, es la presión de vapor.

Normalmente, a presión atmosférica de 760 mm de Hg (a nivel del mar), el agua cambia de fase de líquido a vapor a los 100EC. Por lo tanto, para 100EC la presión de vapor (p_s) es de 760 mm de Hg.

En el Anexo 2. se puede observar las presiones de vapor para el hielo a diferentes temperaturas y los valores para el agua, en estado líquido:

Humedad absoluta: H

También se conoce como “Humedad Específica”. La humedad absoluta es igual a la cantidad de vapor de agua transportada por unidad de masa de aire seco. En realidad, la humedad absoluta es una relación de pesos, y por lo tanto se puede utilizar cualquier unidad de masa (kilogramos, toneladas, gramos, etc.). En estado ideal, la humedad absoluta es igual a:

$$H = \frac{PM_w p_v}{PM_a (P + p_v)} \quad H = \frac{18 p_v}{29 (P + p_v)}$$

Donde:

PM_w = peso molecular del agua (18 lb/lbmol),

PM_a = peso molecular del aire seco (29 lb/lbmol),

p_v = presión parcial del vapor de agua en el sistema,

P = presión total del sistema

Humedad de Saturación: H_s

Cuando la presión parcial p_v del vapor de agua en el aire, a una temperatura dada, es igual que la presión de vapor del agua p_s a la misma temperatura, el aire se encuentra saturado y la humedad absoluta se designa como la Humedad de Saturación (H_s). El término “saturado” es un índice de que el aire no es capaz de transportar o retener más agua en forma de vapor, y por lo tanto, dicho vapor está a punto de cambiar de fase a estado líquido.

Por lo tanto:

$$H_s = \frac{PM_w p_s}{PM_a (P + p_s)} \quad H_s = \frac{18 p_s}{29 (P + p_s)}$$

Donde:

PM_w = peso molecular del agua (18 lb/lbmol),

PM_a = peso molecular del aire seco (29 lb/lbmol),

p_s = presión de vapor del agua a la temperatura del aire,

P = presión total del sistema

Humedad Relativa (porcentual): $H.R.$

La Humedad Relativa es la relación que existe entre la presión parcial del vapor de agua en el aire a una temperatura dada, y la presión de vapor del agua a la misma temperatura (se expresa como porcentaje).

Por lo tanto:

$$H.R. = \frac{p_v}{p_s} \times 100$$

En otras palabras, la Humedad Relativa (**H.R.**) da una medida de la capacidad de secado del aire, o también se podría decir que **H.R.** da una idea de qué tan lejos se encuentra el aire de su punto de saturación (punto en el cual se presentaría el cambio de fase del agua a estado líquido). El porcentaje de humedad relativa a una temperatura específica del aire, establece una comparación entre la cantidad de vapor de agua que está en el aire con la cantidad máxima de agua que el aire puede retener, a dicha temperatura.

Si la presión parcial del vapor de agua en el aire llegara a igualar a la presión de vapor de agua a la misma temperatura, la humedad relativa tomaría el valor de 100%, lo cual significa que el aire, a esa temperatura específica, está saturado con la cantidad máxima de humedad que éste puede contener. Cualquier cantidad adicional de agua en el aire se presentaría en forma líquida y no gaseosa.

Existen muchos sistemas para la medición de la humedad relativa. El más común y preciso es el de comparar la temperatura de bulbo seco, la temperatura del aire y la temperatura de bulbo húmedo del aire.

Temperatura de bulbo seco: T_{bs}

La temperatura de bulbo seco es la temperatura real del aire, medida con cualquier termómetro. En el caso del procesamiento cárnico, corresponde a la temperatura del aire de procesamiento dentro del horno.

La temperatura de bulbo seco determina la temperatura máxima a la que el producto podrá ser calentado.

La diferencia entre la temperatura del producto y la temperatura de bulbo seco (T), determina la velocidad a la cual va a aumentar la temperatura de un producto.

Temperatura de bulbo húmedo: T_{bh}

También conocida como temperatura de enfriamiento adiabático, o temperatura de enfriamiento evaporativo. Dicho valor, indica la temperatura a la cual se está evaporando el agua desde una superficie completamente saturada con agua.

En otras palabras, la temperatura de bulbo húmedo corresponde a la temperatura que se presenta cuando se establece un equilibrio entre la velocidad de transferencia de calor por convección (a la superficie saturada de agua) y la velocidad de transferencia de masa.

Para medir la temperatura de bulbo húmedo, se coloca un pedazo de tela absorbente mojado alrededor del sensor de temperatura (termómetro). Dicho sensor se enfriará a medida que el agua se evapora de la tela. Se debe utilizar una corriente de aire de al menos una velocidad, 2 metros por segundo para lograr dicha evaporación. Las lecturas realizadas con velocidades de aire de 6 m/s son más exactas.

La temperatura de bulbo húmedo será siempre menor o igual a la temperatura de bulbo seco.

La temperatura de bulbo húmedo es la temperatura del pedazo de tela mojado y por lo tanto mientras más seco sea el aire, mayor es la tasa de evaporación, y menor es la temperatura del pedazo de tela.

Enfriamiento evaporativo:

Es el enfriamiento que sufre cualquier cuerpo cubierto con agua, cuando dicha agua se evapora desde la superficie.

Cuando el agua se evapora, está sufriendo un cambio de fase. Para que esto suceda, se necesita una gran cantidad de energía, la cual es extraída desde el cuerpo. Cuando el cuerpo entrega dicha energía para la evaporación del agua superficial, pierde calor y por lo tanto se enfría.

La disminución en la temperatura del pedazo de tela mojado en el termómetro de bulbo húmedo, se debe al enfriamiento evaporativo.

Los productos cárnicos contienen grandes cantidades de agua. Por lo tanto, el fenómeno de enfriamiento evaporativo también tiene efecto sobre la temperatura del producto. Es importante entender este concepto para el diseño de un programa térmico.

Temperatura del punto de rocío:

La temperatura del punto de rocío es la temperatura de rocío a la cual el aire entrega o libera su humedad sobre una superficie o ambiente que está más frío.

En el punto de rocío, el aire se satura con vapor de agua. Al saturarse, el aire no es capaz de retener más agua en forma de vapor y por lo tanto la libera en forma de pequeñas gotas de agua líquida. Esto sucede debido a que en este punto el vapor de agua contenido en el aire ejerce una presión parcial igual a la presión de vapor del agua pura.

La temperatura del punto de rocío del aire, a cualquier temperatura de bulbo seco, depende de la cantidad de humedad contenida en el aire a dicha temperatura (humedad relativa).

DIAGRAMA PSICROMÉTRICO (O DIAGRAMA DE HUMEDAD)

Todas las propiedades de las mezclas aire seco-vapor de agua que se explicaron anteriormente, pueden graficarse en un diagrama comúnmente llamado *carta o diagrama psicrométrico*. En la Figura 6.1 se observa una carta psicrométrica para una presión atmosférica de 760 mm Hg (es decir, al nivel del mar).

En la Figura 6.2 se muestran los principales parámetros incluidos en una carta psicrométrica.

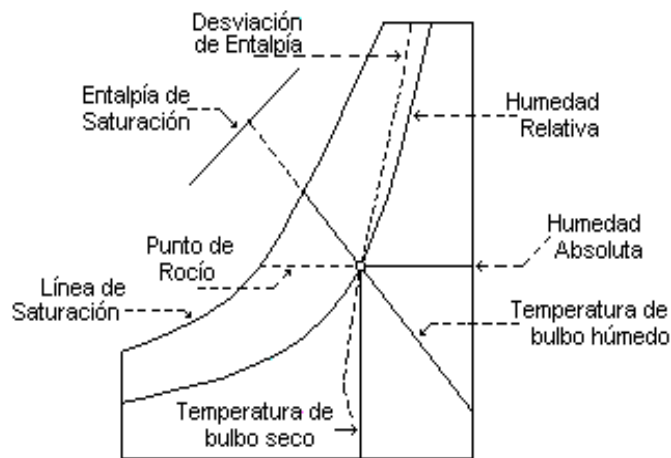


Figura 6.2 Diagrama de una carta psicrométrica que ilustra las propiedades del aire húmedo.

EVAPORACIÓN Y CONDENSACIÓN

El aire no saturado (humedad relativa menor al 100%), tiene la tendencia a saturarse al atrapar el agua que esté disponible.

Mientras más baja sea la humedad relativa y mayor sea la temperatura del aire, más rápido atraparé la humedad y alcanzará la saturación. El proceso por el cual el agua pasa a ser parte del aire se llama evaporación. Para evaporar 1 libra de agua a una presión atmosférica de 760 mm de Hg (a nivel del mar), se necesitan 970.3 BTU de energía. Es por esto, que la superficie desde la cual el agua se evapora hacia el aire, entrega dicha energía y se enfría.

La condensación es el proceso inverso a la evaporación. Es decir, la condensación es la liberación de agua por parte del aire a medida que éste alcance el punto de rocío. A partir de allí, el aire se enfría.

Para aclarar este concepto, se expone el caso en el que un producto es colocado en un ambiente a mayor temperatura, por el cual circula aire húmedo. Si la temperatura del producto es menor que la temperatura del punto de rocío del aire, cuando el aire entre en contacto con el producto, dejará depositada la humedad sobre la superficie del

mismo. Este proceso continuará hasta que el producto aumente su temperatura por encima de la temperatura del punto de rocío del aire (Waters, 1996).

Contrariamente a la evaporación, cada libra de agua que se condensa a una presión atmosférica de 760 mm de Hg (a nivel del mar), entrega 970.3 BTU en este proceso de cambio de fase. Es por esto, que el producto sobre el cual la humedad se condensa, aumentará su temperatura, a la vez que el aire se enfría.

HUMIDIFICACION Y DESHUMIDIFICACION DEL AIRE

La única forma de modificar las características del aire es agregando o eliminando agua en estado gaseoso (vapor). Dicha humedad adicional puede provenir de varias fuentes, aparte del producto alimenticio como tal:

- C El agua puede ser inyectada en el aire como neblina (pequeñas gotas de agua en forma líquida).
- C El agua puede ser inyectada en forma gaseosa (es decir, vapor), proveniente de una caldera.
- C También se puede aumentar el contenido de humedad del aire al mezclar aire a determinadas condiciones de humedad con un aire más húmedo.
- C Igualmente, al rebajar la temperatura del aire aumenta su humedad relativa. Es importante entender que al calentar o enfriar el aire a Humedad Absoluta constante, no cambia la cantidad de agua en el aire, pero sí cambia la temperatura y por lo tanto la Presión de Vapor, p_s . En consecuencia, a pesar de que se tenga la misma presión parcial de vapor de agua en el aire al tener el mismo contenido de agua, la humedad relativa cambiará al cambiar la Presión de Vapor de la siguiente forma: al calentar el aire, disminuye la humedad relativa (pues la Presión de Vapor aumenta), y al enfriar el aire, aumenta la humedad relativa debido a la disminución en la presión de vapor, p_s . En la Figura 6.3 se aclara gráficamente este concepto.

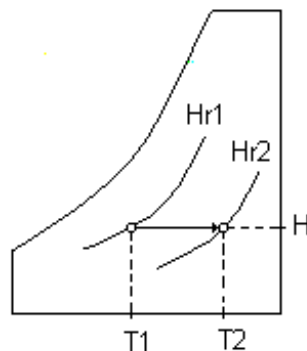


Figura 6.3 Variación en la Humedad Relativa debido al aumento de temperatura.

De acuerdo con esta gráfica, la humedad relativa en el punto 2 (H.R.2) es menor que la humedad relativa en el punto 1 (H.R.1). Esto se explica de la siguiente forma:

Recordando la definición de Humedad Relativa:

$$H.R. = \frac{p_v}{p_s} \times 100$$

p_v , que es la presión parcial de vapor en el aire, no cambia al pasar del punto 1 al 2, ya que la Humedad Absoluta (H) no cambia. Es decir que la cantidad de vapor de agua contenida en el aire no cambia.

Sin embargo, la Presión de Vapor, p_s , sí cambia al aumentar la temperatura. En el punto 2, la presión de vapor es mayor, y por lo tanto, el denominador en la ecuación que define a H.R. aumenta. En consecuencia, el valor de H.R. disminuye en el punto 2.

Ejemplos de Humidificación:

Incremento de la humedad mediante adición de vapor

Aire a 120EF (49EC) y 40% H.R.

En este caso, cada libra de aire seco, contiene 0.03 libras de agua (Humedad Absoluta). La entalpía es de 65.12 BTU (Figura 6.1).

Para alcanzar una humedad relativa del 80% a la misma temperatura (120EF), es necesario agregar vapor de agua al aire. El vapor de agua cerca de la presión atmosférica se puede adicionar sin necesidad de agregar energía al sistema, ya que no se requiere el cambio de fase de líquido a gaseoso.

Esto implica la adición de 0.0342 libras de vapor de agua al aire. A su vez, esto representará un incremento en el volumen de la mezcla aire seco-vapor de agua de 0.762 pies cúbicos.

El vapor que se debe inyectar debe ser a muy baja presión. La razón para esto, es que el vapor a una presión alta se encuentra a una temperatura superior ocupando un volumen menor por libra. Si se inyectara vapor a alta presión en condiciones atmosféricas, se daría lugar a un sobrecalentamiento, lo cual generaría un aire más seco, que es el efecto contrario de lo que se está buscando. De esta forma, cuando el aire recupere su temperatura inicial de 120EF, va a condensar agua.

El vapor a alta presión es mucho más difícil de controlar que el vapor a presión cercana a la atmosférica. Desde el punto de vista práctico, cuando se está cerca de la presión atmosférica, el vapor debe ser agregado a la corriente de aire circulante en cantidades

pequeñas, suspendiendo durante ciertos intervalos de tiempo. Inyectando vapor durante 2 segundos, y dejando intervalos de 5 a 10 segundos, se genera una humidificación correcta del aire, sin sobrecalentarlo.

Incremento de la humedad mediante adición de agua rociada o nebulizada:

Si se pretendiera adicionar las 0.0342 libras de agua por cada libra de aire seco a la corriente de aire circulante utilizando agua en forma de pequeñas gotas, también se lograría la humedad relativa del 80%. Sin embargo, este proceso va a requerir grandes cantidades de energía para evaporar el agua líquida (gotas).

Si por ejemplo se utilizara agua a temperatura ambiental de 72EF (22EC). Para evaporar el agua necesaria para humidificar hasta 80% de H.R., se requerirán 36.70 BTU aproximadamente.

Como se aclaró anteriormente, el aire a 120EF y 40% H.R. contiene aproximadamente 65 BTU. Alguna parte de esta energía que se requiere para evaporar el agua (36.70 BTU), la entrega el aire. Por lo tanto, el aire se enfría. Esta disminución en la temperatura del aire va a arrojar como resultado un aumento en la humedad relativa.

Si se utiliza una fuente de calor por separado para calentar previamente el agua que va a ser rociada, se mejorará la eficiencia del sistema, sin embargo nunca llegará a igualar a la de un sistema con inyección de vapor.

Incremento de la humedad por enfriamiento del aire:

Si el aire a 120EF y 40% H.R. es enfriado hasta una temperatura de 96EF (36EC) aproximadamente, entonces el mismo contenido de humedad de 0.03 libras de agua por libra de aire seco, van a representar el 80% de H.R., debido a la disminución en la presión de vapor.

Incremento de la humedad, mezclando aire bajo determinadas condiciones con aire a otras condiciones:

Mezclando una libra de aire a 120EF y 40% de H.R., con una libra de aire a 150EF y 30% de H.R., y luego volviendo a enfriar dicha mezcla hasta los mismos 120EF, se obtiene finalmente una humedad relativa del 53%.

Lo anterior se puede explicar de la siguiente forma:

Humedad absoluta para 120EF y 40% H.R.: 0.0300 lb agua/lb aire seco

Humedad absoluta para 150EF y 30% H.R.: 0.0514 lb agua/lb aire seco

Al mezclarlos, se tienen finalmente 2 libras de aire con un contenido total de humedad de 0.0814 libras de agua. Es decir, que por cada libra de aire seco, se tienen 0.0407 libras de agua.

Para esta nueva humedad absoluta, se puede leer en la carta psicrométrica el valor de H.R. a 120EF, obteniendo 53% aproximadamente.

Es muy importante observar que, aun cuando el aire de 150EF tenga una humedad relativa más baja que el aire de 120EF, la combinación de ambos al ser enfriada nuevamente hasta 120EF va a dar una mayor humedad relativa. El entendimiento de este concepto es fundamental para el diseño de los hornos que serán utilizados en el tratamiento de productos cárnicos, al igual que para su ubicación dentro de la planta de procesamiento.

Ejemplos de Deshumidificación:

La deshumidificación del aire se puede llevar a cabo de muchas formas. Algunas de ellas serán discutidas a continuación.

Utilización de desecantes:

Este sistema no tiene ninguna aplicación práctica en la industria de procesamiento cárnico.

Un desecante es un compuesto químico, en forma sólida, líquida o gaseosa, que es altamente higroscópico, y por lo tanto absorbe grandes cantidades de agua. En la mayoría de los casos, son sólidos en forma de cristal o gránulos. La razón para esto, es crear una mayor superficie de contacto expuesta a la humedad, para así facilitar el fenómeno de adsorción sobre dicha superficie.

Un desecante adsorbe agua hasta que se satura. En este punto, pierde completamente su capacidad de absorción de agua y por lo tanto debe ser reemplazado o debe ser sometido a calentamiento para evaporar el agua que absorbió y así poderlo reutilizar.

Las impurezas que están presentes en el aire, tales como aceites, humo y sustancias volátiles, pueden cubrir estos gránulos desecantes, afectando así su capacidad de absorción de agua, haciéndolo poco efectivo en muy poco tiempo. En el procesamiento cárnico, dichas impurezas están presentes en el aire en diferentes combinaciones y concentraciones, y por lo tanto el uso de desecantes no es recomendado como agente de deshumidificación.

Deshumidificación por rociado de agua:

Este es un sistema que tampoco se recomienda en la industria de procesamiento cárnico. Es probablemente el sistema más antiguo que se conoce para enfriar y deshumidificar el aire.

El sistema consiste en mezclar aire húmedo con agua rociada a una temperatura más baja que la del aire. De esta forma el aire se enfría y se satura a una temperatura mucho más baja (pues el punto de rocío cae al mezclarse con agua fría). Si este aire saturado a dicha

temperatura, se vuelve a recalentar hasta la temperatura inicial, su humedad relativa será mucho más baja.

En la Figura 6.4, se observa gráficamente el comportamiento del aire cuando es deshumidificado por rociado con agua.

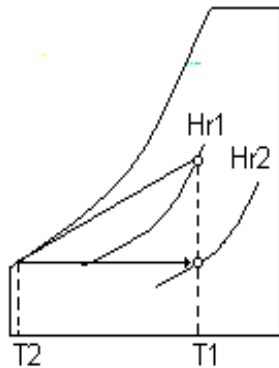


Figura 6.4 Deshumidificación del aire utilizando agua rociada.

Para ilustrar mejor este caso, se propone el siguiente ejemplo:

Aire a 130EF y 80% de Humedad Relativa, se pasa a través de un rociador de agua para deshumidificar. El agua que se va a utilizar en el rociado está a temperatura ambiente de 72EF. Para tal propósito se van a utilizar 5 libras de agua rociada.

De acuerdo a la Figura 6.4, los datos coinciden con las siguientes variables:

$$T1 = 130\text{EF}$$

$$H.R.1 = 80\%$$

Se debe calcular el valor de H.R.2. Esto se hace de la siguiente forma:

Los datos de entalpía de ambos compuestos son los siguientes:

$$\text{Una libra de aire a } 130\text{EF y } 80\% \text{ H.R.} = 131 \text{ BTU}$$

$$\text{Una libra de agua a } 72\text{EF} = 40 \text{ BTU}$$

Por lo tanto el aire entregará parte de su energía a la vez que el agua gana dicha energía. Esto sucede hasta que las entalpías de ambos compuestos se igualan. En otras palabras,

se está haciendo un balance de energía, así:

$$\frac{(1 \text{ lb de aire} \times 131 \text{ BTU/lb de aire}) + (5 \text{ lb de agua} \times 40 \text{ BTU/lb de agua})}{6 \text{ lb de mezcla aire-agua}} = 55.17 \text{ BTU}$$

Para esta entalpía, los valores de temperatura para el agua y el aire serán los siguientes:

Temperatura del agua con entalpía 55.17 BTU/lb = 87°F

Temperatura del aire a 100% H.R. y entalpía 55.17 BTU/lb = 90°F

El valor de 90°F para el aire, equivale a la temperatura **T2** de la Figura 6.4.

Por lo tanto, si el aire a 90°F y 100% de H.R. se calienta hasta la temperatura inicial de 130°F (**T1**), se obtiene finalmente una humedad relativa de 32%.

Es decir que el valor de **H.R.2**, según la Figura 6.4, es de 32%. En esta forma, se ha deshumidificado el aire utilizando agua rociada. Es importante tener en cuenta que los cálculos aquí realizados se realizan tomando valores teóricos. Es posible, que en la práctica, el aire ni siquiera se sature (llegue al 100% de H.R.) rociando esta cantidad de agua, si no que simplemente aumente su humedad relativa hasta un punto inferior al 100%.

Aunque este proceso parezca simple, hay varias razones por las cuales no es frecuente su uso en la industria de procesamiento cárnico. La principal de ellas es que se requieren grandes cantidades de agua fría para rociar. Además, como el agua utilizada se va calentando a medida que se va usando, la eficiencia del sistema va disminuyendo.

Además, el agua en forma rociada condensará algunas de las partículas de humo que puedan estar presentes en el aire, lo cual va a causar problemas para el bombeo y posterior eliminación del agua residual.

Adicionalmente, este sistema sólo es eficiente si la diferencia de temperaturas entre el agua de rociado y el aire circulante es muy alta.

Deshumidificación por mezcla con aire más frío o más seco:

Este es el sistema más eficiente y más económico de todos los sistemas de deshumidificación.

Presenta como desventaja que sólo es posible utilizarlo cuando por el ambiente del salón o del área de procesamiento, circula un aire más seco o más frío que el aire de procesamiento que circula dentro del equipo (horno). Este sistema es efectivo cuando

el aire dentro del horno se encuentra a temperaturas superiores a los 43EC (110EF). Si la temperatura dentro del horno es inferior a los 43EC, entonces el sistema funcionará solamente si la temperatura del ambiente exterior es muy baja.

Se propone analizar el siguiente ejemplo:

Aire dentro del horno: Temperatura = 130EF H.R. = 70%

Aire del ambiente: Temperatura = 80EF H.R. = 80%

Para las condiciones anteriores las entalpías correspondientes son las siguientes:

Aire dentro del horno = 118.5 BTU/lb

Aire del ambiente = 38.8 BTU/lb

Si se mezclan 4 libras del aire del ambiente con 1 libra del aire dentro del horno, se tiene:

$$\frac{(1 \text{ lb a. horno} \times 118.5 \text{ BTU/lb de aire}) + (4 \text{ lb a. ambiente} \times 38.8 \text{ BTU/lb de aire})}{5 \text{ lb de mezcla aire}} = 54.74$$

Debido a que se está haciendo una mezcla de dos tipos de aire, la temperatura final resultante será:

$$\frac{(1 \text{ lb a. horno} \times 130\text{EF}) + (4 \text{ lb a. ambiente} \times 80\text{EF})}{5 \text{ lb de mezcla aire}} = 90^{\circ}\text{F}$$

A 90°F, el aire completamente seco tiene un contenido de energía (entalpía) de 21.625 BTU.

Como el contenido total de energía de la mezcla es de 54.74 BTU, quiere decir que el vapor contenido en la mezcla aporta: $54.74 \text{ BTU} - 21.625 \text{ BTU} = 33.115 \text{ BTU}$, lo cual significa que el aire se encontraría aproximadamente a 90EF con una humedad relativa del 99%.

De esta forma, cuando el aire se vuelve a recalentar hasta 130EF, la nueva humedad relativa será: 32%.

APLICACIONES DE LA PSICROMETRÍA EN EL TRATAMIENTO TÉRMICO DE LOS PRODUCTOS CÁRNICOS ESCALDADOS

A continuación, se enumerarán los puntos clave que se deben tener en cuenta para la aplicación de los principios psicrométricos explicados anteriormente en el diseño de un

tratamiento térmico, para un producto cárnico determinado:

Contenido de energía del aire:

En los hornos utilizados para el procesamiento térmico de los productos cárnicos, el aire es el medio de calentamiento. El contenido de energía del aire está directamente relacionado con el contenido de humedad y la temperatura de la mezcla aire seco-vapor de agua.

Mientras mayor sea el contenido de vapor de agua en el aire, mayor será la energía que contiene (entalpía).

Por ejemplo:

1 libra de aire con las siguientes condiciones:

Aire a 80°C con 100% H.R. = 669.4 BTU, de los cuales 42.3 BTU son aportados por el aire seco y el resto por el vapor de agua.

Aire a 80°C con 50% H.R. = 355.8 BTU, de los cuales 42.3 BTU son aportados por el aire seco y el resto por el vapor de agua.

Estos valores, se pueden leer directamente del Anexo 3 (Propiedades termodinámicas del aire saturado).

Como se puede observar en este caso, se tiene el aire a la misma temperatura. Lo primero que la persona a cargo del diseño del tratamiento térmico podría pensar, es que tiene 80EC de temperatura y que ese valor es el que le va a indicar qué tan rápido se va a calentar su producto. Esto sería un error. No es realmente la temperatura la que indica la velocidad del calentamiento, es el Contenido de Energía del aire, llamado Entalpía del aire.

Como se observa en el ejemplo anterior, un aire con 80EC y una humedad relativa del 100% tiene un contenido de energía mucho mayor que el aire a la misma temperatura pero con una humedad relativa del 50%. Por lo tanto, si se utilizara este último aire, el tiempo requerido para alcanzar la temperatura final deseada en el producto, sería mayor.

No sólo el contenido de humedad es importante para determinar la cantidad de energía que contiene el aire. Hay otro factor que influye en esto y es la temperatura. Se debe tener cuidado de no confundir este concepto con el que fue explicado en el ejemplo anterior. Para aclarar esto, se expone el siguiente ejemplo:

1 libra de aire con las siguientes condiciones:

Aire a 70°C con 100% H.R. = 352.7 BTU, de los cuales 38.0 BTU son aportados por el aire seco y el resto por el vapor de agua.

Aire a 70°C con 50% H.R. = 195.4 BTU, de los cuales 38.0 BTU son aportados por el aire seco y el resto por el vapor de agua.

En este caso, al igual que en el ejemplo anterior, el contenido de humedad (a una misma temperatura) influye notoriamente sobre el contenido final de energía del aire.

Sin embargo, una diferencia en 10EC al pasar de 80EC a 70EC, cambia notoriamente los valores de energía. En el caso del 100% de H.R., la energía disminuye de 669.4 BTU a 352.7 BTU, que es casi la mitad de la energía. Es decir, que hay cambios importantes en el contenido de energía del aire de acuerdo a la temperatura que se encuentre el mismo (para una misma humedad relativa).

Ahora bien, si se compara el valor de energía para el aire a 70EC y 100% H.R. con el valor de la energía para el aire a 80EC y 50% H.R., se tiene:

1 lb de aire a 70EC y 100% H.R. = 352.7 BTU
1 lb de aire a 80EC y 50% H.R. = 355.8 BTU

Como se puede observar, la diferencia entre ambos valores de energía es muy pequeña, y sin embargo se tiene una diferencia de 10EC entre las dos condiciones de aire. Esto quiere decir que en ambas condiciones, el aire tiene un poder de calentamiento similar a pesar de que esté a diferente temperatura. La diferencia entre estas dos condiciones del aire, desde el punto de vista de su poder de calentamiento, es que el aire a 70EC solamente podrá calentar el producto hasta una temperatura máxima de 70EC (en un caso ideal), mientras que el otro aire podrá hacerlo hasta 80EC. Pero la velocidad del calentamiento será aproximadamente la misma.

Capacidad de secado del aire:

Al igual que con el concepto de Energía, la capacidad de secado que tiene el aire depende de su contenido de humedad y de la temperatura a la que se encuentre. La capacidad de secado se puede entender como la cantidad de agua que el aire puede retener, a unas condiciones determinadas de temperatura y humedad. Por lo tanto, la capacidad de secado del aire, bajo cualquier condición, será la cantidad de agua que le falta al aire para saturarse. En otras palabras, mientras más lejos se encuentre el aire de la saturación (Humedad Relativa baja), mayor será su capacidad de secado.

Para explicar más claramente el anterior concepto, se exponen los siguientes ejemplos:

1 libra de aire con las siguientes condiciones:

Aire a 80°C con 100% H.R. = Contenido de humedad: 0.5519 kg agua/ kg aire seco

Aire a 80°C con 50% H.R. = Contenido de humedad: 0.27 kg agua/ kg aire seco (aprox.)

Es evidente, que mientras más baja sea la humedad relativa del aire, a una misma temperatura, su contenido de humedad sea también menor.

Para el caso del aire a 80°C con 100% de H.R., la capacidad de secado es cero, ya que el aire está saturado. Pero, para el caso del aire a 80°C con un 50% de H.R., la capacidad de secado del aire será:

$$0.5519 - 0.27 = 0.28 \text{ kg agua/ kg de aire seco}$$

y, expresando este valor en términos del aire húmedo:

$$\frac{0.28 \text{ kg agua}}{(1\%0.28) \text{ kg de aire húmedo}} = 0.22 \text{ kg agua/kg aire}$$

En otras palabras, cada kilo de aire a 80°C con una humedad relativa del 50%, va a ser capaz de eliminar 0.22 kg de agua del alimento con el cual entre en contacto.

Ahora bien, es importante observar el efecto de la temperatura sobre la capacidad de secado del aire. Esto se ilustra con el siguiente ejemplo, en el cual se disminuye la temperatura del aire en 10°C:

1 libra de aire con las siguientes condiciones:

Aire a 70°C con 100% H.R.= Contenido de humedad: 0.2788 kg agua/ kg aire seco

Aire a 70°C con 50% H.R. = Contenido de humedad: 0.13 kg agua/ kg aire seco (aprox.)

Capacidad de secado: $0.2788 - 0.13 = 0.15 \text{ kg agua/kg aire seco}$

y, en términos de aire húmedo:

$$\frac{0.15 \text{ kg agua}}{(1\%0.15) \text{ kg de aire húmedo}} = 0.13 \text{ kg agua/kg aire}$$

En otras palabras, cada kilo de aire a 70EC con una humedad relativa del 50%, va a ser capaz de eliminar 0.13 kg de agua del alimento con el cual entre en contacto.

Lo que es verdaderamente importante analizar en este caso es el efecto de la temperatura sobre la capacidad de secado. Recordando los siguientes valores:

Aire a 70°C con 50% H.R.: Cap. Secado = 0.13 kg agua/kg aire

Aire a 80°C con 50% H.R.: Cap. Secado = 0.22 kg agua/kg aire

En este caso, se tiene la misma humedad relativa (50%). Una persona a cargo del diseño del tratamiento térmico para un producto cárnico podría erróneamente pensar entonces que la capacidad de secar en ambas condiciones del aire es la misma, debido a que su valor de humedad relativa es el mismo. Aquí se observa claramente, que a pesar de tener la misma humedad relativa, la capacidad de secado del aire a 80EC es mucho mayor que la capacidad de secado del aire a 70EC.

Este concepto es fundamental si se quiere estandarizar las pérdidas de humedad del producto durante el tratamiento térmico. De esta forma se puede garantizar un producto con un nivel de humedad final constante, al igual que se facilitan los cálculos de rendimiento y programación de producción.

Enfriamiento evaporativo en el tratamiento térmico de productos cárnicos:

Como ya ha sido explicado con anterioridad, la evaporación es el fenómeno por el cual el agua cambia de estado, de líquido a vapor, bajo unas condiciones definidas de temperatura y presión. Para este proceso, se requieren grandes cantidades de energía.

Un valor promedio que puede ser tenido en cuenta para efectos netamente prácticos, es que para evaporar 1 libra de agua se requiere de aproximadamente 1000 BTU. Este valor es considerablemente grande si se tiene en cuenta que con esa misma cantidad de energía se podrían calentar 100 libras de agua líquida, aumentando su temperatura en 10°F.

Un producto cárnico dentro del horno va a perder agua a medida que el aire circulante pasa a través de la cámara. Cada libra de humedad que sea retirada del producto, representará una pérdida de energía en el producto de 1000 BTU aproximadamente. En consecuencia, la temperatura del producto tenderá a disminuir.

Por esta razón, es importante la formación de piel en el producto. La piel de los productos cárnicos se forma debido a la coagulación de proteínas en la superficie del mismo debido al efecto del secado dentro del horno. Esta coagulación, generará un endurecimiento superficial, formando una capa más gruesa que el resto del producto, normalmente llamada “piel”. Cuando la piel tenga un grosor determinado, va a servir como barrera natural que evitará la salida de agua desde el interior del producto, disminuyendo así la evaporación.

Si no se formara la piel suficiente para disminuir la salida del agua desde el producto, la evaporación continuaría hasta que la presión parcial del vapor en el aire se igualara con la presión parcial del vapor en el producto cárnico.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS PRODUCTOS CÁRNICOS

El conocimiento de las propiedades psicrométricas y termodinámicas del aire, así como de los conceptos y principios de la transferencia de calor, es fundamental para el

correcto diseño del tratamiento térmico para un producto cárnico.

También es fundamental para este propósito, conocer las propiedades y características físicas del producto cárnico que va a ser procesado, las cuales se pueden agrupar de la siguiente forma:

Aspectos relacionados con la formulación del producto:

Materia prima cárnica:

Desde este punto de vista, es importante tener en cuenta la especie animal de la cual proviene la carne. De una especie a otra existen grandes diferencias, especialmente en los siguientes aspectos:

- C contenido de humedad,
- C contenido de proteína y grasa,
- C capacidad de retención de agua,
- C capacidad emulsificante de la proteína,
- C color,
- C contenido de tejido conectivo,
- C punto de fusión del material graso.

Dentro de animales de la misma especie inclusive, también se presentan diferencias en estos aspectos. Esto depende básicamente de los siguientes factores: edad, sexo, alimentación del animal, raza, entre otros.

El conocimiento de estas propiedades tiene importancia en el diseño del tratamiento térmico del producto debido a la influencia que representan en las características finales del mismo.

Un procesador, por ejemplo, fabrica una salchicha utilizando mezcla de carne de res y cerdo, proveniente de animales adultos y tiene un tratamiento térmico establecido para dicho producto. En un momento dado, el procesador decide cambiar una porción del contenido de carne de cerdo por carne mecánicamente deshuesada de pollo y algo de carne de ternero. Este hecho modificará considerablemente las características físicas del producto. Para sólo mencionar algunas de importancia: el contenido de humedad será mucho mayor y hay una inclusión de material graso con punto de fusión muy bajo proveniente de la carne mecánicamente deshuesada de pollo. Esto afectará el nivel final de humedad del producto y la estabilidad de la emulsión. Si se desea obtener un producto con características similares al original, el tratamiento térmico debe ser entonces modificado para alcanzar este objetivo.

Tipo de producto a procesar:

Desde este punto de vista, lo primero que se debe tener en cuenta es si el producto es emulsificado o es un producto de picado grueso.

En ambos casos, es fundamental tener en cuenta el contenido graso de la formulación, y para el caso específico de los productos emulsificados, la estabilidad de la emulsión.

Materia prima no cárnica:

En una formulación cárnica, existen varios ingredientes o materiales que son de origen no cárnico. Algunos de ellos son aditivos funcionales (como los polifosfatos y agentes de curación), otros son saborizantes, otros son agentes de relleno. Existen también fuentes de proteína vegetal al igual que agentes retenedores de humedad como almidones y gomas.

Para el caso específico latinoamericano, las formulaciones económicas incluyen por lo general altos porcentajes de almidón como agentes de retención de humedad. Esto permite que se utilicen temperaturas más altas y procesos térmicos más rápidos que para productos que tienen alto porcentaje de carne en la fórmula, debido a que la retención de agua no depende de la proteína cárnica sino de una sustancia amilácea que debe alcanzar lo más pronto posible su temperatura de gelatinización. Además, el hecho de tener porcentajes altos de almidón, involucra que los porcentajes de grasa sean más bajos y por lo tanto no se corren riesgos de emulsiones inestables.

Aspectos relacionados con la funda o tripa utilizada:

Para la fabricación de productos cárnicos, existen diversos tipos de tripa. Cada tripa tiene unas propiedades físicas y unas características de manejo definidas. Es importante tener en cuenta el tipo de tripa a utilizar en el diseño del tratamiento térmico. Propiedades como la permeabilidad, la elasticidad y la resistencia del material, hacen que para la utilización de una tripa a otra se deban modificar las condiciones del aire utilizado en el procesamiento térmico.

Comercialmente, las tripas más utilizadas son:

- C Tripa celulósica: usualmente utilizada en salchichas.
- C Tripa natural: puede ser de cerdo, cordero o bovino. La más común es la de cerdo y se utiliza generalmente en chorizos, longanizas y algunas salchichas.
- C Tripa colagénica: ha tomado gran fuerza durante los últimos años. Es una tripa, que siendo de carácter artificial, es fabricada con base en colágeno y por lo tanto es comestible. Actualmente se utiliza en la fabricación de chorizos y cábanos.
- C Tripas plásticas: generalmente son tubulares coextruídos que incluyen poliamidas en su estructura. Estas tripas son impermeables, y por lo general se utilizan en la fabricación de salchichón y algunos jamones.
- C Tripa fibrosa: existen varios tipos de tripa fibrosa. La más común en nuestro medio es una tripa permeable, sin recubrimientos, que se utiliza en la fabricación de salchichón cervecero y mortadelas. Algunas tripas fibrosas pueden tener un recubrimiento interno de poliamida, que disminuye la permeabilidad al vapor de agua, mejorando así los rendimientos de cocción del producto en comparación con

una tripa fibrosa normal.

DIMENSIONES DEL PRODUCTO

Obviamente, las dimensiones del producto influyen directamente sobre el tiempo total de cocción. Como ya se observó en las Tablas 7.5, 7.6 y 7.7, el tamaño del producto es bastante importante a la hora de diseñar y estimar el tiempo total de cocción de un producto cárnico.

La determinación de la temperatura interna o de núcleo, es crítica, ya que ésta indica el punto final de la cocción. Por esta razón, la correcta ubicación del sensor de temperatura es fundamental. En la Figura 6.5, se ilustra la forma correcta como se debe colocar el sensor de temperatura en un producto cárnico.

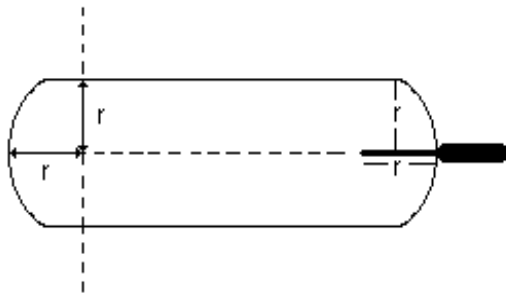


Figura 6.5. Ubicación correcta del sensor de temperatura interna.

El termómetro o sensor de temperatura interna, debe ir ubicado exactamente en el centro del producto, es decir, en el eje central del mismo. La punta de dicho sensor debe entrar hasta una distancia que sea por lo menos igual al radio de producto. A partir de esa distancia desde el extremo del producto, todas las temperaturas leídas sobre el eje serán las mismas, y mostrarán el valor real de la temperatura en el centro del producto.

Cualquier ubicación del termómetro de núcleo que sea diferente a la anteriormente explicada, no es correcta y dará por lo tanto valores erróneos de temperatura.

También es importante tener en cuenta la longitud del producto. En los productos que van a ser comercializados en forma de tajadas, tales como la mortadela y el jamón, mientras más largo sea el material embutido, menor nivel de recortes va a existir. Esto se debe a que los extremos de dichos productos son generalmente amorfos y por lo tanto no darán una tajada con forma deseada. Es por esto, que la mayoría de los

procesadores, tratan de embutir barras largas de mortadela en vez de barras cortas. Este hecho, hace que la mortadela no pueda ser colgada dentro del horno, ya que una barra de tal longitud tiene un peso muy alto y podría presentarse reventamiento de la tripa fibrosa al no ser capaz de resistir su propio peso. Las barras largas de mortadela entran al horno en forma horizontal, soportadas en carros que poseen parrillas y permiten su manejo.

CONDICIONES DEL PRODUCTO ANTES DE ENTRAR AL HORNO

En la mayoría de los procesos por baches (no continuos), el producto cárnico es sometido a un tiempo de espera después de la etapa de embutido, y justo antes de entrar al horno. Esto es debido a que se debe esperar que se cuelgue el total de producto en los carros para la capacidad determinada del horno.

Esto hace que algunas características del producto cambien de un bache a otro. Dichas características, que deben ser tenidas en cuenta para el correcto diseño del tratamiento térmico, son:

- C temperatura del producto (en el núcleo),
- C humedad superficial (es decir, si el producto está seco o presenta humedad en su superficie),

La variación en estas propiedades de un bache de producción a otro, e inclusive dentro de un mismo bache, puede generar características no deseadas en el producto final.

CARACTERÍSTICAS FINALES DESEADAS EN EL PRODUCTO TERMINADO

Hasta el momento se han discutido las propiedades físicas de los productos cárnicos que tienen influencia sobre el diseño del tratamiento térmico. A pesar de la importancia de todas estas propiedades, tal vez, lo más importante para el diseño del programa, es saber hacia dónde se va, en otras palabras, definir las características finales deseadas en el producto terminado.

Cada procesador debe tener claramente definidas las características finales del producto. Dichas características se pueden agrupar mediante las siguientes consideraciones:

- C color superficial,
- C grosor o espesor de la piel,
- C cantidad y tipo de humo a utilizar (gaseoso o líquido),
- C temperatura interna final o de núcleo

Una vez definidas estas características y conociendo las propiedades físicas del producto, se puede comenzar a diseñar el programa térmico adecuado para el producto.

HORNOS O EQUIPOS UTILIZADOS EN EL TRATAMIENTO TÉRMICO DE LOS PRODUCTOS CÁRNICOS ESCALDADOS

Para el procesamiento térmico de los productos cárnicos escaldados, existen en el mercado una gran variedad de hornos o cámaras de cocción, cuyas diferencias básicas se refieren al diseño de los mismos. Dichos hornos deben ser diseñados específicamente para este tipo de productos. Por lo tanto, dicho equipo debe ser capaz de llevar a cabo cada etapa que sea requerida en una forma automática y precisa. Tales etapas pueden incluir ahumado, calentamiento, secado, cocción y duchado entre otras.

La primera gran diferencia que existe, es si el horno es continuo o es un horno por batches (para procesos discontinuos).

Los hornos continuos, son utilizados para volúmenes de producción muy altos, de productos que entran colgados, tales como salchichas y chorizos. El horno continuo consiste de un túnel dividido en un número definido de secciones. Cada sección corresponderá a una etapa del proceso térmico y puede ser programada según las necesidades. En términos generales, las primeras secciones del horno corresponden a las etapas de secado, ahumado y cocción, mientras que las últimas secciones del horno están destinadas para el enfriamiento del producto, a través de duchas de agua fría o choque térmico con corrientes de aire frío y húmedo.

La mayoría de los hornos por batches, tienen los mismos elementos en común. Sin ser exactamente igual en su diseño, cada sección de un horno continuo, equivaldría a una cámara de un horno discontinuo. Es decir, es como si se unieran varias cámaras discontinuas y se colocaran en forma de túnel, a través del cual circula el producto colgado y arrastrado por una cadena que se mueve a una velocidad definida.

FACTORES QUE SE DEBEN TENER EN CUENTA PARA EL DISEÑO DEL TRATAMIENTO TÉRMICO DESDE EL PUNTO DE VISTA DEL HORNO

Capacidad térmica del equipo:

Sin importar si el horno es continuo o discontinuo, es de gran importancia conocer la capacidad térmica del equipo disponible. Existe una gran variación en la capacidad térmica de un equipo a otro, y esto hace que sea imposible diseñar programas térmicos comunes para todos los equipos. Por ejemplo, en el caso de hornos continuos, es posible que exista un desequilibrio en la capacidad térmica entre el sistema de calentamiento y el sistema de enfriamiento. Al ser un equipo continuo, el producto se mueve a través de toda la extensión del horno a la misma velocidad; es decir, el flujo másico es constante para el proceso. Podría ocurrir entonces que en las primeras secciones del horno, el producto pueda ser calentado hasta la temperatura interna final de cocción deseada en un tiempo determinado, pero luego en las últimas secciones, el equipo no tenga una capacidad térmica suficiente para enfriar la misma cantidad de producto hasta la temperatura interna final en el tiempo disponible para estas secciones.

Localización geográfica del equipo:

Es un gran error el pretender diseñar tratamientos térmicos para productos cárnicos, basados únicamente en las temperaturas de bulbo seco y bulbo húmedo dentro de la cámara, ignorando las características del medio ambiente que circunda el horno.

El aire que se encuentra en el medio ambiente, afuera del horno, será utilizado para reponer el aire agotado que está dentro de la cámara, y las características del aire de reposición deben ser definidas y lo más estables posible, para tratar de mantener las mismas condiciones del aire dentro de la cámara.

Sistema de control y programación:

La gran mayoría de los hornos utilizados en el tratamiento térmico de los productos cárnicos, posee un sistema que permite programar y controlar las condiciones deseadas en cada etapa del proceso diseñado.

La operación de este tipo de equipos, con un diseño adecuado, es por lo tanto bastante sencilla. El operador del equipo no tiene que recordar de memoria la forma de ajustar mecánicamente el horno para llevar a cabo alguna de las posibles funciones de proceso. A cambio de ello, la memoria instalada dentro del sistema de control del equipo, hará automáticamente todos los ajustes mecánicos para cada etapa de proceso requerida.

El operador solamente debe determinar cuáles etapas son necesarias en el proceso, programar la temperatura deseada en el horno, el contenido de humedad del aire, el tiempo de duración del proceso, decidir si se va adicionar humo en el proceso, y por último, determinar la temperatura interna final a la que se va a llevar el producto.

La mayoría, si no todos los productos, requerirán más de una etapa de proceso.

Existen hornos que poseen un tablero de control que solo permite programar una etapa a la vez. En este caso, el horno dará una señal al final de cada etapa para permitir que el operador modifique el control para la siguiente etapa, y así sucesivamente hasta que el producto llega a su última etapa.

Hay otros hornos que tienen sistemas de control de múltiples etapas. En este caso, a medida que el programa termine una etapa, el control automáticamente cambia los ajustes para la siguiente etapa. Al final de la última etapa, el horno emite una señal para indicarle al operador que el proceso ha finalizado y el producto puede ser retirado del horno.

Finalmente, existen otros hornos que cuentan con un microprocesador como sistema de control. En este caso, todos los programas con sus respectivas etapas, pueden ser almacenados en la memoria del microprocesador. En el momento de operarlo, simplemente se inserta el número de proceso deseado, y el horno realiza

automáticamente todas las etapas previamente programadas, basando su control tanto en tiempo de proceso como en temperatura interna del producto. Al final del proceso, el horno emite una señal indicando que el producto puede ser retirado.

Diseño del equipo:

Todos los detalles en el diseño del equipo representan un factor de importancia a la hora de planear la programación del tratamiento térmico para un producto cárnico. Algunos de los detalles más importantes a ser tenidos en cuenta son:

- C Localización de los termómetros:** no sólo la localización sino también el tipo de elementos sensores de temperatura que se utilicen dentro de la cámara representará un factor de importancia, ya que de ellos depende la exactitud en la evaluación cualitativa y cuantitativa de las condiciones y propiedades del aire en una etapa determinada.
- C Parámetros de procesamiento:** son básicamente todas las funciones mecánicas y energéticas a las cuales estará expuesto el producto cárnico durante el ciclo de proceso térmico. Estos involucran a la temperatura, la humedad, la velocidad del aire y el tiempo.

Velocidad del aire: Se refiere a la rapidez con la cual fluye el aire, la cual se puede medir en metros por segundo o pies por minuto. Mientras mayor sea la velocidad del medio de calentamiento (aire o agua), mayor es la velocidad de transferencia de energía. Cada compuesto utilizado como medio de calentamiento tiene un coeficiente de transferencia de calor, de acuerdo con las condiciones en que se encuentre. La velocidad tiene una influencia bastante importante sobre el valor del coeficiente de transferencia de calor. Mientras mayor sea la velocidad, mayor será el coeficiente de transferencia de calor. En otras palabras, la velocidad del aire determina la magnitud y la dirección de la transferencia de calor con respecto al producto.

Sin embargo, de igual forma que la transferencia de energía se aumenta con el incremento en la velocidad del medio de calentamiento, la velocidad de evaporación del agua desde el producto también se incrementa, teniendo un efecto significativo sobre el rendimiento final del proceso.

Desplazamiento volumétrico del aire: el volumen de aire que se mueve a través de un horno o cámara de procesamiento se puede expresar en pies cúbicos por minuto o en metros cúbicos por minuto.

El volumen de aire está determinado por el tamaño y la capacidad del ventilador que se esté utilizando.

La velocidad del aire moviéndose a través de la cámara, completamente vacía, será igual al desplazamiento volumétrico dividido por el área de sección transversal a la dirección del flujo de aire (Flux). Por ejemplo: si se tiene un ventilador con una capacidad de desplazamiento de aire de 20 metros cúbicos por minuto, y el área de sección transversal del horno es de 2 metros cuadrados, entonces la velocidad es de 10 metros por minuto ó 0.17 metros por segundo.

Si la cámara está cargada con producto, lo cual reduce el área libre para el flujo a 1 metro cuadrado, la velocidad será de 20 metros por minuto ó 0.34 metros por segundo.

Medida del desplazamiento del aire (Cambios de Aire): la expresión “cambios de aire” es mal interpretada con frecuencia, y utilizada incorrectamente en la ingeniería de procesamiento térmico.

Cambios de aire, cuando se expresa como la cantidad de aire en movimiento a través de una cámara cerrada en un minuto, se expresa como *volúmenes por minuto*. En el ejemplo del horno de 2 metros cúbicos con un ventilador de una capacidad de 20 metros cúbicos por minuto, los cambios de aire son 10 veces por minuto. Si el horno está cargado con producto, lo cual reduce el volumen libre dentro de la cámara a 1 metro cúbico, los cambios de aire se ven incrementados a 20 veces por minuto.

Cuando se elimina aire húmedo del interior de la cámara y es reemplazado con aire fresco desde el exterior de la cámara, también se puede utilizar la expresión “cambios de aire”. En este caso, la cantidad de aire que es removida y repuesta para igualar presiones, depende directamente del sistema de extracción que utilice el horno y de la forma en que se encuentren programadas las compuertas de entrada de aire fresco y de extracción del horno. Estos cambios de aire se expresan en metros cúbicos por minuto o por hora.

La cantidad de aire fresco que se puede incorporar dentro de la corriente de aire en circulación es de vital importancia ya que se trata de aire fresco para reemplazar el aire caliente y húmedo, lo cual determinará la velocidad de secado de la superficie del producto.

C Fuente calórica: la mayoría de los hornos utilizados en el procesamiento térmico de productos cárnicos, utilizan como fuente calórica la aplicación de “calor seco” y “vapor vivo”. Estas dos fuentes de calor, se pueden usar en conjunto o por separado dependiendo de la etapa en la que se encuentre el proceso y de las características deseadas en el aire. Es importante mencionar, sin embargo, que para ambos casos, comúnmente se utiliza vapor de agua proveniente de una caldera para lograr dichas condiciones.

Existen también comúnmente, hornos cuya fuente de calor es el gas. Estos hornos requieren un flujo constante y abundante de aire para que se lleve a cabo la combustión. Por esta razón, los hornos de gas no pueden ser operados utilizando humedades relativas altas, ya que esto afectaría el correcto funcionamiento de los quemadores. Cuando se utiliza entonces un horno de gas, se requiere de un sistema de humidificación constante a bajo nivel, con el fin de evitar que el producto se seque o deshidrate excesivamente.

COMPONENTES BÁSICOS DE LOS HORNOS UTILIZADOS EN EL TRATAMIENTO TÉRMICO DE LOS PRODUCTOS CÁRNICOS:

En la Figura 6.6, se observan los componentes principales, comunes a la gran mayoría de los hornos utilizados en el tratamiento térmico de los productos cárnicos.

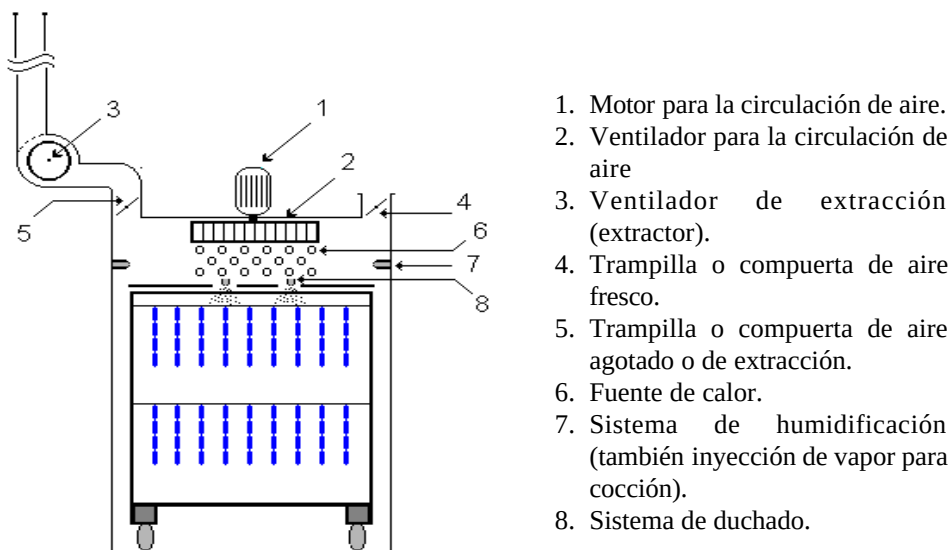


Figura 6.6. Componentes básicos de un horno por batch o discontinuo.

A continuación, se explicarán con más detalle cada una de las partes o componentes:

Motor y ventilador para la circulación de aire:

El ventilador, está directamente unido al motor. Este sistema (motor-ventilador) es el que se encarga de hacer circular el aire dentro de la cámara del horno. Para el cálculo del volumen o la cantidad de aire que puede circular dentro de la cámara se deben tener en cuenta el tamaño de ventilador y sus aspas, las revoluciones por minuto del ventilador y la potencia del motor (caballos de fuerza). Normalmente, este volumen se mide en pies cúbicos por minuto (cfm, por sus siglas en inglés).

Para tener un mejor control en los procesamiento térmicos, el motor debe tener 2 velocidades. La velocidad del motor determina la rapidez del aire circulando dentro de la cámara (Velocidad del Aire). La rapidez con que el aire se mueve dentro de la cámara representa un factor determinante sobre la velocidad de transferencia del calor con respecto al producto. La velocidad del motor debe ser controlada automáticamente de acuerdo a los requerimientos o especificaciones de cada etapa.

Con respecto al ventilador, la mayoría de estos son de flujo centrífugo. Dichos ventiladores, generan una succión de aire en el centro de ellos para luego impulsar el aire hacia los lados, en forma centrífuga. Esto se hace con el objetivo de generar una circulación de aire más homogénea dentro de la cámara, y así obtener las mismas condiciones de temperatura y humedad dentro de la misma, garantizando que el producto sufrirá los mismos cambios a lo largo de todo el proceso.

En la Figura 6.7, se ilustra el flujo de circulación del aire dentro de la cámara debido a la acción de un ventilador centrífugo.

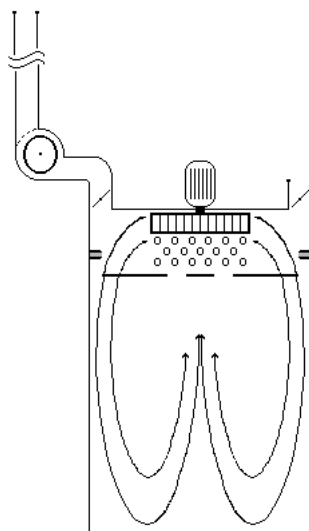


Figura 6.7. Circulación del aire dentro de la cámara.

Ventilador para la extracción de aire agotado:

El ventilador de extracción o extractor, elimina el aire agotado de la cámara y lo expulsa a través de una chimenea. Por lo tanto, el extractor es fundamental para las etapas de secado. Mientras mayor sea la capacidad de extracción de este ventilador, mayor cantidad de aire agotado se eliminará de la cámara. Sin embargo, debe existir una compensación o equilibrio entre la presión de succión de este extractor y la presión a la cual el aire fresco es inducido dentro de la cámara.

Al igual que con el ventilador para circulación de aire dentro de la cámara, el extractor puede tener también dos velocidades diferentes, para un mejor control del proceso. Por ejemplo, en el caso de una etapa de secado, en donde el propósito fundamental es eliminar la humedad necesaria en el menor tiempo posible, es recomendable utilizar una velocidad de extracción alta. Pero, en un proceso de ahumado intenso, utilizando humo gaseoso, en donde el propósito es que el humo tenga un contacto significativo con el producto cárnico, entonces es recomendable utilizar velocidades de extracción bajas, para conservar el humo dentro de la cámara durante un período de tiempo mayor.

Trampilla o compuerta de aire fresco:

Los hornos utilizados en el tratamiento térmico de los productos cárnicos, poseen una abertura para permitir la entrada del aire fresco (del ambiente) como agente deshumidificador. Para el control de la entrada de este aire, se instala una compuerta o trampilla que generalmente tiene 3 posiciones: cerrada, medio abierta y completamente abierta. Cada función de procesamiento de una etapa, automáticamente fijará la posición de la trampilla de acuerdo a los requerimientos de esa etapa.

En la Figura 6.8 se ilustran las tres posiciones de la compuerta de aire fresco:

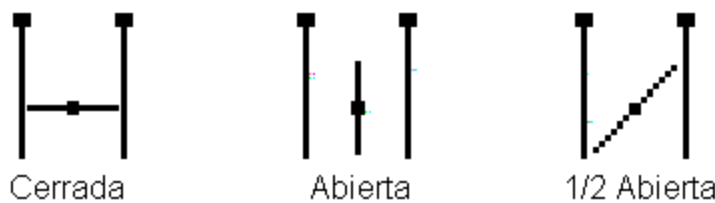


Figura 6.8. Posiciones de las trampillas

Trampilla o compuerta de aire agotado o de extracción:

Cumple la misma función que la trampilla de aire fresco, pero en este caso, está ubicada en la abertura de la chimenea, antes del extractor. De esta forma, regula la cantidad de aire agotado de la cámara.

Fuente de calor:

Para generar el calor necesario para el calentamiento del aire que circula dentro de la cámara, existen varias fuentes de energía disponible. Las más comunes son: gas, vapor y sistemas eléctricos.

Gas como fuente de energía:

Cuando se utiliza el gas como fuente de energía, la energía proveniente de la combustión del gas puede ser adicionada directamente al aire que circula en la cámara, o también

adicionada indirectamente a través de un sistema intercambiador de calor (radiador). Cuando se adiciona directamente, los gases calientes producidos en la combustión del gas se mezclan con el aire que circula en la cámara. Cuando se utiliza el intercambiador de calor, la energía producida por el quemador de gas es transferida al intercambiador, de esta forma, cuando el aire pasa a través y alrededor de éste, gana energía y aumenta su temperatura.

Para prevenir sobrecalentamientos, se puede controlar o modular la cantidad de gas que entra al quemador, generalmente a través de válvulas solenoides. De esta forma, se controla la cantidad de energía que el gas entrega al aire.

Vapor como fuente de energía:

Cuando se utiliza vapor como fuente de energía, siempre se hace a través de un intercambiador de calor. El vapor, al entregar su energía, se condensa cambiando su estado nuevamente al líquido. El líquido condensado se retorna nuevamente a la caldera. Generalmente, los intercambiadores de calor utilizados en esta aplicación son de tubos. El aire pasa a través y alrededor de los tubos y al entrar en contacto con el material caliente, gana energía aumentando así su temperatura.

Para prevenir sobrecalentamientos, la cantidad de vapor que pasa a través de los tubos del intercambiador, se regula para que sea entregada en intervalos cortos de tiempo.

Sistemas eléctricos como fuente de energía:

Generalmente se utilizan resistencias en forma de varillas o filamentos. El aire, al pasar a través y alrededor de dichas varillas, gana energía aumentando así su temperatura. Para prevenir sobrecalentamientos, se regula el número de resistencias que se activan al mismo tiempo.

Para todos los casos anteriores, la temperatura dentro del horno es controlada automáticamente por el sistema controlador de Bulbo Seco. Cuando el valor de la temperatura dentro del horno se aproxima al que ha sido programado por el operador, la fuente de energía entra en un ciclo de modulación, es decir, deja de entregar energía al sistema con el fin de que la temperatura se mantenga en el valor deseado. Cuando la temperatura cae, el ciclo de modulación termina y la fuente energética empieza a entregar grandes cantidades de calor para recuperar la temperatura deseada.

Sistema de humidificación:

Como se observa en la Figura 6.6, el sistema de humidificación se encuentra instalado dentro de la cámara del horno. Un sistema de humidificación correctamente diseñado utiliza vapor a baja presión (5 a 10 psi) para la adición de humedad al aire en circulación. Si se utiliza vapor a alta presión como medio de humidificación, se puede generar un sobrecalentamiento del aire.

Para adicionar humedad correctamente a la corriente de aire, se requiere que el vapor que está siendo introducido dentro de la cámara se mezcle completamente con todo el aire que está circulando, antes de adicionar mayores cantidades de vapor. Para controlar esto, el vapor se debe introducir en la cámara en pequeñas cantidades, dejando un intervalo de tiempo entre cada entrega. En la medida en que la temperatura de bulbo húmedo se aproxime al valor programado, el intervalo de tiempo entre cada impulso debe aumentarse, con el fin de prevenir sobre humidificación.

La adición de humedad (en forma de vapor) al aire que circula en la cámara, es automáticamente controlada por el sistema de control de Bulbo Húmedo.

Este mismo sistema, servirá para inyectar el vapor directo cuando se desee una etapa de cocción con vapor. El hecho de utilizar vapor a baja presión evitará sobrecalentamientos en dicha etapa.

Sistema de duchado:

Generalmente, esta es una parte opcional dentro de los hornos. Muchos procesadores, utilizan sistemas de duchado que son instalados fuera del horno, o simplemente utilizan mangueras con agua a temperatura ambiente para esta etapa.

Los sistemas más modernos, no solamente incluyen las duchas dentro de la cámara, sino que también presentan la opción de dar duchados intermitentes o a intervalos. Esto quiere decir, que en lugar de duchar continuamente, la ducha es activada en períodos de tiempo controlados. Esto presenta muchas ventajas tales como:

- C ahorro de agua,
- C previene el lavado de la superficie del producto,
- C la velocidad de enfriamiento se aumenta. Esto se explica, ya que cada vez que la ducha se apaga, el agua remanente sobre la superficie del producto se evaporará, absorbiendo grandes cantidades de calor del producto, generando así un enfriamiento evaporativo. En este intervalo de tiempo, el calor del interior del producto alcanza la superficie del mismo. Así cuando se active nuevamente la ducha, el choque térmico también será mayor. Este sistema se recomienda en productos de diámetro grande, tales como mortadelas, jamones y fiambres.

FUNCIONES DE PROCESAMIENTO TÉRMICO

Probablemente, esta pueda ser la sección de mayor aplicabilidad en el diseño de un tratamiento térmico para cualquier producto cárnico.

Cada función de procesamiento explica el proceso y los parámetros a los que se va a someter el producto cárnico durante el tratamiento térmico. En términos generales, las funciones de procesamiento para productos cárnicos son:

- enrojecimiento o calentamiento (preparación),
- secado (lento o rápido),
- asado o dorado (procesamiento con aire caliente),
- escaldado (lento o rápido),
- cocción con vapor directo,
- ahumado (lento, rápido o intensivo),
- ahumado utilizando humo líquido,
- enfriamiento
- duchado.

Un programa completo de procesamiento puede estar formado por un número determinado de etapas. Muy pocos productos cárnicos requieren una sola etapa de proceso.

Una etapa de proceso esta formada por la combinación de una función de proceso con parámetros específicos de proceso. En el momento en que se necesite cambiar cualquiera de los parámetros de proceso de una función determinada, se crea una nueva etapa de proceso que puede ser incluida dentro del programa de procesamiento.

Sin embargo, para eliminar la confusión y simplificar el entendimiento de los tratamientos térmicos, las funciones de procesamiento se pueden desglosar en 5 grupos de importancia.

La reacción que va a tener el producto cuando es sometido a cada uno de estos 5 grupos de procesamiento, va a estar determinada por las propiedades físicas del aire en cada etapa.

Las propiedades físicas del aire están controladas por la temperatura, el contenido de humedad y la velocidad con la que pasa a través del producto.

A continuación se explican los 5 grupos de importancia en que pueden ser clasificadas las funciones de procesamiento:

CALENTAMIENTO

La aplicación de calor al producto, desempeña básicamente las siguientes funciones:

- C desnaturaliza proteínas,
- C favorece la reacción de curación de la carne y fija el color final del producto,
- C elimina agua del producto a través de la evaporación,
- C funde material graso,
- C incrementa la temperatura del producto,

Generalmente, dentro de esta clasificación de calentamiento se podrían agrupar las funciones de Enrojecimiento y Aire Caliente.

En el caso del enrojecimiento, los parámetros mecánicos programados al horno son:

Función de proceso	Trampilla de aire fresco	Trampilla de extracción	Ventilador para circulación de aire	Extractor
Enrojecimiento	Cerrada	Cerrada	Velocidad baja	Apagado

El enrojecimiento constituye siempre, en términos generales, la primera etapa de todo procesamiento térmico para un producto cárnico.

El objetivo principal de esta función es el de calentar uniformemente la superficie del producto, para luego secar más rápidamente. Esto es fácilmente entendible, si se recuerda que mientras más caliente esté el agua, más fácil es evaporarla.

Durante el enrojecimiento, el producto pierde algo de humedad, pero como las trampillas están cerradas y no hay extracción forzada, la humedad queda retenida en el aire que circula. Este aumento en la humedad del aire previene excesos de secado del producto, al mismo tiempo que aumenta su poder de calentamiento, incrementando más rápidamente la temperatura del producto.

Además, se logran homogeneizar todas las condiciones físicas dentro de la cámara. En otras palabras, se puede garantizar que todo el producto dentro de horno tiene la misma temperatura y la misma humedad en su superficie, dando como resultado unas condiciones adecuadas para un secado eficiente (que generalmente es la etapa de proceso inmediatamente posterior).

La velocidad baja de circulación de aire, previene los excesos de calentamiento debido a la alta transferencia de energía (calor) hacia el producto. Si se presentara un exceso de calentamiento del producto en esta etapa, cuando aun no se ha coagulado la proteína y no se ha formado la piel, se podría presentar salida de grasa del producto cuando la emulsión no es muy estable.

Normalmente se utilizan temperaturas bajas, que pueden fluctuar entre 50EC y 65EC. El período de duración de esta etapa está determinado por el aumento en la humedad relativa del aire. Generalmente, cuando ésta toma un valor aproximado de 40% a 45%, es conveniente cambiar a la siguiente etapa, que por lo general es un secado.

En el caso de la función “Aire Caliente”, los parámetros mecánicos programados al horno son:

Función de proceso	Trampilla de aire fresco	Trampilla de extracción	Ventilador para circulación de aire	Extractor
Aire Caliente	Cerrada	Cerrada	Velocidad alta	Velocidad baja

Como se puede observar, básicamente lo que se cambia en esta función con respecto al enrojecimiento es la velocidad de circulación de aire. En este caso, la transferencia de energía será mucho mayor.

Para productos embutidos emulsificados, la función “Aire Caliente” representa una opción bastante versátil, ya que tiene doble propósito: secar y calentar. Dependiendo de la humedad relativa del aire y de su temperatura, va a presentar mayor o menor capacidad de secar o calentar al producto. En la mayoría de los casos, se pueden combinar estas dos propiedades para lograr mejores resultados. Por lo tanto, la utilización de aire caliente va a aumentar la temperatura del producto, fija la proteína superficial por medio de la capacidad de secado y mejora el color interno y el color superficial. En productos de músculo entero, esta función puede ser utilizada para el asado u horneado.

De igual forma que con la función “Enrojecimiento”, las trampillas están cerradas, y por lo tanto, la humedad que es evaporada desde el producto, queda retenida en el aire, aumentando así su poder de calentamiento y disminuyendo su capacidad de secado. En algunos casos se puede humidificar el aire por medio de la inyección de vapor en la cámara si es necesario aumentar la transferencia de energía hacia el producto.

Si el ventilador de extracción tiene la opción de dos velocidades, entonces se utiliza la velocidad baja. Aunque esto parezca contraproducente, ya que la compuerta de extracción está cerrada, el ajuste entre el material de la trampilla y ducto o chimenea por donde se elimina el aire agotado, no es exacto. Es decir, quedan pequeños espacios o “luces” entre la compuerta y la chimenea. El extractor, funcionando en velocidad baja, ayudará al control de las condiciones del aire dentro de la cámara, especialmente a la humedad. Si sólo se dispone de un extractor a alta velocidad, entonces se recomienda no encenderlo para la función de “Aire Caliente”, ya que generaría una descompensación en la presión de succión a la salida del horno.

La función “Aire Caliente” se puede utilizar en etapas de fijación de color en productos de diámetro pequeño, o en etapas de calentamiento escalonado, en el caso de productos de mayor diámetro como las mortadelas.

SECADO

El secado de cualquier producto cárnico, puede llevarse a cabo a cualquier temperatura. Como el propósito fundamental de esta etapa es eliminar humedad del producto, la humedad relativa del aire debe ser la más baja posible.

Durante el secado, se presentan dos fenómenos de movimiento de agua en el producto que determinan sus características finales después de esta etapa. Estos fenómenos son:

Eliminación de agua desde la superficie del producto:

El aire que circula en la cámara, al pasar a través del producto, arrastra la humedad que se encuentra en la superficie del mismo.

La eliminación de agua desde la superficie generará básicamente los siguientes cambios en el producto cárnico:

- C Desnaturalización de la proteína al nivel de la superficie. Como consecuencia, se forma una piel natural de proteína en la superficie del producto. Si el secado es excesivo, la piel formada será demasiado gruesa y rígida.
- C Algunas tripas o fundas utilizadas en la fabricación de embutidos tienen la propiedad de absorber agua. Esto sucede en el caso de tripas celulósicas, fibrosas y a base de colágeno. En la medida en que estas tripas se sequen o deshidraten, se encogen y pueden llegar incluso a arrugarse. Cuando el secado es excesivo, algunas fundas pueden perder su elasticidad y su flexibilidad. Por lo tanto es muy importante tener en cuenta no deshidratar dichas fundas antes de que el producto empiece a calentarse. Si esto sucede, es posible que la tripa se estalle cuando el producto se caliente y se expanda.
- C Se presenta el fenómeno de enfriamiento evaporativo. En la medida en que se evapora agua desde la superficie del producto, éste pierde energía y tiende a enfriarse. El objetivo fundamental del secado no es calentar el producto, sino deshidratarlo para lograr la formación de piel. Por lo tanto, el enfriamiento evaporativo experimentado por el producto no es un problema, siempre y cuando se haya calentado previamente. Por esta razón, las etapas de secado van generalmente precedidas por etapas de enrojecimiento o aire caliente. Una vez el producto haya sido precalentado, el secado será eficiente.

Eliminación de agua desde el interior del producto:

A medida que la humedad superficial es arrastrada por el aire y la superficie se va secando, la humedad del interior del producto se va a mover hacia la superficie del mismo para reemplazar el agua eliminada. Este fenómeno hace que la superficie vuelva a humedecerse. La eliminación de agua desde el interior del producto genera un resultado diferente sobre las características del mismo:

- C El movimiento de agua desde el interior del producto para reemplazar la humedad eliminada desde la superficie, va a dar como resultado una pérdida de peso y de volumen. La pérdida de peso es comúnmente llamada “Merma” o “Pérdida por Cocción”. La forma del producto también cambiará debido a la disminución en el

volumen. Una salchicha de 50 gramos que pierda 1 gramo de agua va a tener una merma del 2%, y una disminución en el volumen del 2.5%.

- C Los ingredientes no cárnicos de la formulación se concentrarán debido a la eliminación del agua. Esto incluye proteínas, grasas, sal, especias, almidones, etc., generando así un cambio en la textura, la mordida y el sabor final del producto.

Hasta este punto, queda claro que la eliminación de humedad que se lleva a cabo en el secado, tendrá efectos considerables sobre el producto, y por lo tanto debe ser muy controlada para evitar resultados indeseables.

En el caso de la función “Secado”, los parámetros mecánicos programados al horno son:

Función de proceso	Trampilla de aire fresco	Trampilla de extracción	Ventilador para circulación de aire	Extractor
Secado rápido	Abierta	Abierta	Velocidad alta	Velocidad alta
Secado lento	½ Abierta	½ Abierta	Velocidad baja	Velocidad baja

En el secado rápido, el objetivo fundamental es la eliminación de humedad superficial rápidamente para lograr la formación de piel con la menor pérdida de peso y volumen posible. Generalmente, se utiliza después de una etapa de calentamiento y antes de alguna etapa que incluya humidificación de la cámara. La piel que se forma, sirve como barrera natural para evitar la salida de grasa y gelatina en emulsiones poco estables. Es importante recordar que en esta etapa, el producto no aumentará su temperatura considerablemente debido al enfriamiento evaporativo. Las temperaturas usadas para esta función pueden fluctuar entre los 58EC y los 72EC. Como norma práctica, se recomienda utilizar una temperatura que esté 5EC a 7EC por encima de la temperatura utilizada en la etapa previa de calentamiento. El tiempo, es el necesario para que la superficie del producto esté completamente seca. Como la humidificación es indeseable para esta función, no se programa ningún valor para la temperatura del bulbo húmedo.

El secado lento es mucho menos severo que el rápido. Se utiliza en productos que requieren una eliminación de humedad lenta, como en el caso de carnes maduradas o productos fermentados como el salami o el pepperoni. También se puede utilizar el secado lento entre etapas de ahumado, o después de una etapa de humo líquido con el objetivo de fijar adecuadamente el humo a la superficie del producto.

AHUMADO

El humo, ya sea en forma gaseosa o en forma líquida, es considerado como un aditivo que cubre la superficie del producto dando un color y un sabor característico.

El efecto de sabor característico a humo que se genera proviene principalmente de la superficie. Esto se debe a que la penetración del humo en el producto es de

aproximadamente 3 mm desde la superficie. Algunos componentes del humo pueden llegar a penetrar hasta 10 ó 12 mm después de períodos de tiempo prolongados, pero en términos generales, el efecto sensorial característico proviene de la superficie.

Hay diferencias importantes en cuanto al diseño del tratamiento térmico si se planea utilizar humo gaseoso o humo líquido.

En el caso del humo gaseoso, es importante tener en cuenta que a partir de la pirólisis del aserrín, se generan una gran cantidad de material particulado. Esto hace necesario, que la superficie del producto no esté completamente seca. Para obtener una buena adhesión del humo en la superficie del producto, ésta debe estar ligeramente húmeda, dando una sensación pegajosa. Si el producto se encuentra muy húmedo, las partículas del humo se disolverán en el agua formando precipitado de color café muy oscuro, con sabor amargo, que quedará depositado sobre el producto. La concentración de humo en la cámara de procesamiento y la duración de la etapa de ahumado determinarán la intensidad de este precipitado.

Es muy importante entender que al igual que el humo gaseoso se condensa sobre la superficie del producto (que está más frío), también lo hará la humedad del aire. Por lo tanto, si el aire dentro de la cámara está muy húmedo al inicio de la etapa de ahumado, la condensación de humedad sobre la superficie del producto será excesiva dando como resultado manchas de color café oscuro en forma de rayas. De otro lado, si el aire dentro de la cámara al inicio de la etapa de ahumado está muy seco, se presentará una evaporación de agua desde la superficie del producto dando como resultado un color muy claro.

En el caso de la aplicación de humo líquido, el comportamiento será similar cuando éste es aplicado por atomización.

En ambos casos, se debe programar una etapa posterior al ahumado para la fijación del humo en la superficie del producto. Generalmente esta etapa puede ser una función de “Aire Caliente”. En el caso del humo gaseoso, se puede utilizar una humedad relativa alta, aproximadamente del 55% al 60% para lograr mayor intensidad en el color final del producto. Para el caso del humo líquido, el aire debe ser más seco, con humedades relativas fluctuando entre 25% y 30%.

En el caso de la función “Ahumado”, los parámetros mecánicos programados al horno son:

Función de proceso	Trampilla de aire fresco	Trampilla de extracción	Trampilla de humo	Ventilador para circulación de aire	Extractor
Ahumado lento	½ Abierta	Abierta	Abierta	Velocidad baja	Velocidad alta
Ahumado rápido	½ Abierta	Abierta	Abierta	Velocidad alta	Velocidad baja
Ahumado intensivo	Cerrada	Abierta	Abierta	Velocidad alta	Velocidad alta
Retención humo líquido atomizado	Cerrada	Cerrada	Cerrada	Apagado	Apagado

A pesar de que en la Figura 6.6 no se encuentra detallado, los hornos cuentan con una tercera entrada para el humo gaseoso, que al igual que para el aire fresco y aire agotado tiene una trampilla para controlar la cantidad de humo que va a entrar a la cámara. Esta entrada esta conectada a un ducto proveniente directamente desde el generador de humo, en donde se realiza la pirólisis de la viruta de madera.

Para la función “ahumado lento”, debido que la trampilla de aire fresco está abierta a la mitad, combina entonces algo de secado con el ahumado. Esta función se utiliza entonces en programas en los que se requieren ciclos muy largos de ahumado, para obtener un sabor y un color muy fuertes. El secado que se obtiene es lento y suave.

En la función “ahumado rápido”, también hay combinación de secado con ahumado. El secado es más intenso. Por lo general, esta es la función de ahumado más común en los programas térmicos.

En el caso de la función “ahumado intensivo” se tiene la trampilla de aire fresco cerrada. Debido a esto, hay una retención de humedad proveniente del producto y del humo al mismo tiempo dentro de la cámara. La concentración de humo y la humedad de la cámara aumentan. Se utiliza en productos en los que se requiere un sabor y un color de humo muy acentuados. Debido a la alta concentración de humedad y humo, se corre el riesgo de obtener manchas de color oscuro a lo largo del producto. Para evitar esto, el producto debe ser correctamente secado o combinar la etapa de ahumado intensivo con una etapa previa de ahumado rápido para lograr un efecto de secado.

Para el caso del humo líquido, cuando se aplica por atomización, se deben cerrar las trampillas para garantizar la retención del humo dentro de la cámara por un período de tiempo establecido y así garantizar el contacto directo con el producto. El ventilador de circulación puede ser encendido en velocidad baja, aunque no es una práctica común. Lo importante, es que después de la etapa de humo líquido siempre debe seguir una etapa de secado rápido, o secado lento combinado con aire caliente para fijar el humo sobre la superficie del producto y así evitar que sea lavado posteriormente en la etapa de cocción con vapor.

COCCIÓN

La función de proceso “Cocción” constituye generalmente la última etapa del proceso

de calentamiento. Después de la cocción, seguirá obligatoriamente una etapa de enfriamiento rápido para disminuir la temperatura del producto antes de la sección de empaclado.

La cocción generalmente se hace a una temperatura de 80EC, con circulación de aire en velocidad baja, vapor directo. Estas condiciones permitirán que todo el producto dentro de la cámara alcance la temperatura interna deseada en una forma uniforme, al igual que humedecerá la tripa o funda suavizándola y facilitando posteriormente el pelado del producto.

Al utilizar vapor directo, el aire se encuentra completamente saturado. La temperatura se controla por la cantidad de vapor que se adiciona a la corriente de aire en circulación. La cocción es básicamente una etapa de calentamiento, cuyo objetivo único es elevar la temperatura del producto hasta el punto deseado.

En el caso de la función “Cocción con vapor”, los parámetros mecánicos programados al horno son:

Función de proceso	Trampilla de aire fresco	Trampilla de extracción	Ventilador para circulación de aire	Extractor
Cocción con vapor	Cerrada	Cerrada	Velocidad baja	Velocidad baja

El aire saturado, debido a su alto contenido de humedad, aporta grandes cantidades de energía al producto. Si además de toda esta energía, se aumenta la transferencia por medio de una circulación de aire forzada, se puede correr el riesgo de desestabilizar la emulsión provocando así salida de grasa y gelatina, al igual que se pueden presentar reventamientos de tripa.

Al igual que para la función “Aire Caliente”, es recomendable utilizar el extractor en velocidad baja, si es que cuenta con la opción de dos velocidades. Esto ayudará a controlar las condiciones del aire que circula dentro de la cámara.

Después de la etapa de cocción, se recomienda hacer una etapa de sostenimiento. Esta consiste en mantener la temperatura interna final del producto por un periodo de 5 a 10 minutos. En el caso de productos de diámetro muy grande, como jamones de pierna entera, se puede programar una etapa de sostenimiento hasta de 15 minutos. El objetivo de esta función es el de lograr un mayor efecto en la reducción de la carga microbiana.

ENFRIAMIENTO

Cuando la temperatura interna final deseada es alcanzada y estabilizada en la etapa de cocción, el producto debe ser enfriado rápidamente. Para productos de diámetro pequeño, realizar un duchado en una sola etapa con salmuera es probablemente el sistema más rápido. El propósito de utilizar una salmuera como medio de refrigeración,

es el de poder enfriar el agua por debajo de 0EC, sin que se congele. De esta forma, se tendrá un medio de enfriamiento a una temperatura más baja que si se utilizara agua sola, y por lo tanto se hará más rápidamente. Sin embargo, esto requiere de un equipo que recircule la salmuera y será más costoso en relación con la vida útil.

Por esta razón, hacer duchados con agua fría es más económico. Cuando se utilizan los duchados con agua fría, generalmente se recomiendan hacerlos en dos etapas, haciendo intermitencia entre ellos, creando así las condiciones favorables para el enfriamiento evaporativo durante el tiempo en que la ducha esté apagada.

La temperatura final del producto antes de la etapa de empaque, debe ser de 4EC. En el caso de duchas con salmuera, esta temperatura se puede alcanzar con ducha en una sola etapa. En el caso de ducha con agua fría, se puede hacer una primera etapa de duchado, en la cual la temperatura del producto puede descender hasta un valor que puede variar entre 33EC y 41EC dependiendo del diámetro del producto. Luego de esta primera etapa, se puede dejar el producto al ambiente por un período de tiempo corto para permitir que el agua remanente de la ducha se evapore desde la superficie, logrando mayor enfriamiento y evitando el manchado de éste (pequeñas manchas en forma de gotas de color más claro que la superficie del producto). Posteriormente, el producto puede ser introducido en un cuarto de refrigeración, en donde las condiciones del aire sean tales que no pierda mucho peso ni se arrugue. Por ejemplo, cuando el aire dentro del cuarto frío es muy seco, o tiene velocidades excesivamente altas, se pueden presentar arrugamientos y pérdida de la pelabilidad.

Cuando el producto se va a empacar al vacío, debe estar a una temperatura igual o mayor a la temperatura del punto de rocío del aire que circula en la sala de empaque. Si está por debajo de este valor, se producirá condensación de agua sobre la superficie del producto. Esta agua quedará dentro del paquete de vacío, generando problemas microbiológicos posteriores.

El producto empacado se debe almacenar a una temperatura entre 0EC y 3EC. Si no se encuentra empacado al vacío, la humedad relativa debe tomar un valor aproximado del 78%, con una circulación de aire a baja velocidad, con el fin de evitar la formación de mohos sobre la superficie del producto, al mismo tiempo evitando deshidratación excesiva. La temperatura de almacenamiento debe ser lo más estable posible. Si hay variaciones considerables, se puede favorecer el crecimiento microbiano y la aparición de otros problemas como el aumento en la sinéresis o salida de agua del producto dentro del paquete al vacío, fenómeno llamado “purga”.

En el caso de la función “Duchado”, cuando el equipo de control del horno la incluye, los parámetros mecánicos programados al horno son:

Función de proceso	Trampilla de aire fresco	Trampilla de extracción	Ventilador para circulación de aire	Extractor
Duchado	Abierta	Abierta	Velocidad baja	Velocidad alta

PRINCIPIOS BÁSICOS PARA EL DISEÑO DE PROGRAMAS TÉRMICOS

Antes de proceder a diseñar un tratamiento térmico para cualquier producto cárnico, se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- C Cada producto es diferente y requiere su programa específico. Aun teniendo básicamente el mismo producto en diferentes plantas de procesamiento, se va a requerir de diferentes programas térmicos adaptados a las condiciones específicas de dicha planta.
- C Los hornos difieren en mayor o menor proporción básicamente en la eficiencia en la transferencia de energía desde el aire en circulación hacia el producto, la capacidad de secado y las funciones de ahumado. Es muy importante que en cada planta específica se hagan ensayos suficientes para determinar el efecto de esta eficiencia sobre el producto, de forma tal que se pueda finalmente establecer un programa que cumpla con los requerimientos necesarios en el menor tiempo posible. Si el procesamiento es excesivo, se incrementarán innecesariamente las mermas.
- C Debido a las variaciones anteriormente mencionadas, es imposible especificar un programa térmico exacto para obtener los resultados finales deseados sin antes conocer al detalle las condiciones específicas de cada planta y de cada producto, y además hacer los ensayos suficientes.

A continuación se presentan algunos principios básicos que se pueden seguir cuando se está diseñando un programa térmico para un producto cárnico.

Productos cárnicos de diámetro pequeño, cocidos (con o sin humo)

A este grupo se ajustan básicamente las salchichas y chorizos. Normalmente se recomienda comenzar el programa térmico con las siguientes dos etapas:

1. Calentamiento o enrojecimiento
2. Secado rápido

La etapa de calentamiento creará condiciones adecuadas para el posterior secado. En esta etapa se calienta todo el material del horno, se calienta levemente el producto y se humedece la superficie del mismo preparándolo para un secado eficiente. La temperatura de bulbo húmedo puede fluctuar entre 50°C y 65°C, dependiendo de la estabilidad de la emulsión o mezcla cárnica. La primera vez que se vayan a hacer ensayos se puede

empezar con un valor de temperatura de bulbo seco de 60EC a 62EC, para posteriormente hacer los ajustes. En las condiciones generales de los productos cárnicos en Colombia, en donde los niveles de almidón son relativamente altos y los niveles de grasa son bajos, se pueden utilizar temperaturas más altas en esta etapa, alcanzando incluso valores de 68°C.

No se utiliza programación para la temperatura de bulbo húmedo. El contenido de humedad del aire se aumentará naturalmente debido al agua evaporada del producto y al hecho de que las trampillas están cerradas. Este es un resultado deseable.

La programación de tiempo de esta etapa puede variar entre 8 y 22 minutos, dependiendo del diámetro del producto y las condiciones de su superficie. Es importante tener en cuenta que cuando se utilicen tripas naturales o tripas comestibles de colágeno, como en el caso de la mayoría de chorizos y cábanos, la etapa de enrojecimiento o calentamiento debe ser más prolongada para tenderizar la funda al principio del proceso.

La humedad relativa en esta etapa puede alcanzar valores de hasta un 40%.

Cuando se pasa a la etapa de secado, la humedad en el aire se reduce drásticamente, lo cual genera una evaporación rápida del agua que se encontraba precalentada en la superficie del producto. Esto generará un enfriamiento evaporativo hasta un punto tal que la temperatura del producto puede caer algunos grados al comienzo de esta etapa.

Las temperaturas usadas en el secado pueden variar entre 55EC y 70EC, dependiendo de la estabilidad de la emulsión o mezcla cárnica. Para propósitos de ensayos y como norma práctica, se puede utilizar una temperatura de bulbo seco que supere en 5EC a 7EC a la temperatura utilizada durante el enrojecimiento.

La programación de tiempo de esta etapa puede variar entre 12 y 40 minutos, dependiendo del diámetro del producto y las condiciones de su superficie (básicamente el nivel de humedad). En el caso de tripas naturales y de colágeno, la superficie de la tripa debe quedar levemente húmeda después del secado. Esto permitirá una mejor adherencia del humo, si es que se va a utilizar.

El secado formará una piel, que dará finalmente la pelabilidad al producto, al mismo tiempo que forma una barrera natural que evita la salida de grasa y gelatina en emulsiones poco estables.

Después de finalizar estas dos etapas, el producto está listo para la etapa de ahumado (si se desea aplicar humo). Para aplicar el humo existen diversas opciones y combinaciones de funciones.

Ahumado rápido:

La primera opción es el ahumado rápido, utilizando viruta de madera. En esta etapa, se puede continuar secando el producto si no se utiliza la opción de humidificación.

Normalmente se pueden utilizar temperaturas de bulbo seco que pueden fluctuar entre 65°C y 71°C, dependiendo de la estabilidad de la emulsión o mezcla cárnica. Para propósitos de ensayos, es recomendable empezar con una temperatura de 68°C.

También se puede realizar la humidificación, utilizando temperaturas de bulbo húmedo que pueden fluctuar entre 49°C y 53°C, que en combinación con una temperatura de bulbo seco de 68°C, equivale a tener una humedad relativa entre el 35% y el 45%. El nivel de humedad dependerá del color deseado, el tipo de tripa utilizado, el diámetro del producto y la estabilidad de la emulsión o mezcla cárnica.

La programación de tiempo de esta etapa puede variar entre 20 y 45 minutos, dependiendo de las condiciones de la superficie del producto, el diámetro del producto, el tipo de funda o tripa y el nivel de color deseado. Para propósitos de ensayos, se recomienda empezar con tiempos alrededor de los 30 minutos.

Otra opción para el ahumado puede ser una combinación de las siguientes funciones de procesamiento:

Ahumado rápido

Ahumado intensivo

Se pueden utilizar los mismos valores de temperatura de bulbo seco que en el caso anterior. En el caso del valor de temperatura de bulbo húmedo debe ser tal que la humedad relativa alcance valores de 45% a 55%. El tiempo será mayor debido a la utilización del ahumado intensivo.

La última opción será la utilización de humo líquido por atomización.

Humo líquido:

Para la utilización del humo líquido por atomización, es fundamental que la superficie del producto se encuentre completamente seca. Igualmente, la superficie del producto debe haber alcanzado una temperatura entre 35EC y 45EC en las etapas previas. En este punto, la proteína cárnica aún no ha empezado a coagularse en la superficie del producto. En las etapas posteriores a la aplicación del humo líquido, la coagulación de dicha proteína atraparà a los componentes del humo en esta estructura, garantizando así una mejor fijación del color y el sabor.

Cuando se aplica el humo líquido, no hay ningún tipo de programación en cuanto a las temperaturas de bulbo seco y bulbo húmedo. Simplemente se cierran todas las trampillas

del horno, y se atomiza el humo dentro de la cámara a través de una boquilla presurizada.

La introducción de este líquido en forma de pequeñas gotas en la cámara va a producir un aumento considerable en la humedad del aire, al igual que una caída de la temperatura de bulbo seco. En muchos casos es normal que durante la etapa de humo líquido, la humedad relativa de la cámara alcance valores del 70% al 75%.

La programación de tiempo para esta etapa será el valor necesario para atomizar la cantidad de humo estandarizada para cada producto. Normalmente, después de terminada la etapa de humo, se deja un período de contacto, que puede variar entre 4 y 8 minutos.

Una vez el producto haya sido ahumado, bien sea utilizando humo gaseoso o humo líquido, se encuentra listo para pasar a las etapas finales del proceso.

El propósito de la etapa inmediatamente posterior es utilizar el humo remanente dentro de la cámara, fijarlo a la superficie del producto y al mismo tiempo ir aumentando la temperatura interna del producto. Por lo tanto, es recomendable utilizar una función de proceso que retenga el aire dentro de la cámara, que sea lo suficientemente versátil para fijar el humo y además calentar el producto. Esto se logra a través de la función “Aire Caliente”.

Aire caliente:

En la etapa de aire caliente se pueden utilizar temperaturas de bulbo seco que fluctúan entre 74EC y 85EC dependiendo de la estabilidad de la emulsión o mezcla cárnica. Para propósitos de ensayos es mejor empezar con una temperatura de 80EC.

Es posible utilizar la programación para la temperatura de bulbo húmedo. El valor de la temperatura de bulbo húmedo puede variar entre 60EC y 74EC, si se tiene una temperatura de bulbo seco de 80EC. Esto equivale a tener humedades relativas del 40% al 75%. Dicho valor dependerá del tipo de tripa utilizado, la estabilidad de la emulsión, el diámetro del producto y la temperatura interna deseada al final de esta etapa. Este programación funciona adecuadamente para el caso de utilizar humo gaseoso.

Cuando se ha utilizado humo líquido por atomización, se puede utilizar una etapa de aire caliente con una temperatura de bulbo seco que puede variar entre 76EC y 82EC. Sin embargo, no es recomendable programar ningún valor para el bulbo húmedo. La razón para esto es que al final de la atomización con humo líquido, la humedad de la cámara es muy alta, y por ende, aplicar más humedad tendría un efecto negativo en la fijación del humo sobre la superficie del producto. En algunos casos, cuando la cantidad de humo líquido atomizada es muy alta y la humedad de la cámara se aumenta mucho, se puede combinar la etapa de aire caliente con una etapa previa de secado lento, con el fin de

eliminar un poco de humedad de la cámara. Este exceso de humedad puede ocasionar manchas en la superficie del producto debido a que el humo se condensa desmedidamente sobre ésta.

La programación de tiempo para esta etapa puede variar entre 10 y 30 minutos, dependiendo del diámetro del producto. Al final de esta etapa, es recomendable introducir el sensor de temperatura interna en el producto. La razón para hacerlo en este momento es que, debido al diámetro pequeño de los productos que se están discutiendo en esta sección, no resistirían el peso del sensor si éste se colocara desde el inicio del programa. Una vez termine la etapa de aire caliente, ya la proteína ha sido desnaturalizada y se ha coagulado, resistiendo así el peso del sensor.

La temperatura interna al final de esta etapa debe ser de 65EC a 69EC.

La última etapa del proceso es la cocción con vapor.

Cocción o escaldado:

La temperatura de la cámara debe ser de 77EC a 88EC. La humedad relativa es del 100% ya que se utiliza vapor directo.

La duración de esta etapa estará controlada por la temperatura interna del producto. Dicha temperatura debe alcanzar un valor mínimo de 72EC y no debe sobrepasar el valor máximo de 80EC.

Duchado:

El duchado puede ser realizado dentro de la cámara si el horno tiene esta opción incluida, o en una ducha externa. El duchado de los productos cárnicos es de vital importancia y debe procurarse no omitirlo bajo ninguna circunstancia.

Productos cárnicos de diámetro grande, cocidos (con o sin humo)

Tal vez, el ejemplo más característico para este tipo de productos es la mortadela, cuando se embute en tripa fibrosa.

En términos generales, la forma del programa térmico será básicamente la misma que para los productos de diámetro pequeño. Las principales diferencias son las siguientes:

- C La primera etapa no será un enrojecimiento sino más bien una etapa con función de Aire Caliente. Esto se hace con el objetivo de ir calentando más rápidamente el producto. La duración de esta etapa para estos productos puede variar entre 30 y 60 minutos.
- C La segunda etapa será igualmente un secado, pero más prolongado, alcanzando tiempos que pueden variar entre 30 y 45 minutos.

- C El sensor de temperatura interna puede ser colocado desde el comienzo del programa, ya que el producto resistirá su peso.
- C El duchado para el enfriamiento será mucho más prolongado, alcanzando inclusive los 30 minutos de duración.
- C El ahumado es opcional
- C Luego del ahumado, se pueden hacer varias etapas de aire caliente, en las cuales la temperatura de bulbo seco del aire se va incrementando de una etapa a otra. Esto se hace con el objetivo de no incrementar las mermas en forma excesiva. Igualmente, el control de tiempo de una etapa a otra será basado en la temperatura interna del producto.

A continuación se presenta un ejemplo de tratamiento térmico para una mortadela, en donde se aclara este concepto:

Etapas 1: Aire caliente. 45 minutos, temperatura de bulbo seco = 64EC

Etapas 2: Secado. 30 minutos, temperatura de bulbo seco = 69EC

Etapas 3: Ahumado. Si se usa humo gaseoso, se puede programar la función “Ahumado Rápido”, durante 25 a 30 minutos, con una temperatura de bulbo seco de 71EC y una temperatura de bulbo húmedo de 54EC, lo que equivale a tener una humedad relativa del 40%.

Si se utiliza humo líquido, se programa la función “Retención de Humo Líquido Atomizado” por un tiempo de 15 a 20 minutos (o el tiempo que sea necesario para que la totalidad del humo sea atomizado).

Etapas 4: Aire Caliente. 30 minutos. Si se utiliza humo gaseoso, se programa una temperatura de bulbo seco de 75EC y una temperatura de bulbo húmedo de 68EC, para lograr una humedad relativa del 70%. Si se utiliza humo líquido atomizado, se utiliza la misma temperatura de bulbo seco pero no se programa ningún valor para la temperatura de bulbo húmedo. En el caso de no haber ahumado, entonces se utilizaría una temperatura de bulbo seco de 73EC y una temperatura de bulbo húmedo de 65EC (70% humedad relativa), hasta que el producto alcance una temperatura interna de 62EC.

Etapas 5: Aire caliente. Temperatura de bulbo seco = 77EC y temperatura de bulbo húmedo = 70EC. Hasta alcanzar temperatura interna de 68EC.

Etapas 6: Aire caliente. Temperatura de bulbo seco = 80EC y temperatura de bulbo húmedo = 75EC. Hasta alcanzar temperatura interna de 72EC.

Etapas 7: Sostenimiento. Se pueden utilizar los mismos parámetros de programación que para la Etapa 6, pero disminuyendo la temperatura de bulbo seco y bulbo húmedo a

73EC. Esto se hace por 10 minutos.

Etapas 8: Duchado. Por un tiempo mínimo de 15 minutos.

PRODUCTOS CÁRNICOS EMBUTIDOS EN TRIPAS IMPERMEABLES O MOLDES

Los productos cárnicos que son embutidos en tripas impermeables o en moldes, no pierden nada de humedad durante el tratamiento térmico y no pueden absorber humo. Por lo tanto, sólo hay tres funciones de procesamiento que pueden conformar un programa térmico para este tipo de productos.

Aire Caliente:

Esta función, utilizándola como primera etapa del proceso, no tendría sino la función de calentar la cámara del horno y la superficie del producto (pero no elimina humedad del mismo). El objetivo fundamental para utilizar esta función de procesamiento es el de eliminar la condensación excesiva de vapor dentro de la cámara cuando se active la función de cocción con vapor. En este caso se utilizaría una temperatura de bulbo húmedo que podría variar entre 70EC y 75EC, por un tiempo de 30 a 45 minutos.

Esta etapa es opcional y la mayoría de los procesadores tienden a omitirla en el caso de productos embutidos en tripa impermeable. Sin embargo, es importante tener en cuenta que de no hacerla, la condensación de vapor será alta en la etapa de cocción, lo cual trae como consecuencia una pérdida de energía del aire en forma significativa.

Cocción o escaldado:

Generalmente es más recomendable utilizar más de una etapa de cocción con aumento progresivo en la temperatura de la cámara. Como durante toda esta etapa se va a tener una humedad relativa del 100%, se hará referencia a la temperatura de la cámara sin diferenciar la de bulbo seco y la de bulbo húmedo.

La primera etapa de cocción podría tener una temperatura que sea 3EC a 5EC mayor que la utilizada en la etapa de aire caliente. El tiempo utilizado en esta etapa va a depender del diámetro del producto, pero debe ser el necesario para aumentar la temperatura interna del producto hasta un valor de 44°C aproximadamente. El sensor de temperatura interna debe ser colocado desde el comienzo del proceso. Una vez el producto alcance esta temperatura, el programa puede cambiar a la segunda etapa de cocción.

A partir de esta etapa, se sigue escalonando la temperatura de la cámara de forma tal que el producto aumente su temperatura interna en 10°C a 15°C con respecto a la etapa anterior. La temperatura de la cámara debe ser 10°C a 15°C mayor que la temperatura interna deseada al final de cada etapa.

El valor máximo que puede alcanzar la temperatura en la cámara debe ser de 85EC en la última etapa, para llevar el producto finalmente a 72EC-74EC de temperatura interna.

Duchado:

El duchado puede tomar hasta 30 minutos dependiendo del diámetro del producto. En el caso de productos de diámetro muy grande, se recomienda hacer el duchado intermitente por las razones que ya han sido suficientemente explicadas.

BIBLIOGRAFIA

BRENNAN, J.G. et al. Las operaciones de la ingeniería de los alimentos. Zaragoza: Acribia, 1980. p. 318-366.

PERRY, Robert H. y GREEN, Don. Perry Manual del ingeniero químico. 6ed. México: McGraw Hill, 1992. Secciones 3 y 12.

REICHERT, Joachim E. Tratamiento térmico de los productos cárnicos, fundamentos de los cálculos y aplicaciones. Zaragoza: Acribia, 1988.

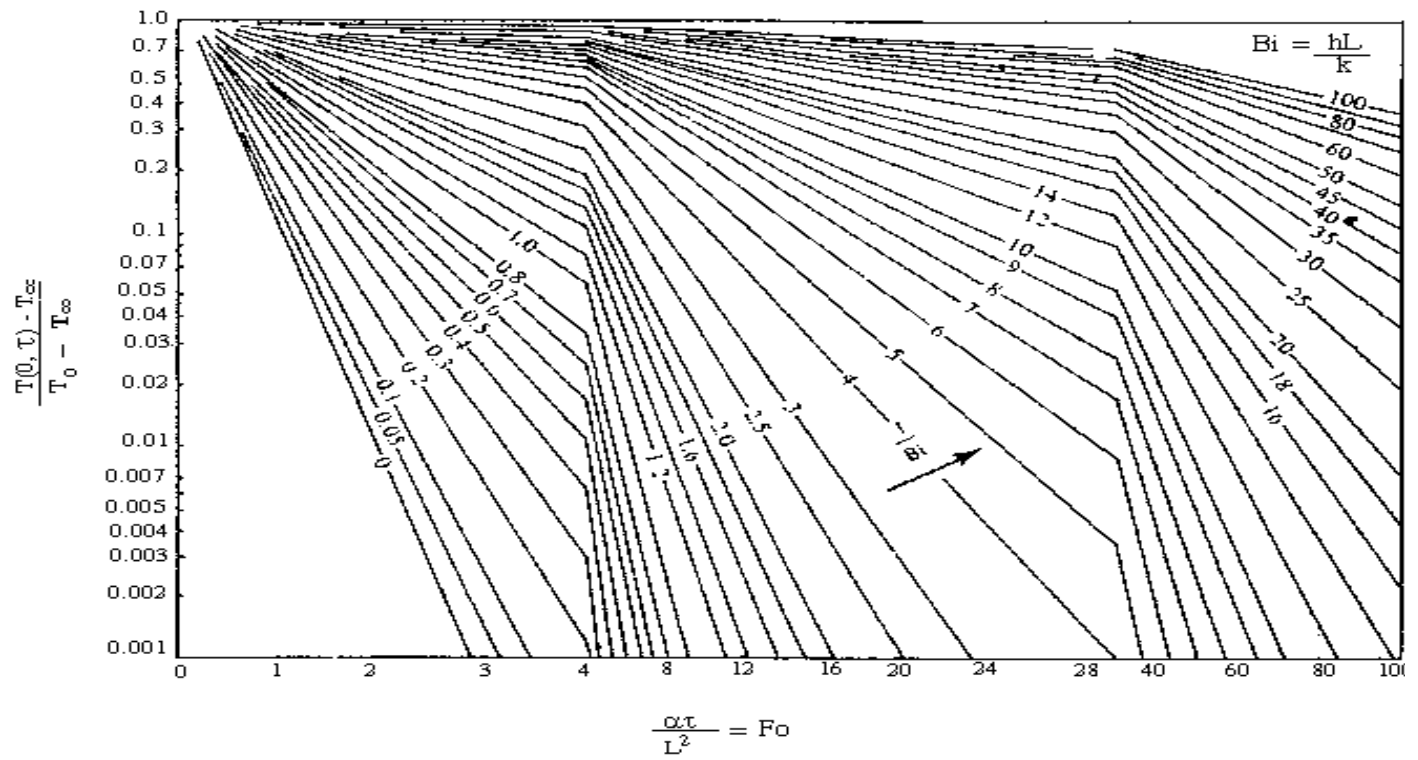
TEEPAK. Casing and processing technology: thermal processing and smoking. 25 p.

WATERS, Erwin. Cooking and smoke application instruction manual. Iowa: Iowa State University Short Course, 1996.

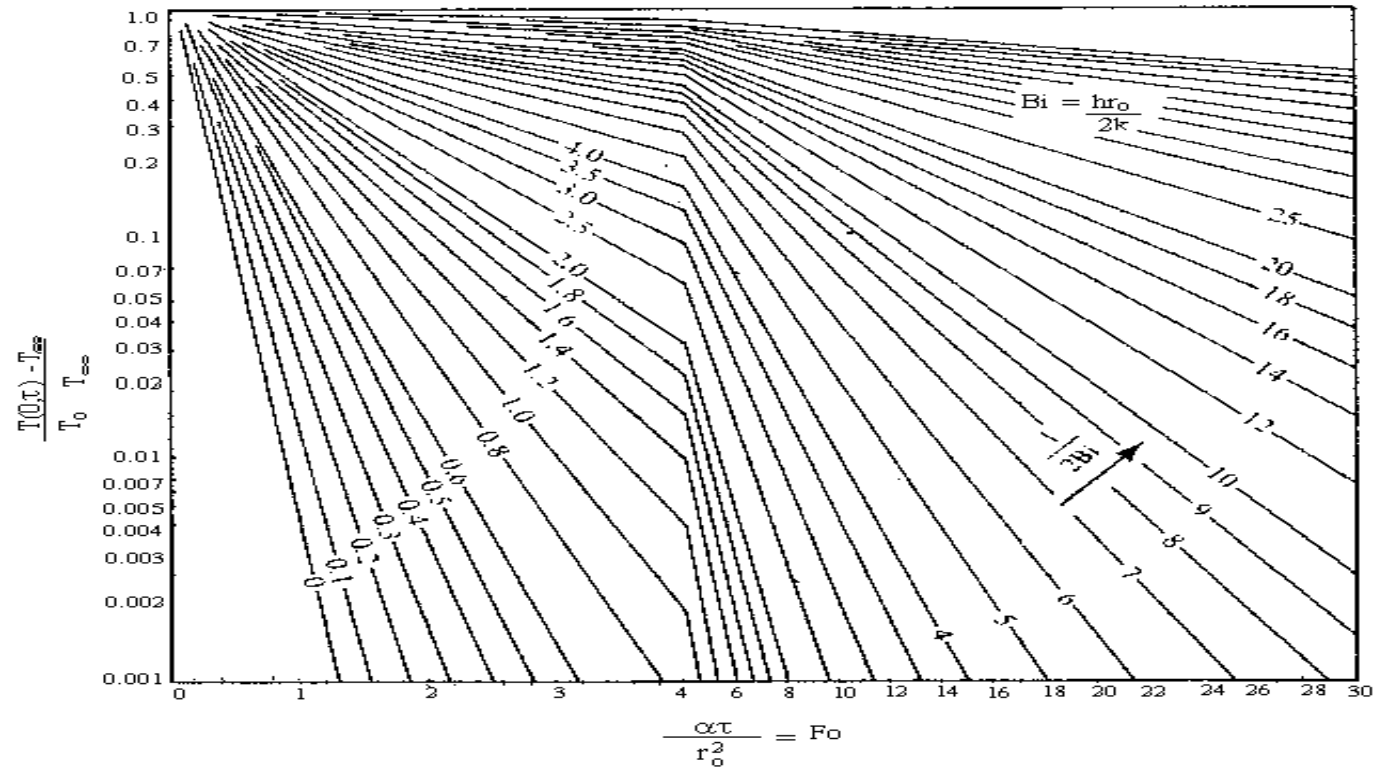
_____. Procesos térmicos. Iowa: Iowa State University: Cursillo teórico práctico de tecnología cárnica, 1996.

_____. Thermal properties of materials for meat processing. 1995.

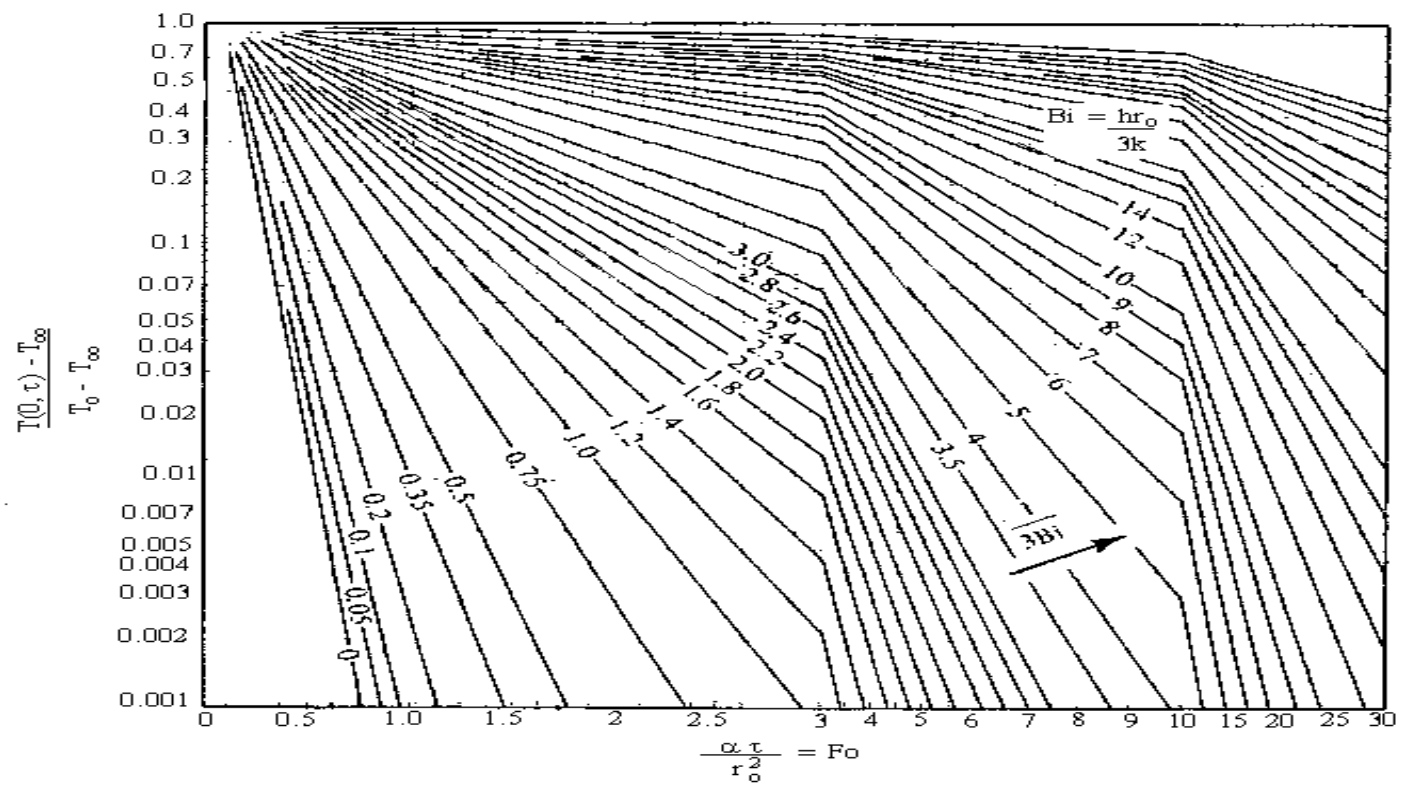
Anexo 1. Gráficas de Heisler



Temperatura de línea central de una placa cuyo espesor es $2L$, $Bi = \frac{hL}{k}$



Temperatura del eje de un cilindro largo cuyo radio es r_o ; $Bi = \frac{hr_o}{2k}$



Temperatura del centro de una esfera de radio r_0 ; $Bi = hr_k$

Anexo 2. Presiones de vapor del hielo desde –15EC hasta 0EC

Temperatura (EC)	Presión de Vapor (mm Hg)	Temperatura (EC)	Presión de Vapor (mm Hg)
-15	1.253	-6	2.765
-14	1.361	-5	3.013
-13	1.490	-4	3.280
-12	1.632	-3	3.568
-11	1.785	-2	3.880
-10	1.950	-1	4.217
-9	2.131	0	4.579
-8	2.326		
-7	2.537		

Presiones de vapor del agua líquida desde 0EC hasta 100EC

Temperatura (EC)	Presión de Vapor (mm Hg)	Temperatura (EC)	Presión de Vapor (mm Hg)
0	4.579		
1	4.926	51	97.20
2	5.294	52	102.09
3	5.685	53	107.20
4	6.101	54	112.51
5	6.543	55	118.04
6	7.013	56	123.80
7	7.513	57	129.82
8	8.045	58	136.08
9	8.609	59	142.60
10	9.209	60	149.38
11	9.844	61	156.43
12	10.518	62	163.77
13	11.231	63	171.38
14	11.987	64	179.31
15	12.788	65	187.54
16	13.634	66	196.09
17	14.530	67	204.96
18	15.477	68	214.17
19	16.477	69	223.73
20	17.535	70	233.70
21	18.650	71	243.90

Continuación

22	19.827	72	254.60
23	21.068	73	265.70
24	22.377	74	277.20
25	23.756	75	289.10
26	25.209	76	301.40
27	26.739	77	314.10
28	28.349	78	327.30
29	30.043	79	341.00
30	31.824	80	355.10
31	33.695	81	369.70
32	35.663	82	384.90
33	37.729	83	400.60
34	39.898	84	416.80
35	42.175	85	433.60
36	44.563	86	450.90
37	47.067	87	468.70
38	49.692	88	487.10
39	52.442	89	506.10
40	55.324	90	525.76
41	58.340	91	546.05
42	61.500	92	566.99
43	64.800	93	588.60
44	68.260	94	610.90
45	71.880	95	633.90
46	75.650	96	657.62
47	79.600	97	684.07
48	83.710	98	707.27
49	88.020	99	733.24
50	92.51	100	760.00

Anexo 3. Propiedades termodinámicas del aire saturado.

Temperatura de bulbo seco (EC)	Humedad de saturación	Entalpía de saturación (contenido de energía en BTU/lb)				Volumen húmedo (pies ³ /lb)
		granos/pie ³	granos/lb	e n e r g í a total	energía del vapor	energía del aire seco
-23	0.285	3.23	-1.925	0.488	-2.400	11.3
-22	0.316	3.60	-1.376	0.544	-1.920	11.4
-21	0.350	4.01	-0.834	0.606	-1.440	11.5
-20	0.389	4.47	-0.283	0.677	-0.960	11.5
-19	0.434	5.00	0.279	0.759	-0.480	11.6
-18	0.481	5.58	0.846	0.846	0.000	11.6
-17	0.529	6.16	1.415	0.935	0.480	11.7
-16	0.581	6.81	1.994	1.030	0.960	11.7
-14	0.638	7.51	2.581	1.140	1.440	11.8
-13	0.703	8.31	3.184	1.260	1.920	11.8
-12	0.775	9.19	3.799	1.400	2.400	11.9
-11	0.855	10.19	4.433	1.550	2.880	12.0
-10	0.941	11.26	5.078	1.720	3.360	12.0
-9	1.031	12.40	5.733	1.890	3.840	12.0
-8	1.127	13.62	6.401	2.080	4.320	12.1
-7	1.239	15.04	7.099	2.300	4.800	12.1
-6	1.354	16.15	7.806	2.530	5.280	12.2
-4	1.480	18.12	8.535	2.780	5.760	12.3
-3	1.616	19.88	9.289	3.050	6.240	12.3
-2	1.775	21.94	10.090	3.370	6.720	12.4
-1	1.933	23.99	10.880	3.680	7.200	12.4
0	2.177	27.15	11.740	4.060	7.680	12.5
1	2.289	28.66	12.560	4.400	8.160	12.5
2	2.467	31.03	13.420	4.780	8.640	12.6
3	2.660	33.60	14.300	5.180	9.120	12.6
4	2.864	36.34	15.210	5.610	9.600	12.7
6	3.082	39.30	16.150	6.070	10.080	12.8
7	3.314	42.49	17.120	6.560	10.560	12.8
8	3.564	45.94	18.130	7.090	11.040	12.9
9	3.828	49.61	19.180	7.660	11.520	13.0
10	4.110	53.55	20.270	8.270	12.000	13.0
11	4.409	57.76	21.400	8.920	12.480	13.1
12	4.727	62.02	22.580	9.620	12.960	13.1
13	5.064	66.79	23.800	10.360	13.440	13.2
14	5.442	72.16	25.080	11.160	13.920	13.3
16	5.801	77.33	26.410	12.010	14.400	13.3
17	6.203	83.12	27.800	12.920	14.880	13.4

Continuación

18	6.631	89.32	29.160	13.800	15.360	13.5
19	7.082	95.89	30.770	14.930	15.840	13.5
20	7.560	102.89	32.450	16.030	16.320	13.6
21	8.065	110.33	34.010	17.210	16.800	13.7
22	8.601	118.26	35.750	18.470	17.280	13.8
23	9.165	126.66	37.570	19.810	17.760	13.8
24	9.762	135.59	39.470	21.230	18.240	13.9
26	10.390	145.04	41.470	22.750	18.720	14.0
27	11.060	155.17	43.570	24.370	19.200	14.0
28	11.760	166.40	45.770	26.090	19.680	14.2
29	12.500	177.75	48.080	27.920	20.160	14.2
30	13.280	189.77	50.510	29.870	20.640	14.3
31	14.090	203.18	53.060	31.940	21.120	14.4
32	14.960	217.22	55.750	34.150	21.600	14.5
33	15.860	231.87	58.580	36.500	22.080	14.6
34	16.820	247.59	61.550	38.990	22.560	14.7
36	17.820	264.09	64.680	41.640	23.040	14.8
37	18.870	281.73	67.990	44.470	23.520	14.9
38	19.980	300.30	71.460	47.460	24.000	15.0
39	21.140	319.85	75.130	50.650	24.480	15.1
40	22.360	340.54	78.990	54.030	24.960	15.2
41	23.630	364.14	83.080	57.640	25.440	15.4
42	24.970	387.28	87.390	61.470	25.920	15.5
43	26.380	413.64	91.940	65.540	26.400	15.7
44	27.840	440.43	96.780	69.900	26.880	15.8
46	29.390	469.06	101.840	74.480	27.360	16.0
47	31.000	499.10	107.220	79.380	27.840	16.1
48	32.680	530.72	112.920	84.600	28.320	16.2
49	34.440	566.88	118.960	90.160	28.800	16.5
50	36.280	603.34	125.340	96.060	29.280	16.6
51	38.200	642.52	132.130	102.370	29.760	16.8
52	40.210	683.97	139.320	109.080	30.240	17.0
53	42.300	728.41	146.960	116.240	30.720	17.2
54	44.490	775.91	155.100	123.900	31.200	17.4
56	46.770	826.43	163.720	132.040	31.680	17.7
57	49.150	880.28	172.910	140.750	32.160	17.9
58	51.630	937.60	182.710	150.070	32.640	18.2
59	54.210	999.09	193.170	160.050	33.120	18.4
60	56.910	1064.79	204.320	170.720	33.600	18.7
61	59.710	1135.68	216.250	182.170	34.080	19.0
62	62.630	1211.26	229.010	194.450	34.560	19.3
63	65.670	1292.39	242.700	207.660	35.040	19.7

Continuación

64	68.820	1379.84	257.380	221.860	35.520	20.1
66	72.110	1473.93	273.170	237.170	36.000	20.4
67	75.530	1576.31	290.170	253.690	36.480	20.9
68	79.080	1685.99	308.510	271.550	36.960	21.3
69	82.760	1804.17	328.370	290.930	37.440	21.8
70	86.590	1932.69	349.800	311.880	37.920	22.3
71	90.570	2073.15	373.130	334.730	38.400	22.9
72	94700	2225.45	398.500	359.620	38.880	23.5
73	98.970	2392.10	426.170	386.810	39.360	24.2
74	103.410	2574.91	456.480	416.640	39.840	24.9
76	108.030	2775.29	489.730	449.410	40.320	25.7
77	112.790	2996.83	526.390	485.590	40.800	26.6
78	117.740	3242.56	567.020	525.740	41.280	27.5
79	122.940	3517.31	612.120	570.360	41.760	28.6
80	128.180	3818.48	662.440	620.200	42.240	29.8
81	133.660	4162.17	719.080	676.360	42.720	31.1
82	139.360	4550.10	783.010	739.810	43.200	32.7
83	145.260	5136.39	855.840	812.160	43.680	35.4
84	151.350	5497.03	939.380	895.220	44.160	36.3
86	157.660	6085.68	1036.220	991.580	44.640	38.6
87	164.170	6773.65	1149.490	1104.370	45.120	41.3
88	170.900	7589.67	1283.530	1237.930	45.600	44.4
89	177.850	8572.37	1446.010	1399.930	46.080	48.2
90	185.140	9784.65	1644.170	1597.610	46.560	52.9
91	192.470	11287.80	1892.960	1845.920	47.040	58.6
92	200.170	13235.24	2212.900	2165.380	47.520	66.1
93	208.090	15829.41	2639.880	2591.880	48.000	76.1

Nota: 1 grano = 0.0648 gramos
1 gramo = 15.433 granos

CAPITULO VII

LOS EMPAQUES FLEXIBLES Y SEMIRRIGIDOS PARA LA INDUSTRIA CARNICA

Renato Restrepo D¹

La industria cárnica actual, y en especial, la industria de los embutidos, venden sus productos a través de minoristas, autoservicios y supermercados.

De acuerdo con los nuevos estilos de vida y los importantes cambios sociales que se vienen presentando, han adquirido en la industria cárnica singular importancia nuevos tipos de envase y empaque. Se destacan entre ellos las porciones individuales, los empaques institucionales, los materiales que permiten vidas de anaquel más largas y que reemplazan a los tradicionales, generalmente más costosos.

Actualmente, en la industria cárnica, sólo dos tipos de material de empaque se utilizan: la hojalata y los plásticos.

Este capítulo considerará a los segundos, que son los que mayor variedad y opciones ofrecen hoy en día a los fabricantes de embutidos.

Se reconocen como empaques flexibles aquellos cuyo espesor de pared no sobrepasa los 300 micrones. A partir de ese calibre se conocen como semirrígidos hasta 500 micrones y rígidos cuando presentan más de 500 micrones.

Los plásticos ofrecen a la industria innumerables ventajas:

Su transformación y manejo se hace a temperaturas más cómodas (máximo 300 EC). Así, el uso de energía por envase es menor que cuando se conforman envases de vidrio u hojalata haciendo a los plásticos, en este sentido, más amigables con el medio ambiente.

¹ Ingeniero de Alimentos. Gerente de Desarrollo de Negocios. ALICO S.A. e-mail: alicor@epm.net.co

Con los plásticos se pueden conformar empaques flexibles, semirrígidos y rígidos, característica única de estos materiales, e imposible con algún otro conocido hasta el momento.

Al adaptarse a casi cualquier proceso de producción de alimentos, incluyendo desde ultracongelaciones hasta esterilización, se convierten en una elección bastante funcional para los productos embutidos.

Los empaques y envases plásticos pesan mucho menos que los conformados con otros materiales de tal forma que el conjunto envase/producto es más fácil de almacenar y transportar, reduciendo los costos por estas operaciones.

Se pueden diseñar con características especiales para cada grupo de alimentos e inclusive para cada subgrupo dentro de ellos.

Hacer cambios de tamaño, impresión o aspecto es muy fácil, además, que con sistemas especiales de apertura, resellado y conservación, entre otros, se puede “agregar” valor al producto final.

Según lo anterior, la relación costo/beneficio es definitivamente superior en los plásticos que en cualquier otro material de empaque.

Las resinas plásticas que se conocen son obtenidas de diversas maneras. Procesos de unión de moléculas gaseosas hasta hacerlas tan pesadas que se vuelven sólidas, neutralizaciones y condensaciones de diversas sustancias, son sólo algunas de las formas de obtener estos materiales tan especiales en su forma química.

La química de los plásticos ha avanzado tanto desde mitad de siglo, que hoy en día, se crean materiales nuevos y diferentes con una rapidez que no permite, a veces, adaptarlos a los procesos de producción de alimentos con la misma rapidez, habiendo siempre un material más que evaluar todos los días.

De esta forma se pueden obtener empaques “diseñados” a la medida de los productos, olvidando aquellas tediosas épocas, donde los productos debían adaptarse a los materiales de empaque existentes.

A continuación se presentan algunos de los plásticos más utilizados en la industria de los alimentos:

Polietileno de baja densidad (LDPE)

Este plástico fue uno de los primeros que se usaron en la industria de los alimentos y es actualmente el más usado en ella.

Su bajo costo lo mantiene siendo siempre parte de estructuras simples y complejas.

Es el material más usado como sellante en bolsas y bandejas, ya que se obtiene dicha característica a temperaturas que oscilan entre 110° y 160EC, (dependiendo de la presión y tiempo de sellado).

Es uno de los materiales con mejor barrera al vapor de agua y evita por ende, la pérdida de peso de los alimentos por evaporación y la absorción de agua por parte de los que son altamente higroscópicos como la leche y el café en polvo.

Es un plástico de fácil uso en máquinas empacadoras automáticas. Se usa como parte importante de coextrusiones y laminaciones con otros materiales.

Poliétileno lineal de baja densidad (LLDPE)

De características muy similares a las del polietileno de baja densidad, el polietileno lineal tiene unas temperaturas de sellado un poco menores que las de éste (5E a 10EC aproximadamente, al ser comparados). El polietileno lineal, generalmente, se mezcla con el de baja, para que el último mejore un poco sus características y mejorando su desempeño en máquinas empacadoras continuas. Dicha mezcla tendrá una resistencia mecánica superior a las del LDPE solo.

Poliétileno de alta densidad (HDPE)

Sólo en envases rígidos tiene dicha aplicación. Posee mejor resistencia mecánica que el LDPE, pero requiere una mayor temperatura para el sellado. Es un material más utilizado en otras áreas que en contacto directo con alimentos. Es usado en la industria cárnica como protector de canastas principalmente.

Polipropileno biorientado (BOPP)

Es usado en la industria de los embutidos como la capa impresa de estructuras laminadas. Esto es debido a que el BOPP, por su baja elongación, alto brillo y transparencia, es uno de los mejores sustratos de impresión.

Además, aporta buena barrera a las grasas, aromas y al vapor de agua.

Poliéster (PET)

El poliéster antes de ser reemplazado por las poliamidas (nylon) y el PVdC, era el material con barrera al oxígeno y demás gases por excelencia. Su alta barrera al vapor de agua lo hacía uno de los pocos materiales que presenta esta característica simultáneamente con la barrera a los gases, cuando lo general es que ambas características sean excluyentes entre sí.

Hoy en día el PET no se usa en los volúmenes de antes pero es aún una buena elección cuando otros no están disponibles en el mercado.

Su presencia se encuentra aún en algunos empaques, especialmente en los impresos, donde el poliéster actúa como un excelente sustrato de impresión.

Poliamida (Nylon)

Es uno de los plásticos de más reciente uso en la industria de los embutidos, aunque existe hace ya varias décadas.

Los modernos procesos de extrusión de plásticos permiten incorporarlo a estructuras complejas, donde proporciona alta barrera a los gases en general. Tiene sobresalientes resistencia mecánica, barrera a las grasas, aromas y sabores. Su brillo y transparencia son algunas de sus bondades.

Normalmente no se consideraban las poliamidas como materiales de barrera al vapor de agua, pero existen hoy en día, poliamidas químicamente amorfas que proporcionan esta ventaja.

Su presencia, como parte de la compleja estructura de las películas inferiores de máquinas termoformadoras continuas para empaque al vacío, se hace casi indispensable porque permite el correcto formado de los moldes inferiores.

Poli Vinil Cloruro (PVC)

Su aplicación en la industria cárnica, se limita a envases semirrígidos y especialmente los usados con sistemas de atmósfera modificada. Varias restricciones que existían para su uso en alimentos, han desaparecido, lo que ha permitido nuevas aplicaciones en éste en la industria.

Dado el grosor en el que normalmente se utiliza, su barrera es la adecuada para garantizar la estabilidad deseada en el alimento. Tiene buen brillo y transparencia y se encuentra generalmente unido a otras resinas como el LDPE.

Poliestireno

Igual que el PVC tiene aplicaciones casi exclusivas en envases rígidos y semirrígidos. El poliestireno, en un proceso especial, puede mezclarse con diferentes gases obteniéndose materiales espumados conocidos como Icopor, Stiropor o Tecnopor, entre otros.

Este material es aún muy usado en la industria de las carnes frescas y el pollo. Se complementa el sistema con el uso de materiales extensibles (PVC, EVA) que cubren en su totalidad la bandeja de poliestireno expandido una vez colocado en el alimento sobre la bandeja.

Etil Vinil Alcohol (EVOH)

Es una de las resinas más nuevas que se usan en la industria de los empaques para alimentos. Su uso se hace necesario cuando se busca la mejor barrera a los gases. Ha reemplazado en algunas aplicaciones al Sarán (PVdC) ya que algunas de sus características físicas y químicas son mejores que las del PVdC. Sin embargo, tiene una característica que lo afecta negativamente y ésta es su altísima sensibilidad al vapor de agua. En contacto con el agua, el EVOH pierde toda su barrera a los gases. Por esta razón, siempre debe ir en estructuras complejas que permitan tenerlo entre dos capas de plástico con alta barrera al vapor de agua (por ejemplo polietileno de baja densidad).

Por su alto costo, su aplicación debe estudiarse bien su aplicación y debe ser usado sólo cuando son necesarias largas vidas de anaquel. Muchos sistemas de empaque al vacío o con atmósferas modificadas usan empaques que contienen EVOH en alguna de sus capas.

Sarán (PVdC Cloruro de Polivinilideno)

Es un material de sobresaliente barrera a los gases y al vapor de agua. Su uso se ha ido descontinuando y ha sido reemplazado en gran parte por las poliamidas y el EVOH en muchas aplicaciones.

Tiene muy poca resistencia a la flexión² y su color pasa de transparente a amarillo muy rápido, luego de ser fabricada la película que lo contiene, presentándose tonalidades distintas en los empaques y envases.

Si no se almacena por largos períodos de tiempo su uso es recomendable cuando se buscan vidas de anaquel largas.

Etil Vinil Acetato (EVA)

Más que una resina por sí sola, se utiliza mezclar ésta con los polietilenos de baja densidad. Esta mezcla permite obtener películas más brillantes y transparentes, así como incrementos en la resistencia mecánica.

Ionómeros y Metallocenos

Son resinas que tienen como función principal ofrecer temperaturas de sellado más bajas, haciendo más eficientes y seguros los sistemas de empackado con materiales flexibles. Son generalmente costosos y su aplicación debe ser bien estudiada para estar seguros de su verdadera utilidad en un proceso determinado.

² Prueba que se hace a los plásticos y que consiste en flexionar repetidamente una película plástica sobre el mismo eje hasta que en ella aparezcan fallas estructurales.

Foil de Aluminio

Este, aunque obviamente no es una resina plástica, se debe mencionar, pues se usa en combinación con varias de ellas y se utiliza cuando se requieren las mejores barreras posibles a los gases, vapor de agua y especialmente la luz.

Aunque algunos materiales plásticos se pueden adicionar con sustancias que impidan el paso de ciertas frecuencias de la luz visible, especialmente las ultra violeta, el foil de aluminio siempre será el material a elegir cuando de impedir el paso de la luz al interior de un empaque se trata.

Proceso de obtención de películas plásticas complejas

Es bastante frecuente, por no decir que es la norma, que un solo plástico no cumpla con todos los requisitos que algún alimento deba tener para su correcta conservación, es por esto que se combinan dos ó más plásticos, donde se aprovechan las ventajas de cada uno de los materiales en la nueva estructura.

Laminación: La laminación es un proceso en el cual mediante la aplicación de diversas sustancias adhesivas, se logra la unión de dos películas. Estas pueden ser plásticas, de papel o metálicas. La laminación permite “atrapar” la impresión (impresión en “sandwich”) entre las dos películas, haciéndola más brillante y duradera. Esta técnica permite juntar materiales diversos como plástico con papel, papel con metal y plástico con metal entre otros. La laminación sin embargo, presenta algunos inconvenientes entre los cuales se puede citar que es un proceso que se hace lento e improductivo cuando se quieren unir más de dos tipos de ellos a la vez.

Coextrusión: La coextrusión es un proceso mediante el cual se unen dos o más resinas plásticas, bien sea para lograr estructuras flexibles, semirrígidas o rígidas.

Al final del equipo, los diferentes plásticos se unen por medio de calor y en algunos casos, de otros plásticos adhesivos.

Con este proceso se pueden unir más de dos películas a la vez. Las películas que se obtienen de esta forma son más económicas que las laminadas y se tiene una versatilidad en cuanto a capas y grosor tal de cada una, que se pueden crear estructuras específicas para cada alimento o grupo de alimentos.

Sin embargo, la coextrusión está limitada a los plásticos y no es posible coextruir materiales distintos a ellos como metal o papel.

La combinación de un material coextruido con una posterior laminación es una técnica bastante usada hoy en día, obteniendo de cada uno de los procesos, sus ventajas.

ELECCION DE LA MEJOR ESTRUCTURA

Como premisa a este proceso se debe conocer cada uno de los componentes del alimento para saber de qué se debe proteger y qué características del medio ambiente son buenas o agresivas con él. Luego, se debe establecer la vida de anaquel esperada.

Es muy importante aclarar que el empaque sólo “prolongará” unas condiciones que procesos previos hayan impartido al producto. Si las cargas bacterianas al momento del empaquetado son altas, no se podrá esperar nada mejor con un buen empaque.

Los empaques no son métodos de conservación

Una vez conocido lo anterior, se deben reconocer los sistemas disponibles de empaquetado o la inversión que se desea hacer en ellos. Con esto, y determinada claramente la oferta de materiales en el mercado, se determinará la mejor estructura. Nunca se debe dejar aparte el factor económico, teniendo en cuenta siempre que el mejor empaque será aquel que de la forma más eficiente y económica, cumpla con los requisitos que el alimento exige para lograr ser mercadeado y vendido como se espera.

ESTRUCTURAS PLASTICAS TIPICAS Y SU APLICACIÓN EN LA INDUSTRIA DE LOS ALIMENTOS

Dada la inmensa cantidad de estructuras plásticas y las aplicaciones de ellas, sólo se mostrarán algunas de ellas, quizás las más comunes e importantes.

Para entender correctamente la estructura, debe entenderse al material que se encuentra a la izquierda de la estructura como el que está en contacto con el medio ambiente, y el que está al extremo derecho de la misma, como el plástico que está en contacto con el alimento y en la mayoría de los casos, actuando como sellante.

La sigla TIE denota adhesivos de coextrusión. La sigla SCRAP significa material reciclado o reutilizado. Por último, la sigla MET significa que el material ha sufrido un proceso de metalización.

La metalización es el recubrimiento de la película plástica con una muy delgada capa de aluminio. Esta capa se adhiere durante procesos de electrólisis. Este método es distinto a la laminación con foil de aluminio.

1. Carnes frescas, embutidos, lácteos, pescados, pulpas de fruta.

- PA / TIE / LDPE + LLDPE
- BOPP / TIE / PA / LDPE + LLDPE
- PA / TIE / IONOMERO
- LDPE / PA / LDPE + LLDPE
- LDPE / EVOH / LLDPE
- PA/ EVOH / LLDPE

- BOPP MET / PA / TIE / LLDPE
- PA MET / LLDPE + LDPE
- BOPP / FOIL / PA / TIE / LLDPE + LDPE
- PET / FOIL / LLDPE o IONOMERO

2. Vegetales, alimentos congelados.

- LDPE / LDPE / LLDPE
- LDPE / SCRAP / LLDPE
- EVA / SCRAP / LLDPE

3. Confitería, chocolates, dulces.

- BOPP / TIE / LDPE
- LDPE / IONOMERO
- DPE / METALOCENO Panadería.
- LDPE / HDPE / LDPE
- EVA / PP / EVA

4. Productos en polvo o altamente higroscópicos.

- BOPP MET / PA / TIE / LDPE o IONOMERO
- PET MET / LDPE
- PTE / FOIL / LLDPE

5. Bolsas para esterilización de productos alimenticios.

- PET / FOIL / PA / TIE / PP

6. Fundas plásticas para embutidos.

- PA / TIE / LDPE
- PA / TIE / LDPE / LDPE
- PA / EVOH / LDPE o PA

LAS PROPIEDADES MAS IMPORTANTES DE LOS PLASTICOS PARA EMPAQUE DE ALIMENTOS

Los plásticos tienen algunas características físicas y químicas importantes, conocerlas es fundamental para conocer su comportamiento durante la etapa del empaque y sostenimiento de los alimentos en ellos.

Los plásticos se conocen también como polímeros. Se puede decir que los plásticos son polímeros pero no se puede decir que todo polímero es un plástico.

Por polímeros se conocen estructuras moleculares múltiples, es decir, una estructura conformada por varias moléculas, en el caso de los plásticos, miles de ellas. Si las moléculas que conforman determinado polímero, son todas iguales, éste se conoce como un homopolímero, si es una combinación de dos de ellas, en cualquier orden, son copolímeros, de tres polímeros terpolímeros y así sucesivamente. Es importante destacar que una mezcla de dos homopolímeros, por ejemplo, en una laminación o una coextrusión, no crea un copolímero. Esta característica se crea en el momento de la polimerización de la resina que en otras palabras es cuando se crea el plástico en cuestión.

Cristalinidad: Si se imagina un polímero como un “ladrillo” y luego a otro y así hasta que se conforme una película plástica, la forma como se acomoden esos “ladrillos”, será indicio de la cristalinidad o no del material. Entre más ordenada sea esa “pared” de ladrillos, más cristalino será el material y si se continúa con la comparación, entonces resulta obvio que los plásticos, en la medida que sean más cristalinos, mejores barreras tendrán, aunque se presentarán algunas desventajas como por ejemplo que se pierde transparencia en la película conformada.

Temperatura de transición vítrea (T_g): Es la temperatura a la cual los polímeros de la película plástica, comienzan a desplazarse o intentan comenzar a fluir. Conocer esta temperatura es importante porque indica la temperatura mínima de sellado del material.

Temperatura de derretimiento (T_m): Es la temperatura a la cual los polímeros comienzan a fluir. Es importante conocerla cuando se diseñan envases plásticos que irán directamente dentro de los hornos convencionales, esterilizaciones o microondas, por ejemplo.

Termorretracción: Se conoce también como memoria de los plásticos. Dadas ciertas condiciones durante su proceso, se puede lograr que una película plástica ante la presencia de calor, adquiera dimensiones menores que las que tenía antes de la aplicación de calor. En términos generales, lo que se hace es derretir hasta T_m un material plástico y enfriarlo rápidamente sin permitir que las moléculas adquieran su tamaño normal; se evitan también la formación de puentes de Hidrógeno y algunos enlaces químicos. Queda el material entonces como en un estado “latente” ajeno a él. Una vez se aplica calor nuevamente, el material tiende a adquirir su estado y tamaño normal, presentándose la disminución en sus medidas anteriores.

Resistencia a la punción: Característica que indica la facilidad o no con que el material es perforado. Existen varios métodos para probar esta característica. El más conocido es el método del dardo.

Hot Tack: Para unir un material plástico a otro, mínimamente debe alcanzar su Tg. Una vez alcanzada esta temperatura, se aplica presión a los dos plásticos que se quieren unir y se espera un tiempo. Una vez cesa la presión sobre ambas películas, éstas aún calientes pueden separarse. La facilidad o no con lo que esta separación se logre, se conoce como Hot Tack.

Resistencia a la flexión: Es la capacidad que tiene un plástico de soportar repetidas flexiones en un mismo punto sin presentar fallas en su estructura.

Tensión superficial: Medida de fuerza que indica ciertos aspectos importantes, sobre todo del comportamiento eléctrico de un plástico. Esta medida es importante ya que los adhesivos de laminación y las tintas de impresión, deben tener tensiones superficiales compatibles con las del plástico, para poder cumplir su función correctamente. De no ser así, las tintas de impresión podrían, por ejemplo, desprenderse del plástico.

TRIPAS Y TUBULARES

Cuando el tema es la historia de los empaques, es inevitable hablar de las tripas para embutidos. De hecho, las tripas y órganos de animales de abasto, fueron uno de los primeros empaques que conoció el hombre.

Ni siquiera entonces se usaban para lo que hoy: el embutido de pastas cárnicas. Antes eran usados para transportar alimentos y líquidos, especialmente agua.

Hoy en día, las tripas son utilizadas casi exclusivamente por la industria de los embutidos, hasta el punto que no existiría esta industria sin este tipo de empaque.

Apenas en este siglo (a partir de 1920 aproximadamente), comienzan a surgir diversas opciones para reemplazar las tripas naturales, buscando mejorar los pocos aspectos técnicos negativos que éstas tienen y a su vez crear nuevos productos.

Surgen así, la celulosa, las fundas fibrosas, el colágeno y finalmente, los materiales plásticos.

FUNCIONES DE LAS FUNDAS

Dar forma y estabilidad: durante la fabricación de embutidos, se obtiene una pasta cárnica que tiene una fluidez y ésta depende del tipo de producto que se pretenda obtener.

La funda o tripa entonces contendrá esta pasta durante los diferentes tratamientos posteriores.

Evita la salida y entrada de sustancias diversas: cuando se trabajan productos cárnicos embutidos, existen una gran variedad de compuestos, sustancias y aditivos entre otros, que afectan el producto final y su vida de anaquel.

Dependiendo del producto, el humo, el agua, la grasa y otros, deben entrar y salir atravesando la funda.

Se evita también la entrada de bacterias e insectos al producto.

- C Permiten el transporte del producto con seguridad y eficiencia.
- C Facilita la venta y el mercadeo, actuando como un vendedor pasivo. Ayuda al reconocimiento de marca.
- C Debido a las características, las fundas y tripas afectan positiva o negativamente la vida de anaquel esperada.

Procesos generales que soportan las tripas y fundas para embutidos:

- Prehidratación.
- Embutido.
- Cocción.
- Escaldado.
- Maduración.
- Secado y ahumado.
- Enfriamiento.
- Transporte.
- Cocción para consumo.

TRIPAS NATURALES

Tradicionalmente, se han utilizado las tripas naturales como funda para los embutidos. Estas se obtienen de animales bovinos, porcinos y caprinos. Las tripas se someten luego a diferentes procesos con el propósito de higienizarlos y adaptarlos a los diferentes mecanismos de producción.

La utilización de fundas facilitó el crecimiento de la industria de los embutidos y es aún, uno de los componentes más importantes para la elaboración de estos productos. Desde hace mucho tiempo, se han relacionado directamente los términos fundas y tripas con la fabricación de productos embutidos.

Las tripas son una parte tan importante de las carnes procesadas, que una mala utilización o elección de estos componentes, acarrearía pérdidas significativas para los productores. Mientras que una correcta elección del material para embutir le dará buenos resultados al productor y al consumidor, ya que el producto debido a su buena presentación, conllevará a una mejor aceptación por parte del consumidor. Así mismo, la vida de anaquel de los embutidos podría ser más larga.

Obtención: El proceso de obtención de tripas naturales aptas para la industria cárnica, comienza con la evisceración del animal. Esta debe cumplir todas las normas higiénicas vigentes, sanidad y calidad. Este paso es primordial, ya que un buen o mal comienzo, será definitivo para las características finales de la tripa.

Una vez extraído el tracto digestivo, de donde los intestinos delgados concentran el mayor interés, se procede al lavado y desinfección inicial. Este proceso se hace en tanques donde agua caliente y diferentes productos químicos cumplen la función de limpiar y desinfectar. En este mismo tanque se comienza a “organizar” la tripa en tiras que serán nuevamente lavadas, raspadas, invertidas y raspadas nuevamente, con el fin de eliminar restos de materia orgánica, carnosidades y vellosidades interiores.

Una vez terminado lo anterior, las tripas pasan a ser clasificadas, donde se inflan con aire para determinar su diámetro real, y a su vez, se eliminan los tramos que se consideren defectuosos. Hecho esto, se procede a hacer amarres de 90 metros de tripa (madejas), que son almacenadas en barriles con altos contenidos de sal común.

La sal tiene dos efectos importantes sobre la tripa: en primer lugar, es agente inhibitorio para el crecimiento de bacterias coliformes presentes en alto número en la tripa y en segundo lugar, causa deshidratación de las células de la tripa logrando de igual forma un efecto bacteriostático.

Preparación para el uso: Antes de usar las tripas de cerdo, ovino, caprino, etc, se hace necesario un lavado con abundante agua.

El lavado eliminará el exceso de sal y se logrará comenzar la rehidratación de la tripa entre otras razones, para que el sabor final del embutido no se vea afectado por el exceso de sal en la tripa.

Se debe remojar la tripa luego como mínimo 1 hora y es mejor hacerlo en agua de 30E a 40EC. Esto logra la hidratación total y la eliminación de la sal restante en la tripa.

Embutido: La tripa se debe embutir lo más cercano posible a su diámetro natural. Embuticiones por debajo de esta medida, causan productos arrugados y mal presentados, mientras que lo contrario aumentará las pérdidas por reviente en embutido, cocción y fritura si ésta es del caso.

Calibres: Las tripas naturales se clasifican internacionalmente, asignándoles números o letras que indican su calibre y exactitud del mismo en el largo total de la madeja.

Así, una tripa 26/28, es aquella que en la mayor parte de su longitud, tiene un diámetro de embutido entre 26 y 28 mm. Al asignarse la letra A, por ejemplo 20/30 A, quiere decirse que más porcentaje aún de la tripa estará dentro del rango y que además mucha

parte de ella estará con igual diámetro (sea 28, 29 ó 30 mm según el ejemplo anterior).

Almacenamiento: Debe hacerse en lugares frescos, y mejor aún refrigerados. No debe almacenarse mucho tiempo fuera de los barriles con sal y éstos deben permanecer cerrados. Deben alejarse de plagas y roedores y a su vez de la luz directa.

Ventajas de las tripas naturales:

- C Ofrece ligazón entre la proteína de la tripa y el producto permitiendo que los productos puedan secarse sin sufrir daños en su presentación (tripas sueltas).
- C Son una barrera natural al paso de microorganismos, permitiendo largas vidas de anaquel al ambiente. (Esto depende mucho de la forma).

Desventajas:

- C Tiene altos recuentos de microorganismos y altas probabilidades de poseer flora inhibida.
- C Los procesos previos al embutido son largos y costosos (mano de obra y agua, entre otros).
- C La irregularidad de precios y de suministros.
- C La variación natural de calibres y longitudes, afectando costos, presentación, empaque y ventas.

Solución a los problemas más comunes

- C Reventamientos
Sobreembutido
Tripa defectuosa
Mal trato en el desalado
Mesas o superficies inadecuadas
Boquillas y frenos defectuosos.
- C Dureza en la mordida:
Excesivo secado o calor en la cocción
Mal desalado.

FUNDAS DE CELULOSA

Las fundas hechas con hidratos de celulosa, más conocidos como fundas celulósicas, se usan en la industria cárnica básicamente para la fabricación de salchichas. Su uso en otro tipo de embutidos es raro y poco común, al menos en la región de interés.

Obtención: El proceso de obtención comienza con la tala de los árboles apropiados para el fin (generalmente coníferas). Por medio de métodos químicos, físicos o combinados, se extraen de la madera la lignina y la celulosa que son luego separadas entre sí.

Químicamente se transforma la celulosa en viscosa (nombre comercial) y ésta en hidrato de celulosa, la que al hacerse pasar por unos dosificadores especiales e inflarse permite la obtención de un tubular homogéneo, transparente (a menos de que a propósito se adicione con tintas) y con algunas características físicas que lo hacen apropiado para su uso en la producción de salchichas.

Este tubular obtenido, se imprime (casi nunca a más de un color) si es del caso y se corruga para obtener tramos compactos de metraje variable llamados “sticks”.

Estos últimos vienen con extremos cerrados si van a ser utilizados en máquinas embutidoras continuas con colgador automático (tipo Risco, Multivac, o Townsend) o abiertos, si el embutido es manual o automático sin colgador.

Las fundas de celulosa se usan básicamente para la producción de embutidos de bajo diámetro y que serán sometidos a secado y cocción (salchichas, butifarras y génovas entre otros).

Estas fundas se marcan con 2 números donde el primero generalmente indica, según el fabricante, una relación con el diámetro de embutido y es de anotar, que aunque ambas cifras se parecen, generalmente no coinciden entre ellas. El segundo es la medida en pies de funda que tiene el stick. Así por ejemplo de la firma Teepak INC., la celulosa 22/84 significa que la tripa debe embutirse entre 19.5 y 20.5 mm de diámetro y que cada stick tiene 84 pies de largo.

Los sticks vienen en cajas y éstas en unidades de empaque conocidas como cartones.

Almacenamiento:

- C Las fundas de celulosa deben mantenerse alejadas de pisos, paredes y en lugares frescos y secos.
- C Una vez abierta una caja de sticks, el remanente no utilizado debe permanecer en la caja cerrada y dentro de una bolsa plástica para evitar su resecamiento.

Ventajas:

- C Las fundas celulosas ofrecen una excelente presentación del producto final y alta calidad en cuanto a los recuentos microbiológicos que de ellas se obtienen.
- C Su permeabilidad a los gases permite los procesos de ahumado y cocción.

Desventajas:

- C Por su alta permeabilidad permite mermas de peso altas por evaporación en cocción y otros procesos.
- C No es comestible y debe ser pelado el embutido para su consumo.
- C Es la funda más costosa del mercado.

Solución a los problemas más comunes:

Reventamiento: se presenta por:

- C Superficies inadecuadas, pueden causar rupturas.
- C Boquillas y frenos defectuosos.
- C Sobreembutido.
- C Resecamiento de la tripa.
- C Separación de la funda y la carne.
- C Debe usarse una referencia de más adherencia. Se pudo haber escogido una de fácil pelado por error.

FUNDAS FIBROSAS

Con un proceso inicial muy similar al de las fundas de celulosa, se obtiene la materia prima para lograr fundas fibrosas.

Por diferentes métodos mecánicos y químicos se logra reforzar la celulosa con fibras de papel, obteniéndose así una nueva funda con características diferentes a la celulosa llamada fibrosa.

Las fundas fibrosas se usan a nivel mundial para la fabricación de embutidos con diámetros medianos o grandes. Entran en esta categoría los salamis, mortadelas y algunos jamones, entre otros.

Con diferentes procesos durante su obtención, las fibrosas se pueden hacer permeables o no, con adherencia a la carne o no, o pigmentadas o no, entre otras características.

El uso de alguna de ellas, depende exclusivamente del tipo de producto que se quiere obtener y su proceso.

Calibres: Cada fabricante asigna a las tripas fibrosas, diferentes códigos que están relacionados con sus características físicas y diámetros de embutido recomendados.

Preparación para el embutido: La funda se debe pre-clipear o amarrar si fuera del caso, luego no importando inclusive si la presentación es orugas, se deben pre-hidratar en agua entre 35E y 45EC, durante 30 minutos aproximadamente.

Cuidados durante la cocción:

- C Las temperaturas de cocción por encima de 70EC son riesgosas, porque pueden causar rupturas en la funda y pérdida del embutido.
- C No se debe perforar la funda con termómetros, especialmente cuando la temperatura del embutido es alta o se correrá el mismo riesgo mencionado anteriormente.

Almacenamiento:

- C Debe almacenarse separada de paredes y pisos.

- C En lugares frescos, secos y alejados de la luz directa.
- C Prevenir el ataque de hongos, plagas y roedores.
- C Las orugas de una caja que no se utilicen, deben forrarse con su plástico original o guardarse en bolsas plásticas cerradas.
- C No deben almacenarse orugas por más de tres meses.

Ventajas:

- C Tienen buena resistencia mecánica si se compara con la celulosa o el colágeno.
- C Comparada con la celulosa, tiene permeabilidad controlable.
- C Su adherencia a la carne (contracción hidrófila), es excelente.
- C La impresión que se logra es buena.
- C Permite la formación de piel en el embutido.

Desventajas:

- C Su baja resistencia mecánica comparada con las fundas de poliamida.
- C Su alto costo.
- C El porcentaje de rotura en cocción alto.
- C Las mermas en el caso de las no impermeables son altas.

FUNDAS DE COLAGENO

Raspando la parte interior de la piel del ganado, principalmente vacuno, se obtiene la única funda para embutidos comestible como las naturales.

El raspado de dichas pieles provee una sustancia rica en colágeno llamada CORIUM. El colágeno se separa del CORIUM por procesos químicos complicados y se hace pasar por unos dosificadores especiales que proveen tubulares de diferentes diámetros, grosores y características en general. Además, se pueden obtener láminas del mismo material útiles en la producción de pavos rellenos, lomos y jamones entre otros.

Las fundas de colágeno que han venido ganando mucha aceptación por parte de productores y consumidores de embutidos, son usadas en productos como cábano, chorizo, longaniza, salchicha, salchichones y jamones entre otros.

Calibres: Las fundas de colágeno se denominan con una cifra que indica directamente el diámetro de embutido en mm. Además, se indican la longitud de la oruga, el número de orugas por caja y la totalidad de pies por caja (caddie).

Almacenamiento:

- C Almacenar en lugares con temperaturas por debajo de 15 EC.
- C Almacenar alejadas de la humedad excesiva.
- C Separar de pisos y paredes.
- C Prevenir el ataque de plagas y roedores.

Recomendaciones para su correcto uso:

- C Trabajar en superficies secas o ligeramente húmedas.
- C Revisar bien la no presencia de superficies inadecuadas.
- C Las boquillas deben estar completamente derechas y alineadas sobre su eje.
- C Los frenos deben estar en perfecto estado y sin superficies agresivas.
- C Hay “Chucks” especiales para colágeno. (El chuck es un dispositivo que hace parte de los equipos retorcedores automáticos).
- C No se debe cocinar en agua. Es preferible en calor seco o vapor.
- C Se debe evitar el colgado de más de dos unidades continuas en las varillas.

Ventajas:

- C No tiene ningún proceso previo al embutido.
- C Considerable disminución de los espacios de almacenamiento y facilidad para el mismo.
- C Tiene costos más bajos al final del proceso comparándola con la tripa natural de cerdo.
- C La presentación del producto final.
- C Permeabilidad al humo y otros gases (permite el secado).
- C Su comestibilidad.
- C La disminución en tiempos y costos de procesos.
- C Calidad microbiológica por sus muy bajos recuentos iniciales.
- C La homogeneización de productos.
- C Mermas menores que en la tripa natural de cerdo.

Desventajas:

- C Su sensibilidad a la humedad.
- C Es sensible a tratamientos térmicos bruscos.

Solución a los problemas más comunes:

Reventamiento:

- C El sobreembutido.
- C El exceso de retorcido presiona demasiado la funda llegando a reventarla.
- C Los frenos demasiado apretados causan el mismo efecto anterior.
- C Las boquillas defectuosas o desalineadas.
- C Las superficies de trabajo inadecuadas.
- C Las superficies de trabajo demasiado húmedas.
- C El colgado de demasiadas unidades.

FUNDAS PLASTICAS:

Las últimas fundas creadas para el uso en la industria cárnica son las plásticas. Existen a nivel mundial varias fábricas que producen éstas y en cada una de ellas, las características varían enormemente, así como las materias primas utilizadas.

Las fundas plásticas se dividen en 2 grandes grupos con 2 subgrupos, cada uno de acuerdo con el número de capas plásticas que la conformen. Así, se obtienen fundas plásticas con una sola capa de plástico (cualquiera que éste fuere) o con varias capas (conteniendo uno o varios tipos de plásticos distintos). Así, se habla entonces de fundas plásticas monocapa o multicapa.

El segundo gran grupo es el de las termoencogibles y las no termoencogibles.

Aquí, la diferencia es la capacidad o no que tengan las fundas de disminuir sus medidas longitudinales (ancho y largo) al aplicarse energía en forma de calor (vapor, aire o agua caliente).

No obstante, las anteriores diferencias, los procesos de obtención de cualquiera de las anteriores, pueden generalizarse de la siguiente manera:

Recepción y clasificación de la materia prima

Secado: Cuando las fundas contienen poliamida, se hace necesario un secado de este plástico previo a la extrusión, con el fin de adecuarlo para la misma.

Extrusión: durante esta etapa se transforma la poliamida de pellets (pequeñas esferas o cilindros) en un tubular continuo con el ancho y espesor requeridos. Es también durante la extrusión, que se pigmenta la capa o capas que llevarán el color de la funda. Al final de la extrusión, se expone el material a descargas eléctricas en un proceso conocido como “tratamiento corona”. El fin básico del tratamiento corona es permitir la correcta adhesión de las tintas de impresión al plástico.

Impresión: El tubular obtenido pasa luego a sistemas de impresión continuos que le darán el decorado final. Aunque la flexografía es el método de impresión más común en este tipo de industria, también son usados el rotograbado y el screen, entre otros.

Presentación final

Dependiendo del tipo de máquinas embutidoras que se usarán para llenar las fundas plásticas, éstas se pueden presentar en cortes sencillos o en orugas.

Si la presentación es en cortes, la funda impresa, luego del reposo que debe tener para el correcto proceso de curado de las tintas, pasará a máquinas que harán los cortes cada uno con la longitud deseada.

Si se necesitan orugas, las fundas plásticas generalmente pasan a un proceso de hidratación y lubricación, que las hará aptas para su paso por las máquinas corrugadoras y posteriormente por las embutidoras.

El corrugado consiste en presentar una determinada longitud de funda en orugas compactas de poca longitud. Durante este proceso se aplican a la funda aceites lubricantes, fungicidas y bactericidas para mejorar su desempeño futuro. Los últimos, se aplican con el fin de evitar el crecimiento y proliferación de microorganismos durante el almacenamiento de orugas húmedas, que es como salen de este proceso de corrugado.

Uso de las fundas plásticas

Cada fabricante entregará a los usuarios finales de las fundas, las condiciones óptimas de manejo de las mismas.

Sin embargo, es frecuente encontrar que deben ser hidratadas, sobreembutidas y enfriadas bajo estrictas condiciones, de tal forma que la presentación final del embutido sea la correcta y esperada.

Almacenamiento:

- C Almacenar sobre estibas y separado de pisos y paredes.
- C En lugares frescos y alejados del polvo.
- C Las cajas deben permanecer cerradas.
- C Guardar en el empaque (bolsa y caja) original las orugas que no se utilizarán (cuando aún no hayan sido hidratadas en la planta de embutidos).
- C Refrigerar, preferiblemente no más de un día, las orugas ya hidratadas en la planta y que no se usaron en el proceso.

Solución a los problemas más comunes:

1. Arrugamiento:
 - C Mala hidratación
 - C Diámetro de embutido equivocado
 - C Referencia de funda plástica mal elegida
 - C Diferencia de presión atmosférica entre el sitio de fabricación y el de venta.
 - C Frío excesivo en cavas o en transporte
 - C Clipeado muy flojo
 - C Exceso de temperatura en cocción.
2. Reventamiento:
 - C Referencia de funda mal elegida
 - C Sobreembutido
 - C Frenos y boquillas defectuosas
 - C Clips demasiado apretados
 - C Superficies defectuosas.

Ventajas:

- C Procesos sin mermas de peso
- C Bajo costo de la funda

- C Fabricación local (en Colombia)
- C El plástico es un buen sustrato de impresión
- C Vida de anaquel más larga
- C Posibilidad de esterilización
- C Menos riesgos de roturas por errores de cocción
- C Excelente resistencia técnica y mecánica
- C Variedad de colores, anchos y presentaciones.

Desventajas:

- C No permite el uso de humo natural
- C No permite el secado natural de los productos

PRINCIPIOS CIENTIFICOS DEL EMPAQUE CON ATMOSFERAS MODIFICADAS

INTRODUCCION

El control del daño de los alimentos, ha retado el ingenio de los humanos desde tiempos antiguos. Concentrar y secar alimentos por métodos naturales y artificiales, eran el común de este tipo de técnicas.

La fermentación también se volvió popular basándose en el principio de anaerobiosis para producir sustancias inhibitorias que por último preservaban el alimento.

En el mundo moderno, la refrigeración y la congelación se tornaron en técnicas de primera mano en la extensión de la vida de almacenamiento de alimentos. Bajo refrigeración, la rata de crecimiento de microorganismos y su respiración, se ven notablemente reducidas. Sin embargo, la refrigeración tiene un efecto selectivo en los microorganismos. Pasando por todas las temperaturas posibles de almacenamiento hasta las más bajas, parte del agua del alimento permanece líquida, favoreciendo el crecimiento de microorganismos. Decrecimientos lineales de la temperatura, producirán decrecimientos geométricos en las reacciones y en el crecimiento bacteriano. El almacenamiento bajo congelación elimina el crecimiento bacteriano, reduce la rata de oxidación química, tiene efectos variables sobre la textura dependiendo del tipo de alimento pero tiene la desventaja de ser energéticamente muy costos.

Para muchos el advenimiento de las atmósferas modificadas (m.a.) provee alimentos que son “frescos”, entendiendo con esto “nunca congelados”. Esto es visto como ventajoso por los productores porque reduce costos si se compara con el almacenamiento congelado, evita los problemas de cambio de textura y extiende la vida de anaquel protegiendo el alimento del daño bacteriano.

El factor clave en el almacenamiento bajo M.A. es la atmósfera de gas y primariamente su concentración de dióxido de carbono.

Cuando los tejidos de plantas y animales respiran, toman oxígeno y descargan dióxido de carbono. Algunos microorganismos hacen lo mismo. Por las leyes químicas de la acción de masas, incrementar el dióxido de carbono o reducir el oxígeno, causa reducciones en la rata de respiración de los tejidos. El decrecimiento en la respiración reduce la energía disponible para los cambios bioquímicos que ocurren por ejemplo en frutas y vegetales.

Esto resulta en ratas más lentas de maduración y prolonga por ejemplo la etapa de premaduración de vegetales. Las bacterias se adaptan más fácilmente a estos cambios que las plantas. En la medida que la concentración de CO₂ se incrementa, muchas bacterias aerobias se inhiben, pero como siempre las anaerobias o anaerobias facultativas pueden crecer y dominar la población bacteriana.

La tecnología incluye el conocimiento necesario para poder contener el gas en el empaque.

El desarrollo por su parte, de los plásticos resultó en el término “empaques activos” que describe la relación entre la atmósfera en cuestión y el material de empaque.

El empaque con atmósfera modificada M.A.P., generalmente, se refiere a empaques donde el aire es removido (empaque al vacío) o removido y reemplazado con otro gas específico. El MAP se puede lograr también con “gas flushing” (barrido con gas).

Algunos empaques son permeables a los gases, otros impermeables. El MAP no depende en su totalidad de esta transmisión o no de gases. Depende también de factores como temperatura, humedad, presión, tiempo.

La temperatura es un factor clave en este tipo de técnicas, entre más baja sea ella, más bajas son las ratas de respiración y reacción.

LOS GASES

El efecto inhibitorio del CO₂ en el crecimiento y metabolismo de los microorganismos ha sido muy estudiado. Esto puede ser explotado en la conservación de alimentos refrigerados. El CO₂ se hidrata y disocia en el agua. La mayoría de los sistemas alimenticios se ven envueltos en el siguiente equilibrio, dados valores de pH menores a 8.



La cantidad de CO₂ en solución, depende de la presión parcial del CO₂ (PCO₂) en la fase gaseosa, de la temperatura y el pH. En la medida que la temperatura disminuye, la solubilidad del CO₂ aumenta. En la medida que el pH se incrementa por encima de 8.0, se forman iones carbonato, así que el equilibrio mostrado en la ecuación mencionada

arriba, se mueve hacia la derecha.

Las propiedades antimicrobianas del CO_2 son bien conocidas y han sido usadas para la preservación de diferentes alimentos que incluyen carne, pescado y vegetales. En carnes y pescados, el efecto antimicrobial es directo, mientras que en vegetales, otros factores además del crecimiento de microorganismos también se ven envueltos. Sin embargo, a pesar del conocimiento práctico sobre el efecto inhibitorio del CO_2 en el crecimiento de microorganismos, los mecanismos de esa inhibición no están claros.

De todas formas el CO_2 tiene varios mecanismos con los cuales actúa en contra de los microorganismos:

- C Actuación sobre la membrana celular.
- C Inhibición de los procesos metabólicos.
- C Interrupción de la actividad enzimática.

El CO_2 reacciona con las proteínas, afectando la rata y extensión de la solución en agua. Durante el almacenamiento de alimentos protéicos en atmósferas que contienen CO_2 , la acción antimicrobial se logra por la solubilización y absorción del CO_2 , su penetración en la membrana celular y reducción del pH intracelular. El pH cambia inducido por el CO_2 a medias y altas presiones parciales que son suficientes para interrumpir las funciones enzimáticas.

En contraste, los otros gases, a excepción del etileno, son inertes.

El nitrógeno ha sido estudiado por su efecto antimicrobial por anoxia sobre microorganismos, de manera similar que el CO_2 . El N_2 es un gas inerte que provee un efecto similar al del empaque al vacío. Un barrido con N_2 remueve el O_2 residual pero también reduce el CO_2 . En general, el N_2 no tiene aplicaciones más importantes que simple gas de relleno.

No obstante, el amplio uso actual de los sistemas MAP, aún hay mucho espacio para el estudio científico. Lamentablemente, muy a menudo, estos sistemas son ofrecidos y vendidos por personal de ventas no técnico, presentándose esto para complicaciones y altos riesgos para la salud pública. Hay una necesidad urgente de integrar los sistemas de gas con los de empaque, basados en estudios científicos sólidos.

CONSIDERACIONES TECNOLOGICAS PARA EL EMPAQUE CON ATMOSFERAS MODIFICADAS.

Hay varios elementos básicos que deben ser considerados para un efecto óptimo del MAP:

- el estado microbiológico inicial del alimento, el control de temperatura, la mezcla de gases, el film de barrera, el equipo de empaque. Los efectos de la carga inicial de microorganismos y de la atmósfera en la vida de anaquel ya fueron discutidos. La atención de concentrarse por lo tanto en el sistema de empaque.

Materiales de empaque

Cuando un alimento, para suprimir cambios microbiológicos, físicos y químicos, se empaqueta con una atmósfera distinta al aire, es necesario considerar lo siguiente:

La naturaleza del producto

De acuerdo con la naturaleza del alimento a empaquetar, se elige el empaque. El comportamiento de los diferentes grupos alimenticios es variable, y se esperan comportamientos distintos bajo atmósferas distintas tal y como se explicó anteriormente. Se requerirán entonces permeabilidades distintas en los empaques dependiendo del alimento.

Disposición de productos metabólicos

Los diferentes alimentos entregan al ambiente diferentes productos metabólicos que deben o no permanecer dentro del empaque. Este debe entonces permitir el intercambio con el ambiente.

Permeabilidad del material de empaque

Dentro de los diferentes materiales de empaque se debe pensar en las siguientes opciones:

- C Contenedores metálicos.
- C Vidrio.
- C Papeles rígidos y semirrígidos.
- C Plásticos rígidos, semirrígidos y flexibles.

LO ESPERADO DEL MATERIAL DE EMPAQUE

Modificación de la atmósfera

El empaque debe ser parte activa del sistema, bien sea sosteniendo una atmósfera inmodificada en su interior o permitiendo un intercambio activo con el medio ambiente.

Barrido con gases.

Debe soportar y permitir el barrido con gases, incluido el vapor de agua.

Modificadores de la atmósfera

Algunos deberán contener sistemas de absorción de oxígeno como los “scavengers” de Mitsubishi o Multi-form.

Análisis del gas dentro del paquete

Dependiendo de la seguridad que exija la cadena de ventas, el empaque debe poderse analizar en su contenido de gases y así garantizar la presencia o no de algunos de ellos.

Maquinaria de empaque continuo con películas flexibles o con envases rígidos y semirrígidos.

El material de empaque debe permitir ser usado, cuando sea el caso, en este tipo de equipos.

Máquinas empacadoras de cámara para materiales rígidos, semirrígidos y flexible

El material de empaque debe permitir ser usado, cuando sea el caso, en este tipo de equipos.

EL EMPAQUE DE ALIMENTOS BAJO CONDICIONES DE ATMÓSFERA MODIFICADA

Las atmósferas modificadas se vienen usando para la conservación de los alimentos hace ya varias décadas pero especialmente desde los años 60. Diferentes técnicas se han desarrollado y cada vez mas se encuentran nuevas aplicaciones para este método de conservación.

Quizás el sistema de empaque con atmósfera modificada mas conocido es el empaque al “vacío”. Su uso está tan generalizado en la industria de los alimentos que se considera un método distinto y casi nunca está relacionado con las atmósferas modificadas.

Empacar bajo atmósferas modificadas consiste básicamente en modificar o eliminar en parte (empaque al vacío) la atmósfera natural que rodea al alimento que generalmente es el aire, buscando principalmente alargar la vida de anaquel del alimento y en segundo lugar mejorar una o varias características organolépticas del mismo.

EL AIRE

El aire es a condiciones normales un gas. Mas específicamente una mezcla de ellos. Normalmente la composición del aire no varía mayormente de un punto a otro de la biosfera terrestre y solo en la medida que se aleja de ella, vemos como el oxígeno molecular presente en el va disminuyendo.

El aire entonces tiene una composición aproximada a la siguiente:

C	Nitrógeno molecular (N ₂):	78.09 %
C	Oxígeno molecular (O ₂):	20.94 %
C	Argón:	0.93 %
C	Dióxido de Carbono:	0.003 %*
C	Otros gases:	0.037%

* El CO₂ por sus características y bajo porcentaje de participación es considerado por algunos autores mas un contaminante del aire que parte de él. Este porcentaje varía, entre otras razones por la contaminación ambiental en algunos lugares del planeta.

Este equilibrio de composición del aire es tan delicado que por ejemplo porcentajes de

Oxígeno molecular por debajo del 20% hacen muy difícil la supervivencia del hombre.

EL NITROGENO

Símbolo químico: N

Peso específico: 0.996

Peso molecular: 28.0134 gr

Es químicamente inerte: No se conocen reacciones químicas donde el Nitrógeno participe como reactivo.

Su bajísima temperatura de ebullición (-195 C) y el hecho de ser inerte, lo hacen un gas preferencial para los procesos de ultra-congelación por adición directa de refrigerantes.

No es tóxico. Puede causar anaerobiosis o riesgos de anoxia si su presencia impide la del Oxígeno. En esta caso el problema está causado mas por la ausencia del segundo que por la presencia del primero.

Su obtención es simple y su costo bajo.

El Nitrógeno es un gas principal cuando se quieren aplicar atmósferas modificadas. En primer lugar por ser inerte no favorece ninguna de las reacciones químicas de descomposición que se conocen en los alimentos. A lo sumo, si su presencia es del 100% en la atmósfera reemplazada, causará anaerobiosis favoreciendo a los microorganismos que necesitan esta condición. Su presencia dentro del empaque garantizará ciertas condiciones de presión que harán mas difícil la entrada de otros gases al empaque. En muchos casos la atmósfera que se inyecta a cierto tipo de alimentos consiste solo de Nitrógeno y Dióxido de Carbono. Este último se solubiliza en el alimento de no existir Nitrógeno dentro del empaque, este se colapsaría ante la ausencia de otro gas que tome el espacio físico que deja el que se solubilizó.

Por su bajo costo el Nitrógeno reduce el costo de las mezclas. Se conoce al Nitrógeno en la industria de los alimentos como un gas de “relleno”.

EL OXIGENO:

Símbolo químico: O

Peso específico: 1.105

Peso molecular: 32 gr

Temperatura de ebullición: - 183 C

El oxígeno es uno de los elementos mas importantes de la naturaleza. Sin él en el aire no existiría vida sobre el planeta, al menos no como la conocemos.

El oxígeno es un oxidante fuerte y participa de muchas reacciones de combustión entre ellas una fundamental: la respiración. Sin el oxígeno presente los únicos seres que pueden sobrevivir son los microorganismos anaerobios. En el caso de los embutidos, muchos de los microorganismos de los que se deben proteger estos productos son aerobios, de ahí que el empaque al vacío encuentre gran aplicación en este sector de la industria de los alimentos.

El oxígeno también favorece las reacciones de fermentación. Su presencia permite la respiración normal de los vegetales y lograr empacarlos sin su presencia para alargarles su vida de anaquel, es una de las aplicaciones con mas futuro en la industria alimentaria.

EL DIOXIDO DE CARBONO

Dada su elevada reactividad química se convierte en uno de los gases mas estudiados para el empaque con atmósferas modificadas (MAP).

El CO₂ hace parte de casi todas las mezclas de gases diferentes al aire que se preparan para el empacado de los alimentos.

MATERIALES DE EMPAQUE

Se pueden crear sistemas de empacado con atmósfera modificada con materiales tan diversos como papel, hojalata, vidrio y plásticos, pero sin lugar a dudas el sector de los empaques que mas se ha especializado en estas técnicas es el plástico.

Sin importar el tipo de material que se utilice, hay varias condiciones que el empaque a ser usado con sistemas MAP debe tener:

- C Cerrado o sellado hermético. Se deben poder evaluar correctamente los sellados y cierres.
- C Permeabilidad conocida. Dependiendo del alimento, el material de empaque y el gas empacado se necesitan desde altas a bajas barreras a los diferentes gases u sustancias.
- C Compatibilidad con los sistemas de evacuación/inyección de gases.
- C Facilidad para la comprobación de la nueva atmósfera.
- C Conocimiento claro de los espesores de material a utilizar ya que estos afectan directamente la permeabilidad.

ALGUNAS CONSIDERACIONES IMPORTANTES

El uso de atmósferas modificadas no es en principio tecnológicamente complicado, pero existen una serie de condiciones que deben estudiarse y conocerse para que la técnica de empacado funcione correctamente, cumpla con los objetivos propuestos cuando se implementó y sobre todo, para que no implique riesgos de ningún tipo ni para el fabricante ni para el consumidor final.

Presión atmosférica

Conocer las presiones atmosféricas del sitio de proceso, del sitio de venta e incluso de los diferentes lugares donde estará el producto antes de llegar al sitio de venta y consumo es muy importante., ya que la técnica se basa en el uso de gases dentro del empaque y estos son extremadamente sensibles a los cambios de presión. Principalemente su volumen se afecta al afectarse la presión en una forma proporcional (a mas presión, menos volumen).

Ejemplo: Una fábrica de embutidos empaca al vacío sus productos y lo hace con una eficiencia de máquina del 94% (se extrae el 94% del aire presente en el paquete). La fábrica queda a 2600 m.s.n.m.m. (metros sobre el nivel medio del mar que es aproximadamente la altura de Quito y Bogotá), supóngase que estos son sensibles a la presión (morcillas por ejemplo). Este fabricante envía sus productos a Lima que está a prácticamente 0 m.s.n.m.m. Se tiene entonces una diferencia de presión de unos 200 mmHg (milímetros de mercurio), que equivalen a unos 3.9 PSI o 2719 Kgf/m². Si por ejemplo se calcula que una morcilla tenga un área superficial de 20 cm² (esto es una morcilla de 10 cm de larga y diámetro de embutido 2 cm), esto indica que el producto estará soportando 5 Kgf mas sobre sí. Es probable que el embutido se aplaste, pierda su forma redonda o se malogre totalmente.

Ejemplo: Supóngase una situación donde se empaca cualquier producto en una bolsa a la que se le inyecta un gas determinado. El proceso se hace a nivel del mar y el gas se inyecta a la misma presión atmosférica. El producto ahora se lleva a 2600 m.s.n.m.m. Que pasará ? El paquete se “expandirá” por la disminución de la presión atmosférica en el lugar de venta y la alta presión del gas al interior del paquete. Podría hasta “explotar” si el material de empaque no es resistente.

Recuérdese entonces que la diferencia de presión dentro de un paquete y su atmósfera circundante (Pv) se puede expresar así:

$$P_v = P_i - P_{atm}$$

Donde:

Pv es la diferencia de presión.

Pi es la presión dentro del paquete.

Patm es la presión atmosférica en el sitio del cálculo.

Temperatura: El control de temperatura durante el proceso afectará a los gases que se inyectan, en especial su volumen. Además la temperatura afecta directamente la solubilidad del CO₂ en el agua y este es un factor de marcada importancia.

Por otro lado las bajas temperaturas en las zonas de empaque son siempre una exigencia para cumplir con las buenas prácticas de manejo y la seguridad microbiológica del producto final.

EMPAQUES FLEXIBLES PARA ESTERILIZACIÓN

Es una verdad conocida que el aumento de las familias con dos integrantes, los profesionales que viven solos y la congestión y dificultades que implica el desplazamiento entre el hogar y los sitios de trabajo, exigen un cambio drástico en la forma como se presentan los alimentos a estos nuevos consumidores.

Cada vez se dedica menos tiempo a estar en los supermercados y todavía menos tiempo dedican las personas de hoy a la cocina.

Esto sin embargo no indica que los consumidores prefieran comidas mas simples y con menos “gusto”, a l contrario, la tendencia mundial es a buscar comidas listas y rápidas de preparar para su consumo. Los fabricantes de alimentos tienen hoy como reto llevar el alimento cada vez mas elaborado a la mesa del consumidor, de tal forma que los procesos que este deba llevar a cabo para preparar su consumo sean mínimos.

En esta nueva era los empaques juegan un papel importante porque ya no deben contener o ayudar a alargar la vida de anaquel de alimentos simples y con características muy definidas, hoy en cambio las mezclas de diferentes grupos alimenticios obligan a que el empaque sea mas complejo y su correcta elección es primordial.

Para lograr llevar a los consumidores estos nuevos productos hay muchos procesos que pueden ayudar a hacerlo de la forma mas segura posible. Ayudados de la refrigeración, congelación y pasteurización los fabricantes de estos nuevos productos, le pueden garantizar al consumidor un producto seguro microbiológicamente hablando y con las características organolépticas que este espera encontrar.

Nuevas técnicas como ultracongelación, liofilización, esterilización y irradiación entre otras, también han entrado a participar de este nuevo mercado.

Si miramos un poco a los países latinoamericanos encontramos limitaciones económicas y científicas que impiden hacer uso generalizado de algunas de las últimas técnicas mencionadas. Incluso se sabe que uno de los grandes problemas para la comercialización de alimentos es la falta de refrigeración adecuada durante toda la cadena de distribución, venta y consumo.

La esterilización surge entonces como un método relativamente económico y fácil de implementar que puede ayudar a los fabricantes de alimentos, no solo a ofrecer nuevas alternativas de alimentación a los consumidores, sino incluso ampliar su área de mercado al no necesitar, por ejemplo, frío en su cadena de distribución. Obtiene incluso ventajas adicionales muy importantes como el hecho de que puede garantizar un alimento mas seguro, no solo para el que lo consume, sino incluso para él que se libera de la posibilidad de alimentos con riesgo microbiológico en el mercado. Por último pero

no menos importante, es el hecho de que se agrega valor al producto obteniéndose ventajas competitivas a nivel de mercadeo y ventas.

LA ESTERILIZACIÓN COMERCIAL

Es uno de los métodos de conservación de alimentos mas antiguo que existe, incluso se dice que la invención de este método dio nacimiento a la Ingeniería de los alimentos.

Es un método que se basa en la característica que tienen los microorganismos presentes en los alimentos, y a la postre causantes de su descomposición, de poder ser destruídos o mínimamente inactivados cuando reciben energía en forma de calor. Esta energía altera su metabolismo o su integridad. Se pueden entonces indicar temperaturas que lograrán esterilidad “comercial” en casi todos los alimentos conocidos. Haciendo uso de diferentes tiempos de exposición e incluso de diferentes presiones durante esa exposición al calor se completa el cuadro Tiempo-Temperatura-Presión que los productores de alimentos usarán para lograr el objetivo deseado: la esterilidad comercial.

La esterilidad comercial a diferencia de la esterilidad así conocida es simple, mientras que la primera acepta algunos recuentos microbiológicos menores de bacterias que no supongan riesgo durante un tiempo establecido (generalmente un año) para el alimento o el consumidor, la segunda garantiza la ausencia total de microorganismos en el alimento. Obtener la segunda condición es mas que posible pero la aplicación de calor al alimento será tan alta y prolongada que sus características organolépticas variarán al punto de hacer del alimento obtenido algo totalmente distinto a lo buscado. Esto sin mencionar que muy pocos por no decir ningún factor nutricional quedaría en él.

Los empaques

La esterilización comercial se ha centrado en el uso del vidrio y la hojalata como los materiales de empaque casi únicos para este proceso. Los plásticos durante toda su existencia no pudieron garantizar que pudieran soportar las altas temperaturas y presiones que suponía este método de conservación. Apenas hace unos años se empezaron a probar los primeros termoplásticos que pueden usarse para este tipo de proceso, y aún ahora la industria de los empaques y de los alimentos se encuentra en una fase bastante inicial de sus investigaciones.

La esterilización de alimentos en empaques y envases plásticos es ya un realidad y una técnica lo suficientemente segura, que debe ser tenida en cuenta por los productores de alimentos para poder llegar a los consumidores de la mejor forma posible, con los productos que ellos esperan y exigen en esta nueva era.

Los empaques flexibles para retorta son generalmente estructuras laminadas (con coextrusión se están haciendo pruebas en varias partes del mundo), que son térmicamente estables, se pueden procesar como un envase rígido, son estables en el

anaquel y tienen la ventaja que se pueden usar para productos del tipo “congelado y calentado en la bolsa”.

En 1977, la FDA escribió una regulación para los laminados de “alta temperatura”, especificó los materiales aceptables para la manufactura de las bolsas y dio a conocer los límites máximos de compuestos químicos que estos podían contener. La USDA aceptó esta regulación y limitó, por ejemplo, el llenado de las bolsas a 16 oz. (0.45 Kg.) para productos cárnicos y pollo.

Las bolsas son de una estructura laminada Poliéster (12 μ) / Foil de Aluminio (de 9 a 18 μ) / Polipropileno (76 μ).

Las pruebas que se han hecho eliminando el aluminio han sido para conseguir vidas de anaquel menores a tres meses o para productos que se mantengan refrigerados. Cuando se usan coextrusiones con EVOH o PVdC, es recomendable hacer un barrido previo con Nitrógeno. Incluso es recomendable laminar la estructura coextruida a un poliéster para darle mas resistencia y mejor impresión.

El riesgo de contaminación por perforaciones o rupturas en el aluminio, no afecta la integridad del empaque si no se ven afectados los plásticos que lo recubren. Las resinas usadas deben soportar al menos 135°C.

El ejercito de los Estados Unidos ha publicado los standares de calidad que deben tenerse en cuenta, en especial los parámetros para la inspección visual de los paquetes. Estas reglas indican, por ejemplo, que deben inspeccionarse visualmente el 100% de los paquetes.

Según la FDA el proceso debe ser lo mas parecido a la esterilización en envases de vidrio.

A la fecha estos empaques se han establecido solo en nichos de mercado como las raciones de camping y salmones ahumados.

Sin embargo algunos “commodities” como maíz, arvejas, duraznos y peras (productos que se encuentran frecuentemente en latas No. 10) son candidatos a ser empacados en bolsas flexibles.

De lejos hoy en día el cliente más importante de este tipo de productos es el ejercito con sus raciones de combate y el programa MRE (Meals Ready to Eat).

Los siguientes tipos de alimentos pueden ser empacados en bolsas: Carnes, salsas con o sin sólidos, sopas, frutas y vegetales, ensalada de papa, productos de panadería, comida para mascotas entre otros. Algunas entradas que se usa empacar son:

Albóndigas en salsa de tomate, pollo, res, raviolis, spaghettis, goulash y Stroganoff, entre otras.

No obstante a pesar de que la casi totalidad de este mercado es para raciones individuales, se están haciendo pruebas institucionales.

Para la venta de estos productos se recomienda el uso de cajas plegadizas de cartón.

Se ha comprobado que en este tipo de esterilización, los tiempos de proceso son mas una función de la conductividad del alimento y la forma de la bolsa. Al contrario de la hojalata y el vidrio donde las características térmicas del envase son importantes. Esto permite alcanzar los centros térmicos con mas facilidad y a menos costo con sobrecocciones de los alimentos mínimas reteniéndose así los nutrientes termo sensibles.

Se prefieren las autoclave horizontales antes que verticales aunque ambas se han usado con éxito.

Bajo condiciones adecuadas, las bolsas pueden esterilizarse en esterilizadores de “batch” o continuos, estáticos o agitados. El medio que aporta energía puede ser vapor saturado, mezclas de vapor con agua, o agua con sobrepresión enfriante de aire.

En su orden, por transferencia de calor se recomienda: Vapor, agua y por último las mezclas aire/vapor.

De todos el mas usado es el agua con aire pues permite controlar mejor las expansiones y sobrepresiones a las que se somete el paquete.

Es ventajoso remover todo el aire del espacio de cabeza para prevenir su expansión durante la esterilización y cuando se sumerja en agua caliente previo a su consumo. Para esto se pueden usar varios métodos, desde el mas simple que es hacerlo a mano sólo presionando la bolsa, el llenado a temperaturas mas altas es también útil así como el barrido con vapor y el uso de máquinas empacadoras al vacío.

Para el barrido con vapor se puede usar vapor saturado o vapor sobrecalentado. Es mas usado el vapor sobrecalentado ya que causa menos condensación en el área de sellado evitando desperfectos en el mismo.

El sellado se puede hacer con barras de calor constante o de sellado por impulso. En todo caso es recomendable que ambas barras de sellado provean calor a la bolsa. Se recomienda inclusive hacer doble sellado del paquete antes de la esterilización.

Alimentos con valores de pH bajos (menores a 4.5) no necesitan ser esterilizados y una pasteurización es suficiente (las temperaturas en este caso no deben ser superiores a

100°C. Sin embargo estos productos realmente no han penetrado el mercado como se esperaba.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL USO DE EMPAQUES FLEXIBLES ESTERILIZABLES.

1. La delgada pared de las bolsas provee transferencias de calor más rápidas durante ambas, la preparación y la esterilización.
2. Se logran ahorros en tiempos de proceso de entre el 30 al 40% con los respectivos ahorros energéticos.
3. Con la menor exposición al calor se logran mejoras en el color y sabor de los productos, así como menos pérdida de nutrientes.
4. La preparación de productos que necesiten ser calentados para su consumo se puede lograr con 3 o 5 minutos de inmersión en agua hirviendo, o colocando la bolsa en el horno microondas. No habrá que limpiar ollas en la cocina.
5. La comida puede ser consumida directamente del envase. Es una realidad que los consumidores quieren usar cada vez menos la vajilla y prefieren cada vez mas comer “del” empaque.
6. El volumen de bodega requerido para el almacenamiento de producto terminado casi siempre menor que el de la hojalata o el vidrio.
7. La vida de anaquel no dista mucho de la que se logra con hojalata, máxime si se tiene en cuenta que pocos países tienen regulaciones que permitan mas de un año de vida de anaquel. Para bolsas sin aluminio y en refrigeración o congelación, la vida puede ser de un año.
8. Las bolsas no se corroen externamente como la hojalata, y la interacción producto-envase es casi nula, al contrario que en la hojalata donde estos dos fenómenos si se presentan. Esto es de suma importancia en situaciones climáticas adversas como el trópico.
9. Abrir la bolsa requiere solo rasgarla o en el peor de los casos usar unas tijeras.
10. Es más seguro para la integridad física del consumidor que el vidrio y la hojalata.
11. Se controla mejor la porción ofreciendo mas valor agregado a personas que viven solas.

12. La flexibilidad de producción es una de las grandes ventajas. Pasar de un tamaño de bolsa a otro es muy sencillo mientras que con otros sistemas es muy complicado.

13. Algunos productos como filetes de carne y pollo, se empacan mas “lógicamente” en una bolsa que en un envase cilíndrico debido a su forma.

14. Las bolsas vacías y sus contenedores ocupan menos espacio en bodega además de menor peso. Comparado con latas vacías, un número igual de bolsas usa 85% menos espacio. Por ejemplo mil bolsas de 4.5 x 7 pulgadas pesan 4.09 Kg. aprox mientras que la misma cantidad de envases 211 x 304 pesan 51.14 Kg. Un trailer de 45 pies puede contener 200000 latas mientras que el mismo equipo puede transportar 2.3 millones de bolsas (ambas vacías).

15. Las latas abolladas representan el 49% de las devoluciones de enlatados en Estados Unidos, con la bolsa ese problema se elimina en su totalidad.

16. El ahorro de espacio en los anaqueles es una ventaja para los minoristas. Por ejemplo, un cartón que contenga dos bolsas de 227 gramos cada una, ofrece un ahorro de espacio del 10% comparado con dos latas de 8 onzas cada una. Adicionalmente es más fácil la exhibición.

17. El uso de una caja plegadiza para contener las dos bolsas provee mejor identificación de producto que las latas. Adicionalmente se pueden hacer promociones como adjuntar arroz u otras adiciones que complementen al alimento en la bolsa.

18. El costo de la bolsa mas la caja de cartón estará muy cercano al de la lata.

19. La energía requerida para la construcción de una lata es mayor que la requerida para el otro sistema (bolsa mas caja).

LAS DESVENTAJAS SON:

1. Se debe hacer una inversión de capital alta para comprar los equipos llenadores y formadores de bolsas, así como las modificaciones a la autoclave que sean necesarias.

2. El llenado es mas lento y complejo. Las líneas llenadoras actuales de bolsas pueden llenar de 30 a 60 bolsas por minuto comparado con las 400 de los enlatados y comidas congeladas y las 1200 de los envases de vidrio.

3. El proceso térmico es más complejo y debe ser establecido para cada producto en el tamaño particular de la bolsa y su porción.

4. Hay limitaciones en el tamaño que puede ser razonablemente manejado y procesado.

5. Se requiere un sistema de sobreempacado como cajas plegadizas de cartón.
6. Detectar las fugas es más difícil que en los envase rígidos.
7. Las bolsas se pueden perforar mas fácilmente. Creándose un riesgo para la seguridad del producto.
8. Los estudios de mercadeo indican una aceptación positiva de estas bolsas, sin embargo gastos altos en publicidad deberán hacerse para educar al minorista y al consumidor, sea doméstico o institucional.

PERMEABILIDAD DE LOS MATERIALES PLASTICOS DE EMPAQUE

Los plásticos que se conocen para empacar alimentos tienen una estructura química bastante compleja. Constan de inmensas cadenas moleculares que pueden ser tan sencillas o complejas en su interior dependiendo del material que se estudie.

Los enlaces químicos que forman los plásticos muestran una estructura molecular y atómica abierta con espacios vacíos entre ellos. Además se forman con ellos películas de muy bajo espesor. Todo lo anterior indica que existen enormes posibilidades para que una sustancia química atraviese la película plástica. Se habla entonces de permeabilidad.

Antes de seguir adelante es muy importante establecer la diferencia entre los términos barrera y permeabilidad:

- C Barrera se refiere en forma cualitativa al impedimento que en mayor o menor cuantía ofrece un plástico a ser atravesado por alguna sustancia. Así se puede decir que el Polietileno de baja densidad (LDPE) ofrece una alta barrera al vapor de agua, y lo que se quiere decir es que este material ofrece un impedimento alto a que el vapor de agua se mueva a través de su estructura molecular. Generalmente cuando se usan los términos alta, media o baja barrera es conveniente comparar el material con otro. Por ejemplo el mismo LDPE tiene una barrera muy alta al vapor de agua, si se compara con la del Etil Vinil Alcohol (EVOH) que tiene una barrera muy baja al mismo vapor.
- C Permeabilidad se refiere en forma cuantitativa a la cantidad de alguna sustancia que puede atravesar una película plástica dadas unas condiciones de espesor de película, área de película, temperatura, presión atmosférica, humedad relativa y tiempo como mínimo.

Diversas sustancias como el aire (o alguno de sus gases componentes), las grasas, el vapor de agua, aromáticos, colorantes, por solo mencionar los más importantes, pueden atravesar las paredes de los plásticos que se conocen, en mayor o menor cantidad dependiendo del plástico, con consecuencias muy variadas para el alimento que se encuentra en su interior.

El paso de estas sustancias a través de la película plástica se da por diferentes “espacios” en su estructura que así lo permiten. Estos espacios en su orden de más amplios a menos amplios son:

- C Microperforaciones y defectos de fabricación.
- C Espacios entre cadenas de polímeros.
- C Espacios intermoleculares.
- C Espacios interatómicos.

C Espacios intra-atómicos

Cada uno de ellos permite el paso en mayor o menor cantidad de las sustancias mencionadas.

Para poder comprender estos fenómenos es necesario mencionar algunos conceptos fisicoquímicos de importancia. El estudio del transporte de masas y el movimiento de partículas adquiere singular importancia para el estudio de la permeabilidad.

ALGUNOS CONCEPTOS BÁSICOS DEL MOVIMIENTO Y TRANSPORTE DE MASAS

1. La unión entre átomos y moléculas de un polímero se da por la actuación de varias fuerzas de unión a saber:

- C Enlaces electrónicos fuertes.
- C Enlaces electrónicos débiles.
- C Fuerzas de Van der Waahls.
- C Puentes de Hidrógeno.

2. Como en casi todos los fenómenos de movimiento de masas en la naturaleza, para que una sustancia atravesase o se mueva en cualquier dirección a través de otra deben existir al menos una de las siguientes condiciones:

- C Una diferencia de concentración de la sustancia en movimiento entre los lados en los que se da dicho movimiento.
- C Una fuerza que obligue a la sustancia a moverse. Por ejemplo diferencias grandes de presión entre los dos puntos en los que se da el movimiento.

3. La afinidad química entre la sustancia que se mueve y en la que se da el movimiento es un importante acelerador del movimiento. En algunos casos la afinidad química depende de la afinidad eléctrica de ambas sustancias y existen sustancias eléctricamente polares y apolares. Por último se anota que la disolución de una sustancia en otra se da cuando ambas son polares o ambas son apolares.

4. De las diversas formas como una sustancia se puede mover a través de otra están:

- C Disolución (Solubilidad) entre ellas.
- C Capilaridad.*
- C Simple migración o movimiento molecular.*

* Las llamaremos: DIFUSIVIDAD.

Entonces:

Permeabilidad = Difusividad x Solubilidad

$$P = D \times S$$

5. Cuando se estudian diferentes fenómenos químicos y físicos generalmente estos estudios se dividen entre antes del estado estacionario y luego de él.

C Estado no estacionario: las condiciones que se están presentando en el estudio o en las mediciones varían y generalmente no se pueden predecir.

C Estado estacionario: Se presentan mediciones iguales continuadas en el tiempo y no se espera que cambien en él si las condiciones del ensayo permanecen constantes.

6. Los resultados que arrojarán los estudios de permeabilidad serán distintos si se hacen antes o después del estado estacionario. Generalmente se hacen conjuntos de tal forma que se pueda apreciar en que momento del tiempo se cambia de estado y de esa forma obtener el punto de equilibrio.

7. Los movimientos de masas tienen un manejo matemático similar al manejo que se le da al movimiento de energía eléctrica o calórica.

8. El movimiento de sustancias a través de otras es independiente del número de sustancias que se estén moviendo, a menos que exista entre ellas alguna reacción química que las transforme haciendo más difícil su movimiento. Así un plástico puede tener una permeabilidad mayor al CO_2 que al O_2 .

9. El peso molecular de la sustancia que se mueve es importante. A mayor peso molecular más fácil será que se mueva. El peso molecular no es indicativo del tamaño de la molécula como tal.

10. La composición cristalina de las películas plásticas afecta de manera importante la permeabilidad de las mismas. De acuerdo a la estructura química y sus métodos de fabricación, los plásticos pueden ser cristalinos, semicristalinos o no serlo. Una estructura cristalina será más difícil de atravesar por alguna sustancia que si no lo fuera.

11. Las diferentes condiciones atmosféricas afectan el movimiento referido bien sea afectando a la sustancia que se mueve, a la que es atravesada o a la reacción entre ellas si la hubiere. Así:

Temperatura: Tiene varios efectos importantes. Al aumentar la temperatura cualquier reacción que se esté dando entre las sustancias (que de ahora en adelante serán llamadas Permeante a la sustancia que se mueve y película plástica a la otra) se acelera. Además las moléculas de la película plástica se dilatan y absolutamente todos los espacios se agrandan. Ocurrido esto se debilitan las fuerzas que mantienen unidos polímeros,

moléculas y átomos, intensificándose el anterior efecto. La temperatura al incrementarse, incrementa la solubilidad y la difusividad que se pueda estar presentando. A mayor temperatura, mayor permeabilidad.

Presión: La diferencia de presiones entre la parte de adentro y la parte de afuera de un empaque es una causal de movimiento del permeante a través de la película plástica. Esto sucede de manera importante cuando se empaqueta al vacío o con inyección de gases, y de manera menos evidente cuando los anteriores métodos de empaque no son utilizados. A mayor diferencia de presión atmosférica, mayor permeabilidad.

Humedad Relativa del ambiente: Tiene efectos importantes sobre la permeabilidad. A mayor humedad relativa hay mayor permeabilidad. Hay materiales plásticos que son polares, como las poliamidas. El agua es un compuesto polar. Al aumentar la presencia de agua en la película plástica (aumento de la humedad relativa) se pueden presentar fenómenos en la película como ruptura de los puentes de Hidrógeno presentes en ella, dañándose parcialmente la estructura molecular y haciendo más grandes los espacios por los cuales los permeantes pueden atravesar. De esta forma se deduciría que una poliamida, si es polar debería tener una mala o al menos regular barrera al vapor de agua, lo que en efecto es verdad si la poliamida no es amorfa.

Area: Su importancia es sencilla. A más área de película plástica, más permeantes podrán atravesarla.

Espesor de la película plástica: Entre más gruesa sea la película plástica más se demorará el sistema película-permeante en alcanzar el estado estacionario.

Tiempo: En la medida que pase el tiempo más permeante se moverá a través de la película con la única limitante de la cantidad de permeante.

APLICACIÓN PRÁCTICA DE LOS ANTERIORES CONCEPTOS

La permeabilidad de los plásticos se calcula con equipos especialmente diseñados para el fin. Estos equipos aunque con un principio científico sencillo, son bastante costosos y no es frecuente ver empresas o laboratorios que cuenten con ellos. Además como lo que se quiere es evaluar la permeabilidad de los materiales a través del tiempo y estos equipos solo pueden medir un material a la vez, son muy pocas las mediciones que se pueden hacer. Por último está comprobado que los resultados de un equipo de estos son generalmente muy difíciles de reproducir en otro de similares características.

Es por lo anterior que las tablas de barrera (Tabla 1) se usan generalmente como fuente de consulta comparativa. Es decir que son muy útiles para comparar la permeabilidad de un material con otro. En este tipo de aplicación las tablas son muy fiables. Sin embargo se debe ser muy precavidos a la hora de confiar en los resultados que exponen

ya que se encuentran grandes y fundamentales diferencias entre ellas.

Muchos plásticos por si solos no cumplen con todas las características que un alimento en especial puede requerir como su empaque, por lo que combinan plásticos con procesos como la laminación y la coextrusión entre otros.

Surge entonces la pregunta: Cómo se calcula la permeabilidad total de este nuevo material?

El transporte de masas en este caso, se comporta como el transporte de energía calórica o eléctrica. Si se considera dentro de este mismo marco que los plásticos se comportan como resistencias al paso de los permeantes (de igual forma como se comportarían materiales aislantes al paso de la energía calórica o resistencias eléctricas al paso de este tipo de energía).

Por estar las películas de los diferentes plásticos unidas “paralelamente” se comportan como resistencias en paralelo.

Así, se puede decir que el inverso de la permeabilidad total de la nueva estructura será igual a la suma inversa de las permeabilidades de los materiales que la componen.

$$\frac{1}{P_t} \% \frac{1}{P_1} \% \frac{1}{P_2} \% \frac{1}{P_3} \% \dots \% \frac{1}{P_n}$$

Dada la complejidad y cantidad de variables que intervienen en este fenómeno de permeabilidad, se ha asumido por muchos investigadores, por facilidad matemática, considerar que las variables atmosféricas y del material mencionado afectan la permeabilidad de manera proporcional, bien sea directa o indirectamente.

Se puede entonces decir que el aumento de la permeabilidad causado por un aumento de presión atmosférica es directamente proporcional o que la disminución de la permeabilidad por el aumento del espesor* es indirectamente proporcional.

* Se considera que la permeabilidad se comporta indirectamente proporcional al grosor de la película plástica solo hasta que se alcanza el estado estacionario. Una vez llegado a este el grosor del material no es una variable que afecte el fenómeno de permeabilidad (Gráfica 1).

Por ejemplo si un material tiene una permeabilidad al CO₂ de 35 cc (condiciones estándar) y una permeabilidad al O₂ de 30 cc (condiciones estándar), la permeabilidad del material a una mezcla de O₂ con CO₂ es de 65 cc (condiciones estándar)

Es muy importante resaltar que un dato de permeabilidad carece de total valor si no menciona bajo que condiciones atmosféricas y que características tiene el plástico evaluado. Es común encontrar datos de permeabilidad bajo “condiciones estandar”. Las condiciones “estandar” son:

- C Centímetros cúbicos si se habla de gases distintos al vapor de agua y gramos para el vapor de agua y otras sustancias.
- C El espesor de la película será 1 milésima de pulgada (25.4 micras)
- C El área puede estar en metros o pulgadas cuadradas, haciéndose la aclaración.
- C La temperatura son 25 grados Celsius.
- C La presión atmosférica será 1 atmósfera (760 mmHg) que equivalen a la presión al nivel del mar.
- C La humedad relativa será del 0% o del 100% (algunos laboratorios usan el 90%). El 0% cuando se evalúa permeabilidad al vapor de agua y el 100% cuando se evalúan otras sustancias permeantes. Se debe aclarar.
- C El tiempo es de un día (24 horas).

Calcular correctamente el área de plástico que tiene cada empaque es algo que la mayoría de los fabricantes de alimentos olvida y es muy frecuente encontrar empaques sobredimensionados. Dejando aparte el hecho de que entre mas material de empaque se gaste más costosa resultará cada unidad y más contaminante será al medio ambiente, se ve ahora la importancia de este dato para la vida de anaquel del producto.

A más área de material de empaque mas sustancias permearan a través de él.

Ejemplo: Unas salchichas se empaacan en una bolsa de 18 cm x 25 cm. El área total de plástico utilizado es de 900 cm² (Debe tenerse en cuenta que la bolsa tiene dos caras). Si ese mismo producto cupiera en una bolsa de 18 x 22 cm (solo 3 cm menos de largo), se tendría un área de plástico de 792 cm².

Si lo que se pretende es evitar la entrada de O₂ al paquete y si se supone que la permeabilidad del material es para las condiciones iniciales de 3 cc de oxígeno, esta reducción de área (12%) reduce la entrada de Oxígeno igualmente en un 12%. Que tal decir que se tiene un 12% mas de vida de anaquel por el simple hecho de reducir el tamaño del empaque?

De igual forma se puede decir que conservar la temperatura de almacenamiento del producto empacado lo mas bajo que se pueda, conducirá a vidas de anaquel mas largas.

Respecto a la presión atmosférica hay algo que se debe anotar y es el hecho que la diferencia de presión entre la zona en la que se empaca el producto y donde se piensa entregar al consumidor afecta notoriamente la permeabilidad. Para entender esta situación se consideran estos dos ejemplos sin antes recordar que una de las

condiciones que se deben dar para que exista movimiento de un permeante a través de una película plástica es que exista un gradiente de fuerza entre un lado y el otro de la película.

- C Si se empaca al vacío en una ciudad que se encuentre por encima del nivel del mar, y los paquetes luego de cerrados son enviados a zonas mas bajas, el aire penetrará mas rápido al empaque que en la ciudad de origen. Esto disminuirá con seguridad la vida de anaquel con respecto a la zona de origen. El fenómeno que se presenta es que la diferencia de presión aumentó.
- C Se empaca llenando con un gas inerte cierto alimento a nivel del mar. La inyección se hace a presión atmosférica del sitio de empaque y luego este es enviado a ciudades con menor presión atmosférica. Al estar el paquete en esta nueva zona se generará una presión positiva dentro él haciendo que el paquete se infle forzando al gas a permear a través de la película e incluso la diferencia de presión puede hacer que el paquete se rompa.

Conocer los fenómenos de permeabilidad y aplicar el conocimiento que hoy se tiene permite a lo productores de alimentos mejorar la presentación de sus productos, rebajar costos de producción y en términos generales aumentar la competitividad de su industria.

CAPITULO VIII

DISEÑO DE FORMULACIONES PARA PRODUCTOS CARNICOS

Claudia María Arango Mejía¹
Diego Alonso Restrepo Molina²

En la formulación de los productos descansa un alto porcentaje del éxito alcanzado tanto económico, como de permanencia en el medio, el cual, indiscutiblemente, va ligado al primero.

El industrial puede acceder a una formulación para un producto por diferentes vías, sin embargo, en la medida en que se consideren y satisfagan un mayor número de condicionantes, mayor será el control que se tenga sobre el producto que se ofrece al consumidor.

En la actualidad el conocimiento que se tiene acerca de la materia prima y de los insumos usados en la industria de carnes, posibilita un manejo más racional de estos recursos, permitiendo al industrial, en consideración de las características finales del producto, obtener su formulación, realizando el proceso inverso al que se manejaba en tiempos anteriores, cuando se "descubría" una formulación que confería características determinadas a un producto que a la vez lo convertían en un secreto industrial, familiar generalmente, y con carácter hereditario.

En la actualidad, este concepto está totalmente reevaluado, es más, quien sigue utilizando formulaciones estáticas, desarrolladas en tiempos anteriores cuando las condiciones económicas eran diferentes y sobre todo, en productos cárnicos de bajo precio comercial, puede decirse con un alto grado de certidumbre, que está condenado a la quiebra económica.

Todos los procedimientos productivos actuales son dinámicos; la lucha por la supervivencia de una empresa en un medio que es cada vez más agresivo y exigente, es

¹ Profesora Asociada. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Facultad de Ciencias Agropecuarias. A.A. 568, Medellín.

² Profesor Asociado. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Facultad de Ciencias Agropecuarias. A.A. 568, Medellín.

dura, demandando no sólo calidad en todo el sentido de la palabra, sino también precio.

El éxito de las modernas empresas de alimentos radica en poder ofrecer al público consumidor, productos con características constantes, a precios relativamente estables durante períodos importantes de tiempo, teniendo caracterizados la mayor parte de sus productos, donde la composición físico - química (proteína, grasa, humedad, cenizas, pH, etc.), y las características sensoriales (sabor, jugosidad, ternura, etc.) ya no son accidentales, sino que obedecen a unos patrones previamente establecidos que balancean un adecuado manejo comercial respecto a los costos de fabricación.

El uso de materias primas e insumos alternativos a los tradicionales, sujetos a influjos económicos diferentes, dan la posibilidad al técnico, mediante sus conocimientos y correcta manipulación, de elaborar productos "idénticos" o de características idénticas, utilizando diversos materiales en proporciones diferentes. Obviamente cada situación (combinación de materiales) exigirá un análisis económico concreto.

De acuerdo con lo anterior es posible entonces elaborar un producto cárnico con una composición química determinada (12% de proteína, 22% de grasa, 60% de humedad, por ejemplo), partiendo de diferentes materiales, pero en la medida que se está sujeto a un número creciente de condiciones (p.e. carne de cerdo mínimo el 60% del total de la carne, relación sal/humedad mayor que 0.039, relación agua/proteína igual a 4.2, etc.), las posibilidades de establecer adecuadamente las proporciones son cada vez más difíciles.

Normalmente se dispone de más de 30 materiales cárnicos diferentes y de más de 30 insumos directos de producción, sujetos a condiciones muy variables como disponibilidad en la planta (inventario), normalización existente, condiciones técnicas, restricciones de fabricación como limitaciones de personal, maquinaria, almacenamiento, condiciones de mercadeo, etc., lo cual puede representar un número de sujeciones que sobrepase el de materiales e insumos, si se tiene en cuenta que por este solo hecho implica gran dificultad en realizar estas combinaciones acertadas manualmente.

Cuando se trata de formular productos (sin condicionantes numerosos) y para no recurrir al largo, tedioso e ineficiente método de error y ensayo, es posible desarrollar el siguiente procedimiento sistemático, como el más rústico aceptado, partiendo de las restricciones:

- C Elegir, de acuerdo con su experiencia, uno o dos cortes cárnicos y un corte graso (normalmente, grasa dorsal de cerdo).
- C Determinar la composición bromatológica de los materiales a usar.
- C De existir materiales de indispensable inclusión y aportantes de proteína, deben tenerse en cuenta para cuantificar exactamente la participación de este componente.
- C Suponer cantidades de cada uno de los cortes.
- C Adicionar la cantidad de harinas, proteínas vegetales, sal, sales de curación, fosfatos

y condimentos, de acuerdo con los niveles máximos permitidos por las normas existentes.

- C Determinar la cantidad de grasa, proteína y humedad contenida en la fórmula.
- C Evaluar la cantidad de agua teórica que puedan “sostener” los materiales y adicionar el agua complementaria.
- C Hacer una evaluación porcentual de cada uno de los componentes, calculando porcentajes de proteína, grasa, humedad, fosfatos, nitritos, ascorbatos, sal y comparar con la Norma Técnica Colombiana 1325/82, verificando el cumplimiento de cada uno de los ítems, los cuales, en caso de no cumplirse, implicarán una “reformulación” adicionando o disminuyendo la cantidad de material aportante del componente que se desea aumentar o disminuir en la formulación.

Este método de cálculo permite obtener soluciones intermedias, en forma relativamente rápida, siempre y cuando se trate de formulaciones generales. Sin embargo, la determinación exacta de los cortes a utilizar finalmente en la elaboración particular queda, como se dijo, sujeta al “buen criterio” del técnico y a su experiencia.

Otra alternativa, un poco más refinada consiste en el uso de hojas de cálculo, las cuales implican un mayor conocimiento de los materiales, incluyendo la funcionalidad de los mismos, que permite, por la simpleza de su operación, la obtención de soluciones prácticas rápidamente, aunque siempre son susceptibles de mejorar.

Suponiendo que puedan establecerse varias combinaciones, cómo garantizar que no existen más posibilidades?. ¿Cuántos modelos establecer para poder garantizar que todas las posibilidades están agotadas y poder escoger el más barato cumpliendo las exigencias de calidad?

Existe un procedimiento sistemático de evaluación de la posibilidad de existencia del conjunto de soluciones factibles al planteamiento de varias sujeciones a un problema y además, de la evaluación de todas ellas comparativamente para encontrar la mejor, el óptimo, bien sea un máximo o un mínimo de acuerdo con lo que se busque.

Se trata entonces de determinar exactamente cuáles son las condiciones que sujetan el proceso productivo, en principio, relacionadas con los ingredientes y aditivos, su precio y las condiciones de producción. Una vez se esté seguro de haber tenido en cuenta todas las posibilidades, se procede a la “traducción” de estas condicionantes a un lenguaje matemático buscando mecanismos de síntesis que permitan su manejo.

Una vez se logre expresar matemáticamente las condiciones del problema, apareciendo ecuaciones e inecuaciones y funciones a optimizar, se procede a resolver el sistema mediante los sistemas de programación lineal.

Para formular productos cárnicos deben tenerse en cuenta, básicamente, las siguientes condicionantes:

1. Función de costos: Establecerla correctamente usando precios actualizados cada vez.
2. Disponibilidad de materia prima: Estas restricciones permiten la correcta rotación del material en inventario o la programación de las compras de materia prima. Generalmente la industria requiere combinar las dos situaciones.
3. Condicionantes de norma o de legislación: Estas sujeciones tienen que ver con la composición del producto (porcentajes de proteína, grasa, humedad, cenizas) y con la utilización de niveles máximos permitidos de algunos insumos no cárnicos.
4. Restricciones de formulación referidas a condiciones particulares de calidad del producto: Para ilustrar el procedimiento a seguir se plantea un pequeño ejemplo, para el cual se sigue el siguiente procedimiento:

- C Análisis bromatológico de todas y cada una de las materias primas cárnicas susceptibles de ser utilizadas.
- C Determinación de Cloruros, Nitrito y Fosfato en cada uno de los productos comerciales usados en la formulación.
- C Planteamiento de restricciones de norma (NTC 1325/82, ICONTEC 3ª revisión) en términos de contenidos mínimos y máximos de proteína, grasa, humedad, nitritos, ascorbatos, fosfatos y eritorbatos.
- C Planteamiento de restricciones técnicas o de formulación, en términos de relaciones Humedad/Proteína y Grasa/Proteína.
- C Planteamiento de restricciones de estabilidad de la emulsión en términos de balances de humedad y grasa positivos.
- C Planteamiento de la función objetivo en términos de costo, con el propósito de minimizarla.

Para tal efecto se usa el siguiente modelo de cálculo:

Sea m_i la cantidad de kg. del material i necesarios para elaborar 100 kg. de pasta de salchicha (por ejemplo) sujeta a las siguientes condiciones:

Función objetivo: Minimizar costos.

$$\sum_{i=1}^n c_i \times m_i \text{ hacerla mínima}$$

Donde,

c_i :costo del material i ; en \$

m_i :cantidad de masa del material i involucrado en la fórmula.

Para 16 materiales (por ejemplo), desarrollando la fórmula se obtiene:

$$\text{Minimizar: } C_1m_1 + C_2m_2 + C_3m_3 + C_4m_4 + C_5m_5 + C_6m_6 + C_7m_7 + C_8m_8 + C_9m_9 + C_{10}m_{10} + C_{11}m_{11} + C_{12}m_{12} + C_{13}m_{13} + C_{14}m_{14} + C_{15}m_{15} + C_{16}m_{16}$$

Sujeto a:

Base de cálculo:

$$\sum_{i=1}^n m_i = 100$$

Desarrollando la fórmula se obtiene:

$$m_1 + m_2 + m_3 + m_4 + m_5 + m_6 + m_7 + m_8 + m_9 + m_{10} + m_{11} + m_{12} + m_{13} + m_{14} + m_{15} + m_{16} = 100$$

Humedad:

$$\sum_{i=1}^n \%h_i \times m_i \leq 67$$

Donde % es una fracción.

Desarrollando la fórmula se obtiene:

$$\%h_1m_1 + \%h_2m_2 + \%h_3m_3 + \%h_4m_4 + \%h_5m_5 + \%h_6m_6 + \%h_7m_7 + \%h_8m_8 + \%h_9m_9 + \%h_{10}m_{10} + \%h_{11}m_{11} + \%h_{12}m_{12} + \%h_{13}m_{13} + \%h_{14}m_{14} + \%h_{15}m_{15} + \%h_{16}m_{16} \leq 67$$

Grasa:

$$\sum_{i=1}^n \%g_i \times m_i \leq 28$$

Desarrollando la fórmula se obtiene:

$$\%g_1m_1 + \%g_2m_2 + \%g_3m_3 + \%g_4m_4 + \%g_5m_5 + \%g_6m_6 + \%g_7m_7 + \%g_8m_8 + \%g_9m_9 + \%g_{10}m_{10} + \%g_{11}m_{11} + \%g_{12}m_{12} + \%g_{13}m_{13} + \%g_{14}m_{14} + \%g_{15}m_{15} + \%g_{16}m_{16} \leq 28$$

$$g_{16}m_{16} \leq 28$$

Nota: En la 4ª revisión de 1998, se considera la humedad + grasa; sin embargo, por no estar avalada por Minsalud al momento de la edición de este documento, se consideraron los valores tales como los determina la NTC1325 en su 3ª revisión.

Proteína:

$$\sum_{i=1}^n \%p_i \times m_i \geq 12$$

Desarrollando la fórmula se obtiene:

$$\% p_1 m_1 + \% p_2 m_2 + \% p_3 m_3 + \% p_4 m_4 + \% p_5 m_5 + \% p_6 m_6 + \% p_7 m_7 + \% p_8 m_8 + \% p_9 m_9 + \% p_{10} m_{10} + \% p_{11} m_{11} + \% p_{12} m_{12} + \% p_{13} m_{13} + \% p_{14} m_{14} + \% p_{15} m_{15} + \% p_{16} m_{16} \geq 12$$

Sal:

$$\sum_{i=1}^n \%s_i \times m_i \geq 2.00$$

Donde % s_i es el porcentaje de sal que contiene el material i.

Desarrollando la fórmula se obtiene:

$$\% sal_1 m_1 + \% sal_2 m_2 + \% sal_3 m_3 + \% sal_4 m_4 + \% sal_5 m_5 + \% sal_6 m_6 + \% sal_7 m_7 + \% sal_8 m_8 + \% sal_9 m_9 + \% sal_{10} m_{10} + \% sal_{11} m_{11} + \% sal_{12} m_{12} + \% sal_{13} m_{13} + \% sal_{14} m_{14} + \% sal_{15} m_{15} + \% sal_{16} m_{16} = 2$$

Nitrito de sodio:

$$\sum_{i=1}^n \%nit_i \times m_i \geq 200 \text{ ppm}$$

Donde % Nit_i es el % de nitrito que contiene el material i.

Desarrollando la fórmula se obtiene:

$$\% Nit_1 m_1 + \% Nit_2 m_2 + \% Nit_3 m_3 + \% Nit_4 m_4 + \% Nit_5 m_5 + \% Nit_6 m_6 + \% Nit_7 m_7 + \% Nit_8 m_8 + \% Nit_9 m_9 + \% Nit_{10} m_{10} + \% Nit_{11} m_{11} + \% Nit_{12} m_{12} + \% Nit_{13} m_{13} + \% Nit_{14} m_{14} + \% Nit_{15} m_{15} + \% Nit_{16} m_{16} = 0.020$$

Fosfatos:

$$\sum_{i=1}^n \text{fos}_i \times m_i \geq 0.5$$

Donde % fos_i es el % de fosfato que contiene el material i.

Desarrollando la fórmula se obtiene:

$$\% \text{fos}_1 m_1 + \% \text{fos}_2 m_2 + \% \text{fos}_3 m_3 + \% \text{fos}_4 m_4 + \% \text{fos}_5 m_5 + \% \text{fos}_6 m_6 + \% \text{fos}_7 m_7 + \% \text{fos}_8 m_8 + \% \text{fos}_9 m_9 + \% \text{fos}_{10} m_{10} + \% \text{fos}_{11} m_{11} + \% \text{fos}_{12} m_{12} + \% \text{fos}_{13} m_{13} + \% \text{fos}_{14} m_{14} + \% \text{fos}_{15} m_{15} + \% \text{fos}_{16} m_{16} = 0.500$$

Ascorbatos:

$$\sum_{i=1}^n \% \text{asc}_i \times m_i \geq 0.05$$

Donde %asc_i es el porcentaje de ascorbatos que contiene el material i.

Desarrollando la fórmula se obtiene:

$$\% \text{asc}_1 m_1 + \% \text{asc}_2 m_2 + \% \text{asc}_3 m_3 + \% \text{asc}_4 m_4 + \% \text{asc}_5 m_5 + \% \text{asc}_6 m_6 + \% \text{asc}_7 m_7 + \% \text{asc}_8 m_8 + \% \text{asc}_9 m_9 + \% \text{asc}_{10} m_{10} + \% \text{asc}_{11} m_{11} + \% \text{asc}_{12} m_{12} + \% \text{asc}_{13} m_{13} + \% \text{asc}_{14} m_{14} + \% \text{asc}_{15} m_{15} + \% \text{asc}_{16} m_{16} = 0.050$$

Condimento:

$$m_{15} = 1.2 \text{ (recomendación del fabricante)}$$

Balance de grasa:

$$\sum_{i=1}^n (Vl_i - \%g_i) m_i > 0$$

Donde Vl_i es el valor de ligazón del material i y, %g_i es el porcentaje de grasa del material i

Desarrollando la fórmula se obtiene:

$$(Vl_1 - \%g_1) m_1 + (Vl_2 - \%g_2) m_2 + (Vl_3 - \%g_3) m_3 + (Vl_4 - \%g_4) m_4 + (Vl_5 - \%g_5) m_5 + (Vl_6 - \%g_6) m_6 + (Vl_7 - \%g_7) m_7 + (Vl_8 - \%g_8) m_8 + (Vl_9 - \%g_9) m_9 + (Vl_{10} - \%g_{10}) m_{10} + (Vl_{11} - \%g_{11}) m_{11} + (Vl_{12} - \%g_{12}) m_{12} + (Vl_{13} - \%g_{13}) m_{13} + (Vl_{14} - \%g_{14}) m_{14} + (Vl_{15} - \%g_{15}) m_{15}$$

$$- \%g_{15}) m_{15} + (Vl_{16} - \%g_{16}) m_{16} > 0$$

Balance de humedad:

$$\sum_{i=1}^n cra_i \times m_i + \text{agua adicional} > 0$$

Donde cra_i es la capacidad de retención de agua

Desarrollando la fórmula se obtiene:

$$cra_1 m_1 + cra_2 m_2 + cra_3 m_3 + cra_4 m_4 + cra_5 m_5 + cra_6 m_6 + cra_7 m_7 + cra_8 m_8 + cra_9 m_9 + cra_{10} m_{10} + cra_{11} m_{11} + cra_{12} m_{12} + cra_{13} m_{13} + cra_{14} m_{14} + cra_{15} m_{15} - m_{16} > 0$$

Relación Grasa /Proteína: A

$$\text{Grasa} - A \text{ proteína} = 0$$

$$\sum_{i=1}^n (\%g_i - A \%p_i) m_i = 0$$

Desarrollando la fórmula se obtiene:

$$(\%g_1 - A \%p_1) m_1 + (\%g_2 - A \%p_2) m_2 + (\%g_3 - A \%p_3) m_3 + (\%g_4 - A \%p_4) m_4 + (\%g_5 - A \%p_5) m_5 + (\%g_6 - A \%p_6) m_6 + (\%g_7 - A \%p_7) m_7 + (\%g_8 - A \%p_8) m_8 + (\%g_9 - A \%p_9) m_9 + (\%g_{10} - A \%p_{10}) m_{10} + (\%g_{11} - A \%p_{11}) m_{11} + (\%g_{12} - A \%p_{12}) m_{12} + (\%g_{13} - A \%p_{13}) m_{13} + (\%g_{14} - A \%p_{14}) m_{14} + (\%g_{15} - A \%p_{15}) m_{15} + (\%g_{16} - A \%p_{16}) m_{16} = 0$$

Relación Humedad/Proteína: B

$$\sum_{i=1}^n (\%h_i - B \%p_i) m_i = 0$$

Desarrollando la fórmula se obtiene:

$$(\%h_1 - B \%p_1) m_1 + (\%h_2 - B \%p_2) m_2 + (\%h_3 - B \%p_3) m_3 + (\%h_4 - B \%p_4) m_4 + (\%h_5 - B \%p_5) m_5 + (\%h_6 - B \%p_6) m_6 + (\%h_7 - B \%p_7) m_7 + (\%h_8 - B \%p_8) m_8 + (\%h_9 - B \%p_9) m_9 + (\%h_{10} - B \%p_{10}) m_{10} + (\%h_{11} - B \%p_{11}) m_{11} + (\%h_{12} - B \%p_{12}) m_{12} + (\%h_{13} - B \%p_{13}) m_{13} + (\%h_{14} - B \%p_{14}) m_{14} + (\%h_{15} - B \%p_{15}) m_{15} + (\%h_{16} - B \%p_{16}) m_{16} = 0$$

Para el caso de que durante el tratamiento térmico se sucedan pérdidas de peso, estas

deberán reflejarse en el planteamiento de las diversas restricciones. Supóngase que para la salchicha del ejemplo que se trata, las pérdidas son del 10%; esta nueva condición modifica las restricciones planteadas de la siguiente forma:

Proteína:

De acuerdo con las pérdidas y la base de cálculo definida, la cantidad final de proteína será: $12 \times 0.9 = 10.8$, de manera que la inecuación quedaría:

$$\sum_{i=1}^n \%p_i \times m_i \geq 10.8$$

Desarrollando la fórmula se obtiene:

$$\% p_1 m_1 + \% p_2 m_2 + \% p_3 m_3 + \% p_4 m_4 + \% p_5 m_5 + \% p_6 m_6 + \% p_7 m_7 + \% p_8 m_8 + \% p_9 m_9 + \% p_{10} m_{10} + \% p_{11} m_{11} + \% p_{12} m_{12} + \% p_{13} m_{13} + \% p_{14} m_{14} + \% p_{15} m_{15} + \% p_{16} m_{16} \geq 10.8$$

La inecuación de la humedad quedaría:

$$\sum_{i=1}^n \%h_i \times m_i \leq 70.3 \text{ (resultado de } 67 \times 0.9 \% 10)$$

Desarrollando la fórmula se obtiene:

$$\% h_1 m_1 + \% h_2 m_2 + \% h_3 m_3 + \% h_4 m_4 + \% h_5 m_5 + \% h_6 m_6 + \% h_7 m_7 + \% h_8 m_8 + \% h_9 m_9 + \% h_{10} m_{10} + \% h_{11} m_{11} + \% h_{12} m_{12} + \% h_{13} m_{13} + \% h_{14} m_{14} + \% h_{15} m_{15} + \% h_{16} m_{16} \leq 70.3$$

Para el caso de que la humedad más la grasa estuvieran ligadas desde el punto de vista de la Norma, tal como sucede en la cuarta revisión de 1998 de la NTC 1325, la inecuación se expresaría así:

$$\sum_{i=1}^n (\%h_i + \%g_i) m_i \leq \text{Valor de la norma} \times 0.9 \% 10 \text{ (por las pérdidas)}$$

Desarrollando la fórmula se obtiene:

$$(\% h_1 + \% g_1) m_1 + (\% h_2 + \% g_2) m_2 + (\% h_3 + \% g_3) m_3 + (\% h_4 + \% g_4) m_4 + (\% h_5 + \% g_5) m_5 + (\% h_6 + \% g_6) m_6 + (\% h_7 + \% g_7) m_7 + (\% h_8 + \% g_8) m_8 + (\% h_9 + \% g_9) m_9 + (\% h_{10} + \% g_{10}) m_{10} + (\% h_{11} + \% g_{11}) m_{11} + (\% h_{12} + \% g_{12}) m_{12} + (\% h_{13} + \% g_{13}) m_{13} + (\% h_{14} + \% g_{14}) m_{14} + (\% h_{15} + \% g_{15}) m_{15} + (\% h_{16} + \% g_{16}) m_{16} \leq \text{Valor de la norma} \times 0.9 + 10$$

Esto reduce el problema a la resolución de un sistema de inecuaciones, con un criterio de selección que es el de optimizar la función objetivo. Este problema corresponde exactamente al objeto de la programación lineal para el cual se han desarrollado métodos computacionales de fácil aplicación, que permiten realizar análisis de sensibilidad a las respuestas obtenidas, en términos de costo de las materias primas y, valores de los términos independientes de las inecuaciones.

CAPITULO IX

HIGIENE

Claudia María Arango Mejía¹
Diego Alonso Restrepo Molina²

Al hablar de la calidad de un producto alimenticio, el primer aspecto que debe considerarse es su condición higiénica, ya que a partir de ella, se estructuran todas aquellas otras características que la palabra calidad representa en los perecederos. En ella debe fundamentarse todo el proceso productivo desde la obtención de la materia prima hasta la parte final del proceso de distribución y uso del producto por parte del consumidor.

El proceso de higienización se considera como la serie de procedimientos que permiten eliminar defectos en la obtención y procesamiento del alimento, que sean fuentes de pérdidas económicas con compromiso de la salud pública, haciendo posible una producción impecable y una distribución perfecta desde el punto de vista sanitario.

En este sentido, la selección de las materias primas, de los procesos y de los equipos, deben efectuarse con miras a la obtención de un producto "higiénicamente intachable" como objetivo de producción.

Cuando se hace referencia a la producción de carnes, el control debe comenzar desde el animal vivo que está destinado a sacrificio para consumo humano, impidiendo que los animales enfermos o no aptos para el consumo, sean sacrificados y faenados, o que su carne sea comercializada.

El segundo aspecto general a tener en cuenta es el de la correcta selección de los procesos y equipos de transformación de la carne, el cual, como ya se dijo, debe tener como objetivo de producción la higiene del producto obtenido. Este es el condicionante

¹ Profesora Asociada. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Facultad de Ciencias Agropecuarias. A.A. 568, Medellín.

² Profesor Asociado. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Facultad de Ciencias Agropecuarias. A.A. 568, Medellín.

sobre el cual deben armonizar los restantes aspectos ingenieriles del diseño.

Como aspecto complementario debe considerarse la correcta distribución del producto.

La observación de las disposiciones que sobre estos aspectos ha establecido el Ministerio de Salud, mediante los decretos 3075 de 1997, 2278 de 1982, 8475 de 1998 y la Resolución 2387 de 1999, posibilitan la obtención del objetivo propuesto.

CONDICIONES PARA LA PRODUCCION HIGIENICA DE ALIMENTOS

Correcto diseño de fábrica. En este aspecto deben considerarse factores como localización de planta, diseño de las edificaciones de proceso y de servicio, y diseño y distribución de los aparatos de proceso.

Como criterios para la selección del sitio de ubicación de la planta, se sugieren como factores generales a tenerse en cuenta, los siguientes:

1. disponibilidad de suministro de agua suficiente y de instalaciones para eliminación de los residuos,
2. ausencia de posibles centros de contaminación a partir de residuos de otras fábricas, tales como zonas de desechos,
3. cercanía de los mercados,
4. cercanía de materias primas y suministros,
5. medios de transporte adecuados,
6. energía y combustible,
7. servicios públicos,
8. clima,
9. legislación local y regional,
10. factores de comunidad.

Todas estas consideraciones, son de gran importancia para el manejo ingenieril del proyecto, pero los primeros factores que conducen a una "elección higiénica" del sitio de ubicación de la planta, desplazan a un segundo lugar los restantes.

Así mismo deben tenerse en cuenta, aspectos como:

1. forma, tamaño y topografía del terreno,
2. definir si se trata de una nueva planta, una redistribución, una expansión, una adecuación o una adición,
3. disposición intermedia y final de desechos y emanaciones,
4. orientación de la distribución, al proceso, al producto, organizando todas las construcciones y previendo los flujos.

El decreto 3075 de 1997 del Ministerio de Salud, que corresponde a Buenas Prácticas de Manufactura en cuanto a las condiciones sanitarias de las fábricas, depósitos y expendios de alimentos y de los elementos de transporte y la distribución de los mismos, así como de los manipuladores dispone a partir del artículo 14 las condiciones sanitarias de las fábricas en cuanto a las secciones, abastecimiento de agua potable, dotación de sistemas sanitarios adecuados, disposición de residuos sólidos, construcciones probadas contra roedores e insectos; pisos y paredes, condiciones y calidad de los mismos; servicios sanitarios y comodidades, iluminación, ventilación, equipos de conservación; secciones de materia prima, de proceso y de servicios (mínima); así como recomendaciones básicas generales sobre separación mínima, distribución y funcionamiento operacional y mecánico de instalación, equipos y flujos de proceso.

Respecto a los detalles higiénicos de construcción, las superficies interiores de las paredes de las salas de proceso deben ser pulidas y de fácil limpieza, sin agujeros ni grietas que faciliten el contacto y desarrollo microbiano. Deben preferirse los materiales de superficie dura. Los pisos deben disponer de pendientes para aminorar la contaminación y permitir una limpieza y desagüe después del lavado. Se deben evitar las esquinas (las inevitables, deben ser curvas), así como los techos falsos que solo sirven para almacenar polvo, insectos y roedores y dificultar la ventilación. Los pisos y paredes deben tener suficiente resistencia mecánica y a la abrasión para soportar, sin deteriorarse, el peso del equipo y el uso de los diversos productos químicos utilizados para la limpieza y desinfección.

La correcta distribución en planta, debe armonizar el flujo con la facilidad de higienización de la misma y a la vez dar una sensación estética agradable como resultado del orden y el aseo.

Para distribuir internamente una planta de procesamiento de alimentos debe tenerse en cuenta:

1. Definición correcta de los requisitos de espacio, dividiendo la planta en secciones y áreas unitarias, considerando los requerimientos de espacio para equipos, aditamentos, servicios, auxiliares, facilidades, espacio para operación, espacio para montaje y desmontaje, espacio para mantenimiento y reparaciones.
2. Integración de las secciones y áreas unitarias.
3. Armonización, unificación y agrupación de funciones, niveles y orientaciones.
4. Unificación de las normas (códigos, montaje, instalación).
5. Proximidad de áreas sanitarias, vías de acceso, ventilación.
6. Tipos de distribución; continuidad del proceso: en cadena, continua, por lotes, así como la relación entre las actividades internas de la planta.

Todas las etapas de producción deben estar claramente demarcadas y correctamente aisladas con el fin de evitar cruces en el flujo y riesgos de contaminación. La

demarcación y el aislamiento en lo posible deberán corresponder a barreras físicas.

El diseño, los materiales de construcción y los métodos de instalación de equipos en una fábrica de alimentos, deben elegirse de tal forma que contribuyan al proceso de limpieza y desinfección de la misma.

Las superficies de contacto con el alimento deben ser resistentes, lisas, sin huecos ni grietas, inertes respecto al alimento y a los agentes de limpieza y carecer de sustancias tóxicas que eventualmente puedan desprenderse.

Limpieza. El hablar de suciedad implica hacer referencia a la impureza, la cual no depende en general de su estructura química o física sino de su presencia inoportuna. Algunas veces esta impureza es causada por el material mismo: el flujo de cerveza origina la formación de un depósito de naturaleza proteica en combinación con Oxalato de Calcio, el calentamiento de la leche produce la floculación de materias proteicas mezcladas con Fosfato Cálcico, el vino deposita Birtrato Potásico, la carne exuda sangre, etc. También la impureza puede originarse por el crecimiento de microorganismos o de larvas en estos residuos, en cuyo caso la naturaleza de la impureza varía.

De acuerdo con esto puede existir una gran variedad de impureza (suciedad) en una planta procesadora de alimentos, pero la "suciedad natural" que debe ser aquella para la cual se diseñan los sistemas de control internos, puede definirse como todo residuo que al final de los procesos industriales queda adherido a techos, paredes, pisos, equipos, líneas, utensilios, etc., constituidos básicamente por materia orgánica propia del producto que se procesa.

De acuerdo con esto, un conocimiento completo de la naturaleza de la suciedad problema, permitirá una acción más directa y efectiva sobre ella.

El conocimiento por ejemplo de que las proteínas generan soluciones coloidales que se pueden desnaturizar irreversiblemente o flocular reversiblemente; o que las grasas son insolubles en agua, saponificables, emulsificables, de bajo punto de fusión y atacables por enzimas; o que los óxidos y la ceniza del cigarrillo son solubles en ácido, la sangre y la orina en álcalis y el aceite vegetal en solventes orgánicos, permitirá indudablemente atacar más eficientemente la suciedad conformada por estas sustancias, que si se conocieran estas características.

Si se entiende la limpieza como la eliminación, mediante procedimientos y sustancias adecuadas, de la suciedad visible, y la desinfección como la eliminación de gérmenes que puedan encontrar condiciones favorables para sobrevivir y multiplicarse en la suciedad, los procesos de limpieza y desinfección son complementarios porque: La eliminación de la suciedad retira parte de los microorganismos adheridos, la suciedad

es un elemento nutritivo para microorganismos, insectos y roedores y además porque la suciedad protege a los microorganismos al inactivar la acción de los germicidas.

Proceso de limpieza: Puede dividirse básicamente en tres etapas. La primera de ellas consiste en que los agentes de tensión superficial que contiene la solución de limpieza son absorbidos por la suciedad permitiendo el ataque químico del detergente. Una segunda etapa consiste en la dispersión de la suciedad dentro de la solución de limpieza. Por último pudiera establecerse una tercera etapa que consiste en estabilización de la suciedad y remoción de la misma mediante agua caliente o fría como enjuague.

El método de limpieza. Todos los aspectos observados durante el proceso de localización, diseño, distribución de equipo y diseño de proceso, deben estar relacionados con el método de limpieza y desinfección elegido para ser usado cuando la planta se encuentre en funcionamiento.

En términos generales puede decirse que existen dos procedimientos de limpieza que pueden ser usados solos o complementándose, de acuerdo con las necesidades y exigencias de cada situación: desmantelamiento y limpieza en el sitio.

Desmantelamiento. Es el método más antiguo y más usado, requiere que los equipos sean contruidos de tal manera que puedan desmontarse y ensamblarse rápidamente. Este método de limpieza requiere de fricción manual con cepillo y el uso adicional de jabones y soluciones detergentes. Es particularmente útil para piezas pequeñas como juntas y accesorios, los cuales son sumergidos en tanques con soluciones jabonosas.

Limpieza "in situ". Cuando por razones del proceso y del material con el que se trabaja se requiere limpieza y desinfección frecuente, desmontar y ensamblar periódicamente los equipos de trabajo implicaría elevados costos difíciles de manejar, lo cual ha creado la necesidad de efectuar la operación de limpieza y desinfección sin desmantelar el equipo, a este proceso se le conoce como limpieza *in situ* y es el más recomendable para las plantas que elaboran alimentos líquidos. En este tipo de proceso lo que básicamente se elimina es la acción manual de fregado, la cual es sustituida por la acción de la turbulencia de una corriente de soluciones limpiadoras y desinfectantes. Como complemento a este proceso, modernamente se ha desarrollado el método de limpieza por espuma, el cual se ha convertido en la forma más innovadora, eficiente y rápida de hacer la limpieza en plantas de alimentos, donde se pueda regar agua en todas las superficies y equipos.

La espuma es simplemente un intermediario que sirve para el transporte de los agentes de limpieza que pueden ser algunos de los agentes antes mencionados según el tipo de suciedad que se vaya a atacar, de manera que éstos actúen sobre las superficies removiendo las partículas de suciedad que lleven adheridas.

Con la espuma se busca lograr una acción limpiadora homogénea que llegue a todos los lugares de la planta independiente del tamaño o de la posición que tenga el área a limpiar, ya que la ésta puede llegar a todos ellos, por la característica de adherencia que presenta.

La limpieza por espuma es un sistema que comprende los siguientes elementos:

Agua: Es necesario agua caliente con buena presión y caudal para realizar labores de preenjuague y enjuague.

Agente de limpieza: Es el producto químico que va a actuar frente a la suciedad. Este debe ser el indicado de acuerdo al tipo de sustancia que se vaya a remover. Por ejemplo, si es grasa debe ser un limpiador alcalino o si son incrustaciones minerales debe ser un limpiador ácido que facilite la limpieza.

Equipo Espumador: Es la máquina que mezclando aire comprimido con la solución de limpieza, producirá la espuma que va a actuar removiendo la suciedad sobre las superficies. Debe ser eficiente, que maximice la capacidad espumante del producto limpiador, de fácil uso y manipulación, y de fácil mantenimiento.

Este sistema consta de varios pasos:

1. Desconectar equipos eléctricos que puedan causar algún accidente. Al mismo tiempo cubrir con plásticos conexiones eléctricas, paneles de control o motores, los cuales no puedan recibir agua.
1. Desarmar los equipos de tal manera que éstos se saniticen más fácilmente.
2. Lavar en seco o recoger toda suciedad grande una vez se hallan terminado las operaciones de producción en la planta.
3. Prelavar superficies y equipos con agua caliente (mayor de 50 °C), y alta presión.
4. Recoger del suelo materia orgánica que pudo haberse desprendido de los equipos durante el prelavado y colocarla en bolsas especiales.
5. Aplicar el limpiador en espuma y dejarlo actuar el tiempo que recomiende la casa fabricante del producto.
6. Enjuagar la espuma con suficiente agua, preferiblemente caliente y a alta presión.

El procedimiento anterior garantiza una muy buena limpieza que maximiza la acción germicida del desinfectante que se aplique luego de la limpieza, ya que las superficies estarán libres de materia orgánica que inactive el poder del mismo; ahorra tiempo de limpieza, aumentando la capacidad de producción de la planta; ahorra mano de obra, ya que en este sistema la labor de fregado es mínima; ahorra producto químico, ya que la espuma por sí sola es muy eficiente y por ser de color blanco evita el desperdicio de producto en aplicaciones repetidas; reduce costos, según los argumentos anteriores; mejora la calidad microbiológica de la planta, y por ende la calidad del producto final

de la misma.

Los equipos que se utilizan para la generación de espuma tienen las siguientes características: pueden ser tanques móviles donde se agrega el producto de limpieza autoespumante más agua y un sistema neumático que da origen a la formación de la espuma, mezclando el aire y la solución limpiadora autoespumante. La ventaja de este método es que el tanque se puede desplazar por toda la planta. Es muy utilizado en plantas de gran tamaño o equipos fijos que funcionan con el principio de vórtices, mezclando el aire y la solución limpiadora autoespumante, produciendo la espuma limpiadora. Este método de tanque equipo fijo es muy usado en plantas pequeñas o medianas.

El grado de limpieza alcanzado por cualquiera de estos métodos, depende entre otros, de factores como:

1. Temperatura, composición y concentración de las disoluciones de detergentes.
2. El tiempo de contacto entre las disoluciones de detergentes y los depósitos de suciedad.
3. La acción mecánica producida, fregado para la limpieza por desmantelamiento y turbulencia para limpieza *in situ*, la cual es una función del N^0 de Reynolds ($Re = \rho V D / \mu$; Re = Reynolds, ρ : densidad de la solución, V : velocidad de flujo, D : diámetro de flujo del ducto y μ : Viscosidad de la solución, medida en centipoises). El $N^0 Re$ debe ser mayor que 4.000, es decir, en régimen turbulento.
4. Espesor y naturaleza de la suciedad.

Agentes de limpieza.

Detergentes. Se definen como toda sustancia que limpia, separando la suciedad adherida en un proceso de la superficie que ensuciaba, disolviéndola, emulsionándola y dispersándola.

Las funciones químicas de los detergentes y a las cuales deben su acción, fundamentalmente son:

1. Emulsificación: consiste en mantener estable un sistema que naturalmente es inestable, como es el de grasas y aceites con agua, evitando la coalescencia.
2. Dispersión: es la separación de materiales adheridos a la suciedad en partículas individuales.
3. Suspensión: consiste en mantener suspendidos los sólidos insolubles para permitir una fácil limpieza.

4. Humedecimiento o humectación: permite que el solvente, agua, entre en contacto con todas las superficies. Esta misma acción mojanante evita la "ruptura de la película".
5. Secuestro o quelación: eliminación o inactivación de los endurecedores del agua sin formar precipitados.

Los detergentes deben tener:

1. gran poder para trabajar en bajas concentraciones,
2. gran afinidad por grasas o suciedades,
3. características de alta fuerza hidrófila, para mantener en suspensión la suciedad,
4. presentar buena solubilidad en el agua, además de buen poder humectante, dispersante y emulsionante, poder espumante (el cual es un fuerte limitante cuando la limpieza es mecánica),
5. deben ser estables en aguas duras y con alto contenido de metales, y
6. ausencia de toxicidad,
7. ausencia de olores o sabores extraños que puedan ser transmitidos a los alimentos.
8. biodegradabilidad,
9. una favorable relación costo-eficiencia, además debe conocerse su acción corrosiva.

Clasificación de los detergentes:

Alcalinos: actúan sobre la suciedad por ataque químico, solubilizándola y disgregándola.

En todos los casos en que no se tiene peligro de corrosión, la Soda Cáustica da mejores resultados que otras sustancias alcalinas como los fosfatos, los silicatos, boratos y carbonatos.

Hidróxido de Sodio (NaOH): Peso molecular 40 y gravedad específica 2.13. Cuando su presentación es en escamas con aproximadamente el 95% de pureza se conoce comercialmente como soda cáustica. Si su presentación es líquida se conoce como lejía.

La acción del Hidróxido de Sodio se debe a la reacción sobre los elementos constitutivos de las impurezas y la acción tensoactiva de los productos de esta reacción. La acción detergente de la soda puede mejorarse por la adición de agentes secuestrantes y tensoactivos. El Hidróxido de Sodio rompe y disuelve la proteína y saponifica la grasa. Presenta un aumento de su acción con el incremento de la temperatura. Ataca y corroe al aluminio y al estaño, debe manejarse con mucho cuidado porque es nocivo para la piel. Presenta una acción bacteriana importantísima, manifiesta principalmente sobre las esporas, la cual se ve aumentada con el incremento de la temperatura. Es muy funcional para limpieza "*in situ*" (CIP).

Sosa: Sosa calcinada o sosa anhidra. Peso molecular 106 y gravedad específica de 2.53. Comercialmente existen dos presentaciones, la de sosa anhidro Na_2CO_3 o Carbonato de Sodio y la de sosa cristal, $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, o Carbonato de Sodio decahidratado.

Su acción está enmarcada en la disolución de la proteína, emulsiónamiento de la grasa por la disminución de las tensiones de la interfase, favoreciendo la eliminación de impurezas líquidas y precipitación de materias secas. Es corrosivo para el Aluminio y Estaño lo cual puede evitarse por la adición de Metasilicato de Sodio. Es un agente dañino para la piel.

Fosfato Trisódico ($\text{Na}_2\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$): Es un detergente considerado de acción inferior cuando se compara con el Hidróxido de Sodio. Su acción está enmarcada en la disolución de la proteína, emulsificación de la grasa, suspensión de impurezas y la precipitación de materias secas.

Ataca el Aluminio y el Estaño, pudiéndose evitar esta acción por la adición de Metasilicato de Sodio. Ataca la piel.

Características: Peso molecular de 380.20 y gravedad específica de 1.62.

Metasilicato Sódico $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$: Normalmente se usa combinado con otras sales de Sodio usadas por su acción protectora sobre la superficie de Aluminio y estañadas, por esta misma razón se usa acompañando al Cloro. Irrita ligeramente la piel.

Polifosfatos: Este corresponde al nombre genérico de un grupo de compuestos, que desde el punto de vista sanitizante, tienen comportamiento diferente.

El Tripolifosfato Sódico $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$, tiene una acción quelante que no la tienen los ortofosfatos.

Los polifosfatos tienen, a concentraciones pequeñas, una acción catalítica que impide la precipitación de los Carbonatos de Calcio y de Magnesio, impidiendo la formación de incrustaciones.

El más usado de los polifosfatos es el hexametáfosfato el cual no tiene efecto negativo sobre los metales y la piel.

El principal inconveniente de los polifosfatos es su gran sensibilidad a la hidrólisis, especialmente en medios fuertemente alcalinos, transformándose en ortofosfatos que no tienen propiedades secuestrantes e inhibidoras de la precipitación, la cual genera por calentamiento, la incrustación.

Ácidos

Los ácidos se emplean cada vez más para la limpieza en la industria alimentaria. El empleo del Ácido Nítrico al 1% es cada vez mayor en equipos de acero inoxidable. Los ácidos inorgánicos son mucho más eficaces en su acción que los orgánicos. El uso conjunto con aminas etoxiladas y de derivados acetilénicos activan su potencial de acción. Su acción está enmarcada por el ataque químico sobre depósitos minerales.

Ácido Nítrico HNO_3 : Peso molecular es de 63.02 y su gravedad específica (60%): 1.37. Su acción está enmarcada dentro de la capacidad de disolución de depósitos minerales, se usa básicamente para incrustaciones de leche y Calcio. Es un fuerte corrosivo para el Aluminio y el Estaño, ataca la piel produciendo fuertes quemaduras, se recomienda por tanto cuidado en su manipulación.

Ácido Fosfórico H_3PO_4 : Peso molecular es de 98.04 y su gravedad específica es de 1.83. Se usa como reemplazante del Ácido Nítrico más que todo por razones económicas, su mecanismo de acción es semejante.

En algunos casos se usan ácidos orgánicos como Glucónico, Cítrico y Láctico los cuales tienen una acción menor. A algunos de éstos, como al Glucónico, se les adiciona Amonio cuaternario para obtener acción bactericida.

Quelantes : Son definidos como aquellos que se combinan químicamente con un metal formando sales solubles, prácticamente no disociadas, como consecuencia de la existencia de valencias residuales. A este tipo de agentes pertenece el etilén-diamino-tetracetato de Sodio, el cual intercambia iones del metal con iones alcalino térreos o de metales pesados, formando complejos solubles con propiedades diferentes a las de los iones. Igualmente el tripolifosfato sódico presenta una acción quelatante. Cuando se dispone de medio alcalino, es aconsejable el uso de agentes quelatantes como el Gluconato y el Sacorato de Sodio, los cuales son relativamente estables en este medio, careciendo de acción inhibidora de la precipitación.

La adición de agentes secuestrantes a las soluciones de limpieza provoca un efecto peptizante, como consecuencia de las reacciones del Calcio y el Magnesio presentes.

Parece ser que la acción bacteriostática de los agentes quelatantes, se debe a la fijación preferente de los metales pesados indispensables para los microorganismos, esta acción está claramente presente con el uso de la α -oxiquinoleína, ditiocarbamatos y derivados alquílicos correspondientes.

La Carboximetilcelulosa (CMC), tiene la propiedad de impedir que ciertas impurezas puedan volver a depositarse en el sustrato. Su uso es aconsejable en la industria alimenticia.

Tensoactivos: Se define como agente tensoactivo a la sustancia capaz de modificar fundamentalmente las propiedades de la superficie o de la interfase de las soluciones acuosas. Estas sustancias están conformadas por grupos polares y una cadena larga hidrocarbonada apolar, recibiendo la denominación de anfófilos, lo que quiere decir que poseen propiedades de cuerpos fuertemente polares y fuertemente apolares.

Cuando se adiciona un cuerpo de este tipo al agua, por ejemplo, tiende a disolverse gracias a su carácter polar y a ser despedido de la solución a causa de su carácter apolar, esto provoca que la tensión superficial que era debida a la atracción de las moléculas en la superficie se vea disminuida por la presencia "intermolecular" de las cadenas hidrocarbonadas, generando un poder mojante que dependerá del agente tensoactivo, de las características de la materia sólida y de la interfase.

Un agente tensoactivo soluble en agua favorece normalmente la formación de emulsiones, siempre y cuando la fase continua sea el agua, mas cuando la fase continua sea apolar, el favorecimiento es presentado por una sustancia anfófila insoluble en agua. De todas maneras la estabilidad de la emulsión está gobernada por factores como naturaleza del agente emulsificante, fuerza iónica y pH.

Su acción está enmarcada por la sustitución de la suciedad y posterior eliminación, garantizando que las impurezas sólidas envueltas por el agente tensoactivo, no se vuelvan a depositar sobre la superficie. Los agentes tensoactivos, por su acción humectante, son reforzadores de la acción detergente y bacteriana de otros productos.

Tensoactivos aniónicos

Alquilsulfatos primarios: Son del tipo $C_nH_{2n+1}-O-SO_2-O-Na$. Son obtenidos por sulfatación de alcoholes grasos con cadenas de 12 a 18 carbonos.

Estos detergentes, a pesar de tener excelentes propiedades, tienen uso limitado en la industria de alimentos por ser fácilmente hidrolizables, tanto en medio ácido como alcalino.

Alquilsulfatos secundarios: Tienen propiedades semejantes al anterior pero algo inferiores. En la actualidad casi no se usan.

Alquil aril sulfonatos: El más común es el Dodecilbenceno Sulfonato Sódico ($C_{12}H_{25}-SO_2-O-Na$) es la base tensoactiva de los detergentes mezclados directamente en las industrias. Tiene un elevado poder detergente y excelente estabilidad en cualquier pH.

Tensoactivos no iónicos: Se caracterizan por tener grupos polares como hidroxilos, ésteres, amino carboxilo que pueden hidratarse y disolver eventualmente el producto en agua sin la aparición de iones. Su acción no depende de la fuerza iónica del medio.

Los más comúnmente utilizados son los productos de condensación del Óxido de Etileno sobre alquilfenoles o alcoholes de cadena larga y los ésteres de sorbitol o de sacarosa que se hidrolizan fácilmente en sustancias metabolizables por el organismo animal. También se emplean los monoglicéridos y los ésteres de poliglicerol.

Tensoactivos anfóteros: Presentan varios grupos aniónicos y catiónicos, estando su carga neta en función del pH. Se emplean agentes aminocarboxílicos, aminosulfónicos y derivados de las cicloimidinas.

Por su misma naturaleza los detergentes tensoactivos no deben ser aplicados con raspadores y esponjas metálicas.

La capacitación y asesoría que reciba el personal encargado de la limpieza de la planta es de suma importancia. De éste depende que el sistema sea efectivo y demuestre las ventajas frente a otros.

Desinfección. Los microorganismos contaminan y proliferan en los alimentos en cualquiera de las etapas de la cadena productiva y de consumo: contaminación de las materias primas, aumento de recuentos durante la elaboración, recontaminación después de la elaboración, contaminación durante el almacenamiento, contaminación y desarrollo de microorganismos durante la preparación final de los productos elaborados.

El proceso de obtención de la carne presenta una fase crítica en el proceso de sacrificio, el cual posibilita la contaminación de la carne por gérmenes patógenos y deteriorantes provenientes del tracto gastrointestinal y de la piel. Estos procesos de contaminación son definitivamente inevitables, lo que de hecho condiciona el manejo posterior que debe dársele al producto, con el fin de no propiciar las condiciones ambientales que permitan un incremento significativo en los recuentos de microorganismos en las fases previas al procesamiento.

La práctica rutinaria de normas sencillas como las consignadas en el Decreto 3075 de Minsalud, de diciembre 23 de 1997, como el no utilizar maquinaria y utensilios en la producción, sin cerciorarse de su correcto lavado y desinfección, no regresar al proceso trozos de material que hayan sido expulsados a sitios expuestos a mayor riesgo de contaminación, no iniciar las labores sin una correcta higiene personal así como la no exposición del material en proceso o terminado a condiciones ambientales favorables para el crecimiento bacteriano, prolongarán en buena medida el tiempo de vida útil de los productos.

Como medidas de control específicas se proponen para evitar los procesos de contaminación proliferación y contaminación: la adquisición de materiales de la mejor calidad microbiológica; prevención de contaminación de las materias primas antes de iniciar el proceso de elaboración; realizar efectiva limpieza y desinfección de los

equipos, herramientas de trabajo y operarios; realizar un procesamiento adecuado; prevenir la contaminación de los productos durante su elaboración y después de ella; utilizar apropiado empaque y embalaje; almacenamiento, transporte y manipulación adecuados de productos listos para el consumo.

Los objetivos de la desinfección pueden ser resumidos en los siguientes:

1. Reducir la contaminación microbiana del medio ambiente general.
2. Evitar el desarrollo microbiano.
3. Eliminar los microorganismos habituales de la piel de las manos del personal que manipula los alimentos y del equipo.
4. Destruir los agentes contaminantes presentes en el agua y alimentos.

Puede dividirse el tipo de desinfección en físico y químico de acuerdo al método que se utilice.

Desinfección física

Los métodos físicos de desinfección se fundamentan en su gran mayoría en tratamientos térmicos combinados con diferentes tiempos de exposición, determinando la severidad del tratamiento de acuerdo con la naturaleza y tipo de contaminación a destruir. Los costos del proceso crecen proporcionalmente a la drasticidad del tratamiento. Es posible establecer la dependencia del número de esporas sobrevivientes respecto el tiempo de aplicación del tratamiento térmico en curvas semilogarítmicas y en procesos isotérmicos, así mismo derivar la equivalencia letal de los tratamientos térmicos a diferentes temperaturas.

Vapor directo. Generalmente se usa a una presión manométrica de 29 p.s.i., lo que garantiza un calor latente de condensación suficiente como para obtener tiempos de proceso razonables y de fácil condición de manipulación industrial

Para mayor seguridad y eficiencia del método, deben cumplirse los siguientes requisitos: las líneas de conducción de vapor deben ser conectadas con las líneas de proceso; no debe introducirse una línea de conducción de vapor dentro de otra de mayor diámetro; debe evacuarse continuamente el agua de condensación; introducir el vapor por las partes altas de los equipos; la sección de salida debe ser mayor que la sección de entrada; el agua de condensación no debe regresar a los equipos; el desfogue del vapor debe ir al exterior de la planta y de allí a una torre de enfriamiento, por ejemplo.

Por el tipo de microbiota que destruye, este es un método muy eficaz en cámaras frías y en equipos que trabajan con baja temperatura.

Como ventajas de uso de este método podrán citarse que no es necesario enjuagar y que no es corrosivo en condiciones normales. Sin embargo, debe evitarse humedecer otros

lugares de la planta, en donde sucedería el efecto contrario.

Agua caliente. Este método puede dar buenos resultados, siempre y cuando la temperatura del agua se mantenga superior a los 90°C y que los equipos estén diseñados de tal manera que permitan una turbulencia generalizada en todo punto.

Para objetos pequeños como anillos, juntas, grifos, filtros, cuchillos, ganchos, resortes, etc., la inmersión en agua hirviendo por un tiempo de 10 minutos puede ser suficiente.

Flameado. Su uso está restringido de acuerdo con la naturaleza del material a desinfectar. Tiene como ventaja que destruye rápidamente los microorganismos y como desventaja su elevado costo.

Aire caliente. Debido a su bajo poder calorífico y su bajo coeficiente de transmisión de calor, actualmente no es muy usado por la inseguridad ofrecida y los tiempos de exposición tan altos. Se usa para la asepsia de botellas, tapas, cápsulas, filtros y eventualmente utensilios de laboratorio.

Lámparas de rayos infrarrojos. Son poco eficaces. Requieren de condiciones físicas especiales. Está restringido su uso básicamente a materiales de empaque y al aire.

Desinfección química

La desinfección química fundamenta su acción en los siguientes principios:

Oxidación. Los agentes oxidantes más fuertes que el Oxígeno, son bactericidas: Peróxido de Hidrógeno, Perborato Sódico y Permanganato Potásico. La acción desinfectante del Cloro depende del Hidrógeno naciente liberado al combinarse el Cloro con el agua mediante la reacción:



Siendo el Ácido Hipocloroso el responsable de la acción bactericida del Cloro, como consecuencia de su reacción con varios grupos oxidables de la célula.

El poder bactericida del ClO^- es de 1% al 12,5% del poder bactericida del HClO .

Acción de los desinfectantes químicos sobre los microorganismos

Coagulación proteínica. La mayoría de los desinfectantes químicos coagulan las proteínas, por ejemplo, las existentes en el protoplasma celular.

El formaldehído y el alcohol tienen su acción sobre todas las proteínas en general. Los metales pesados ejercen su influencia sobre la actividad enzimática.

Pared celular y ruptura de membrana. Un descenso en la tensión superficial del medio en el cual están las bacterias en suspensión, lesiona las células microbianas y en algunos casos, disuelve las bacterias.

Algunas enzimas destruyen la célula por hidrólisis de la pared de la misma.

En algunos casos la acción es simplemente mecánica, algunos aceites destruyen completamente la célula posiblemente por acción hidráulica.

Factores que condicionan la acción de los desinfectantes.

Físicos:

Temperatura. Para la mayoría de las sustancias usadas como bactericidas químicos su acción se ve potenciada por el incremento de la temperatura. El poder bacteriostático del formaldehído se incrementa con la temperatura, de forma que concentraciones relativamente pequeñas pueden frenar el desarrollo microbiano en el caso de los jugos de remolacha.

Este hecho de todas maneras no puede generalizarse para todas las sustancias, el Cloro por ejemplo sufre la inactivación progresiva de su principio activo con el incremento de la temperatura, es por esto que se recomienda su uso por debajo de 40°C.

pH. El pH influye en la actividad del agente bactericida dependiendo de la naturaleza de éste. En una disolución que contenga 25 p.p.m. de Cloro activo, un cultivo de *Escherichia coli* en presencia de restos de cultivo, es destruida en forma estándar en algunos segundos a un pH 4, en 120 segundos a un pH de 6, en 300 segundos a un pH de 8, en 7360 segundos a un pH de 10.

Algunas veces el efecto del pH tiende a contrarrestarse con el incremento de la concentración, pero su efecto es notoriamente muy adverso por la corrosión sobre la maquinaria. Los compuestos yodóforos presentan también una mayor acción a pH ácidos. Caso contrario sucede con los compuestos de Amonio Cuaternario quienes presentan mayor actividad a pH básico.

En algunos casos por razón de su funcionalidad, algunos compuestos no se usan a las condiciones de pH de máxima actividad, tal como sucede con los fenoles que en razón de su solubilidad son usados a pH básicos a pesar de ser más activos a pH bajo.

Materia orgánica. En términos generales la materia orgánica ejerce una acción de protección a los microorganismos de la acción microbicida de los desinfectantes químicos, inhibiéndola o inactivándola.

Diversos autores coinciden en que las suspensiones diluidas de bacterias bien lavadas son muy sensibles a la acción de trazas de ácido Hipocloroso, obteniéndose en la

práctica una esterilización casi completa en algunos minutos en presencia de 0.5 a 5 p.p.m. de Cloro activo, a un pH aproximado de 7; estos resultados únicamente se obtienen en ausencia de toda impureza orgánica. Por el contrario, en presencia de pequeñas cantidades de materia orgánica y a pH bajo, obtenido como consecuencia del empleo de yodóforos, se ha observado que el Iodo podría tener una acción bactericida superior a la del Cloro.

Concentración del desinfectante. Las sustancias desinfectantes presentan una acción determinada al ser usadas en combinaciones de concentración y tiempo en condiciones de pH y temperatura establecidos; los resultados de efectividad de los tratamientos dependen de la correcta combinación de estos factores.

Un desinfectante para ser autorizadamente distribuido en E.E.U.U., debe cumplir con el *use dilution test* el cual determina la habilidad del producto para destruir en 10 minutos películas de cultivo Gram positivas y Gram negativas sobre superficies metálicas, obteniéndose una dosis que debe ser recomendada para superficies no porosas.

Químicos y biológicos. La efectividad de la desinfección se condiciona a factores químicos y biológicos como:

1. La naturaleza química de la sustancia.
2. Constante de ionización.
3. Afinidad por el protoplasma celular o sus constituyentes.
4. Tipo de acción de la sustancia: oxidación, precipitación, etc.
5. Especie del o de los microorganismos.
6. Fase de crecimiento del microorganismo.
7. Tipo de estructura de estos: esporas, cápsulas, etc.
8. Antecedentes del microorganismo: formas resistentes, etc.
9. Presencia de sustancias químicas que contrarrestan la acción desinfectante.

Eficiencia de los desinfectantes.

Como características indicadoras de eficiencia de los desinfectantes se consideran: tener amplio espectro de eficiencia germicida; no ser tóxico para el hombre; no dejar residuo sobre la línea desinfectada después del enjuague; ser estable a las temperaturas de desinfección de la línea; mantener una acción bactericida residual; mantener su acción germicida en presencia de residuos de suciedad; no deben tener acción corrosiva sobre las superficies a desinfectar; poder dosificarse fácilmente; ser económico.

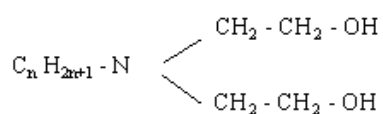
Estas propiedades caracterizan al desinfectante ideal. En la práctica se está obligado a soslayar muchas de ellas o a no satisfacerlas plenamente cuando se enfrenta la elección de un determinado tipo de desinfectante buscando satisfacer, al menos en buena medida, las características que se han priorizado previamente a la elección, de acuerdo con las

necesidades consideradas.

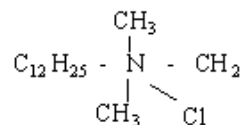
Desinfectantes:

Algunos de los agentes señalados como sustancias de limpieza, presentan acción desinfectante, comenzando por los álcalis fuertes y los ácidos minerales que tienen acción bactericida y, los agentes tensoactivos, que tienen importante acción esporicida.

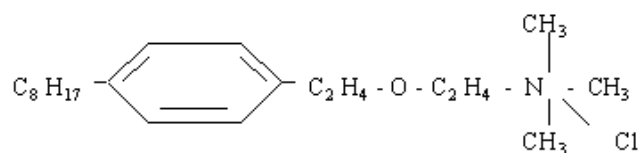
Agentes tensoactivos. Entre los agentes tensoactivos catiónicos se cuentan las alquilaminas primarias, con fórmula general $C_nH_{2n+1}-NH_2$, que además de su poder bactericida, sus óxidos presentan gran capacidad de estabilización de espuma, y las aminas etoxiladas, los cuales se comportan como inhibidores de la corrosión de los metales, cuya fórmula general corresponde a:



Los derivados del amonio cuaternario, cuyos productos más notables son el Cloruro de Dodecil-dimetil-benzil amonio,



y el Cloruro de Diisobutil-fenoxietil-oxietil-dimetilbencil amonio;



las cuales presentan poder bactericida, pero carecen de efectividad frente a las formas esporuladas. Su acción está condicionada prácticamente por el pH, siendo mayor su poder en medio alcalino que en medio ácido.

Tienen excelentes cualidades mojantes, lo que les permite la penetración en sitios de difícil acceso además la carga eléctrica positiva, provoca su adsorción sobre la mayoría de las superficies de frecuente presentación en la industria alimenticia. Presentan por esta última condición una gran dificultad para ser lavados, coloreando en algunos casos el producto. El empleo del dodeciletanolamida-piridinio sulfatado ha demostrado ser un producto seguro y de fácil lavado.

Como propiedades generales de los compuestos de amonio cuaternario se señalan:

1. Son desinfectantes que actúan sobre levaduras y bacterias.
2. Se inactivan rápidamente con compuestos aniónicos.
3. No son corrosivos.
4. Son estables durante su almacenamiento.
5. Tienen acción bactericida rápida.
6. Buena penetración.
7. Previenen y eliminan olores.
8. No irritan la piel y forman una película bacteriostática sobre la superficie que actúan.

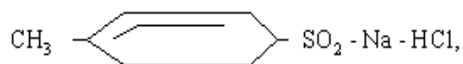
Entre sus limitaciones o condicionantes, pueden citarse:

- Disminuyen notablemente su acción en presencia de suciedad orgánica.
- Dificultad para su dosificación, requiriendo por lo general concentraciones elevadas.
- El pH eficaz para el uso debe ser mayor que seis.

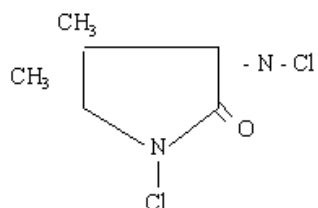
Compuestos clorados. Es posible su uso en forma gaseosa, en forma de hipoclorito o en forma de derivado orgánico.

La disolución del Cloro gaseoso en agua genera la aparición del ácido Hipocloroso quien, como ya se dijo, es el responsable de la acción bactericida del Cloro.

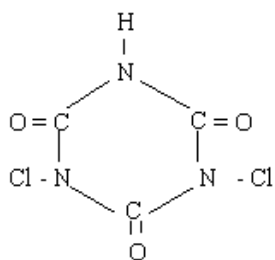
Los derivados orgánicos comúnmente usados para desinfección son los siguientes: Cloramina T, cuya fórmula estructural es:



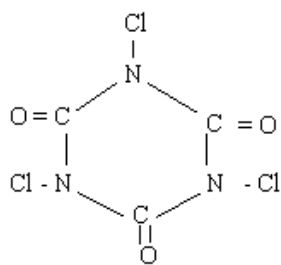
La dicloro-dimetil-hidantoina, cuya fórmula estructural corresponde a:



y los ácidos : Dicloro Isocianúrico, con fórmula estructural:



y el Tricloroisocianúrico cuya fórmula estructural corresponde a:

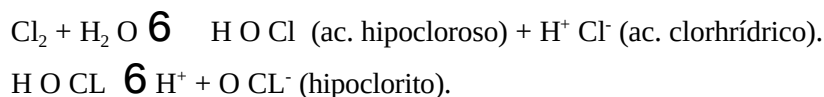


los cuales reaccionan con el agua produciendo HClO, mediante la siguiente reacción general:



A pesar de que la acción de estos compuestos es menos rápida que la del ácido hipocloroso y de que su dosificación es mayor por el bajo rendimiento en la obtención del cloro activo, su presentación en forma sólida estable hace más aconsejable su uso que la del hipoclorito de sodio que se transforma en NaCl y en NaClO₃.

De acuerdo con la reacción del cloro con el agua



Se define :

Cloro libre disponible: cantidad de Cl₂, HOCl y OCl⁻

Cloro combinado disponible: cloro derivados.

Cloro residual: cloro libre disponible

La cantidad de Cloro libre disponible, Cloro combinado disponible y Cloro residual permite determinar el potencial de acción de un producto comercial.

Las características básicas, desde el punto de vista bactericida, de los compuestos colorados, son: economía, rápida acción, no son selectivos, son fáciles de dosificar y enjuagar, son fáciles de conseguir, no forman espuma, son bacteriófagos, no forman película sobre la superficie del equipo, son atóxicos en soluciones acuosas, no producen daños fisiológicos a las concentraciones recomendadas y no requieren experiencia de manejo.

Los hipocloritos más usados en la industria son los de Sodio y Calcio en forma sólida o líquida; estos compuestos a pesar de tener una acción más potente frente a los compuestos clorados presentan algunas y limitaciones para su uso:

- Las soluciones son inestables dependiendo de factores como concentración de la solución, concentración de ciertos catalizadores, pH de la solución, exposición a la luz y temperatura.
- Tienen una elevada acción corrosiva, su ingestión es muy peligrosa, no deben colocarse en contacto con ojos y membranas, producen fuego y explosión fácilmente, por tanto deben mantenerse alejadas de pinturas, combustibles, ácidos, vinagre, fuego. Por supuesto, no deben entrar en contacto con metales, sólo deben mezclarse con agua y como precaución, para medirlas el recipiente debe estar seco.

Iodóforos. El otro gran grupo de compuestos bactericidas son los iodados, conocidos como iodóforos. Estos se obtienen disolviendo el Iodo en una solución acuosa de

alquilfenol en presencia de óxido de Etileno.

Normalmente a los productos comerciales se les adiciona ácido Fosfórico con el fin de disminuir el pH.

Varios autores sostienen que el Iodo fijado sobre un agente tensoactivo no iónico, posee todas las propiedades bactericidas del Iodo elemental pero con acción mejorada por el incremento en su poder de penetración.

Entre las características físicas de los Iodóforos se tienen:

1. baja presión de vapor,
2. casi completa pérdida de olor,
3. no manchan,
4. no son irritantes,
5. indicadores de concentración por intensidad del color, facilitando control visual,
6. rápida acción germicida,
7. no se descomponen fácilmente,
8. se pueden dosificar fácilmente,
9. disuelven depósitos minerales,
10. buena penetración,
11. sólo pueden usarse adecuadamente para desinfección en frío,
12. actúan efectivamente en el rango de pH de 2 a 4,
13. forman espuma cuando se utilizan para procesos "*in situ*",
14. requieren buen enjuague,
15. son costosos.

Comparativamente con el Iodo son más ventajosos de utilizar ya que éste presenta una lenta solubilidad de agua fría, un alto poder de coloración de la materia orgánica y alto poder corrosivo.

Otros desinfectantes.

Formaldehído: se presenta comercialmente en soluciones al 40%, siendo efectivo a concentraciones de 250 a 1000 p.p.m., es decir, pudiéndose utilizar diluido de 39 a 159 veces su volumen. Normalmente, se usa adicionado con un agente tensoactivo.

Agua oxigenada: Su uso está restringido a superficies y materiales de empaque, etc. También se emplea como conservante de la leche, bajo determinadas circunstancias y teniendo en cuenta que sea leche para posterior pasteurización.

El Oxido de Etileno usado sobre todo para insumos de la industria de carnes: sal, especias, etc; la α Propiolactona; el Ozono, la Plata y el Anhídrido Sulfuroso.

PROGRAMA DE HIGIENIZACIÓN DE PLANTA

Este programa comprende desde el establecimiento de condiciones relativas al orden, a la estética, a la seguridad industrial hasta la técnica de selección del tipo, elementos y procesos de limpieza y desinfección, así como de los mecanismos de implementación.

Orden y aseo. La primera impresión que el visitante se lleva al conocer una planta de producción ordenada y aseada es la de calidad del producto, esta estrategia de producción no sólo se refleja allí sino también en la disminución de costos de producción y la mayor eficiencia en el procesamiento.

Aunque no debería hacerse, es posible para cada situación de producción de alimentos, fundamentar un programa de higienización, en la sola disminución de costos de producción, para mayor eficiencia en el procesamiento y disminución de materiales devueltos.

La implementación de un programa de esta índole en una empresa, exige voluntad gerencial, con cursos para capacitación para los operarios y supervisores encargados de vigilar el cumplimiento de los programas establecidos. De acuerdo con la visión general que se tenga sobre el problema, es obvio que requiere de una participación íntegra de cada una de las personas que intervengan en el proceso productivo. La creación en la empresa de grupos de operarios que compitan entre sí por el mejoramiento y mantenimiento de las condiciones higiénicas en su puesto de trabajo, es una estrategia que arroja positivos resultados en corto tiempo.

Un programa de éstos debe estar apoyado en aspectos como:

1. construcciones adecuadas para cada una de las líneas de producción,
2. pasillos amplios y claramente marcados,
3. espacios amplios para realizar el trabajo diario,
4. almacenamiento adecuado tanto de materias primas como de herramientas y utensilios y de producto terminado,
5. equipo de procesamiento en óptimas condiciones,
6. ventilación adecuada,
7. métodos de operación que eviten la congestión,
8. pisos, paredes y techos que permitan una adecuada limpieza y desinfección,
9. buena iluminación, bien difundida y uso eficaz de la luz natural,
10. instalaciones de servicio personal en buen estado. Baños modernos y limpios, casilleros amplios y un lugar agradable para tomar refrigerios,
11. vías de acceso amplias, en concreto o pavimento,
12. eliminar acumulación de recipientes para la basura, botellas quebradas, cajas, tarros, material de empaque deshechado o equipo dado de baja de los patios o vías de acceso.

Estas recomendaciones además de contribuir al orden y al aseo en la planta, proporcionarán el elemento básico para un programa de seguridad industrial.

Limpieza y desinfección. El procedimiento a seguir se fundamenta en el conocimiento previo de la suciedad a eliminar, identificándola previamente, evidenciando sus características. De acuerdo con ello se elige el detergente a utilizar, optimizando la elección de conformidad con las restricciones, constituídas básicamente por material de construcción de los equipos, diseño de los mismos (partes de difícil acceso), distribución interna, tipo de limpieza a realizar (por desmantelamiento, "*in situ*"), diseño y construcción física de la planta, efectividad, factores sociales, ambientales y económicos.

Una vez realizada la escogencia entre las diversas alternativas, debe procederse a realizar pruebas de efectividad que permitan elaborar un plan de trabajo para cada sección, área y equipo de producción de la empresa donde se determinen concentración, procedimiento de ejecución: desmantelamiento, ensamblaje, velocidad de flujo, necesidad de acción mecánica, tiempo de acción y periodicidad para el proceso de limpieza.

El mismo procedimiento puede seguirse para el proceso de desinfección, teniendo en cuenta los mismos factores adicionados a la compatibilidad que debe existir entre el agente desinfectante y el de limpieza.

Estos dos procedimientos deben ser realizados eficientemente y con esmero. Recuérdese en todo momento que se trata de operaciones complementarias y de que el grado de efectividad de la desinfección depende de la eficiencia en la limpieza.

BIBLIOGRAFÍA

COLOMBIA. MINISTERIO DE SALUD. Decreto No. 2278: por el cual se reglamenta parcialmente el título V de la Ley 09 de 1979 en cuanto al sacrificio de animales de abasto público o para consumo humano, y el procesamiento, transporte y comercialización de su carne. Bogotá: El Ministerio, 1982. 109p.