

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL LITORAL

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

Tesis presentada como parte de los requisitos de la Universidad Nacional del Litoral para la obtención del Grado Académico de:

MAGISTER en *Tecnología y Ciencias de Alimentos.*

DETERMINACIÓN OBJETIVA DEL COLOR EN LA ELABORACIÓN DE PASTAS MODELO DE EMBUTIDOS CRUDO-CURADOS.

Realizada en el Departamento de Salud Pública de la Facultad de Ciencias Veterinarias (Esperanza) y en el Instituto de Tecnología en Alimentos (ITA) de la Universidad Nacional del Litoral.

por

Bioq. María Teresita Benzzo

Director de Tesis: Dr. Marcelo Raúl Rosmini

**Miembros del Jurado: Dr. Rolando González
M. Sc. Dr. Med. Vet. Ricardo Rodríguez
M.Sc. Bioq. Norma Pensel**

-2005-

INDICE DE CONTENIDOS

	Página
I.- RESUMEN	I
II.- INTRODUCCIÓN	
II.1.- El color	1
II.2.- El color en los alimentos	4
II.3.- El color de la carne	6
II.3.1.- Propiedades químicas de la Mioglobina	11
II.3.2.- Propiedades físicas de la Mioglobina	14
II.4.- Factores que afectan el color de la carne	15
II.5.- Ingredientes utilizados en el curado de las carnes	18
II.5.1.- Sal.	18
II.5.2.- Agentes de curado: Nitrito y Nitrato	21
II.5.3.- Polifosfastos	26
II.5.4.- Azúcares	29
II.5.5.- Aceleradores del curado	32
II.5.5.1.- Ascorbato y eritorbato de sodio	32
II.5.5.2.- Gluconodeltalactona	36
II.5.6.- Especias	37
II.5.6.1.- Pimentón	39
II.5.6.2.- Composición química del pimentón	42
II.6.- TECNOLOGÍA DE LA FABRICACIÓN DE LOS	45
EMBUTIDOS CRUDO-CURADOS	

II.6.1.- Selección de las materias primas	46
II.6.1.1.- Magro	48
II.6.1.2.- Grasa	51
II.6.2.- Picado	53
II.6.3.- Amasado	55
II.6.4.- Reposo de la pasta.	56
II.6.5.- Embutido	57
II.6.6.- Escurrido	58
II.6.7.- Estufado	59
II.6.8.- Secado	60
II.6.9.- Envasado	61
II.6.10.- Almacenamiento	62
II.7.- METODOLOGÍA EMPLEADA EN LA DETERMINACIÓN DEL COLOR	
II.7.1.- Bases para la medición del color	63
II.7.2.- Sistemas de color	68
II.7.2.1.- Sistema Munsell	69
II.7.2.2.- Sistema Hunter	71
II.7.2.3.- Sistemas CIE	73
II.7.3.- Métodos para la determinación del color.	80
II.7.3.1.- Atlas colorimétricos	80
II.7.3.2.- Colorímetros	81

II.7.3.3.- Espectrofotómetros	85
II.7.4.- Índices basados en la medida de reflectancia	87
III.- OBJETIVOS	
III.1.- Objetivos generales	91
III.2.- Objetivos particulares	91
IV.- MATERIALES Y MÉTODOS	
IV.1.- Elaboración de las pastas	94
IV.1.1.- Selección de las materias primas	94
IV.1.2.- Troceado y picado del magro	94
IV.1.3.- Formulación de las pastas y mezclado	95
IV.1.4.- Reposo de las pastas	96
IV.2.- Toma de muestras	96
IV.3.- Determinaciones analíticas	96
IV.3.1.- Análisis químicos	96
IV.3.2.- Análisis fisicoquímicos	97
IV.4.- Diseño experimental	99
IV.5.- Análisis estadístico	100
V.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
V.1.- Caracterización del magro de cerdo	102
V.1.1.- Caracterización química	102
V.1.2.- Caracterización fisicoquímica	102

V.1.3.- Caracterización mediante parámetros de color	103
V.2.- Sistemas modelos de pastas cárnicas	104
V.2.1.-Análisis de la variable luminosidad (L^*)	104
Pimentón	105
Ácido láctico	107
Cloruro de sodio	112
Tripolifosfato de sodio	114
Picado	119
V.2.2.- Coordenada rojo-verde (a^*)	119
Pimentón	122
Ácido láctico	123
Cloruro de sodio	126
Tripolifosfato de sodio	129
Picado	130
V.2.3.- Coordenada amarillo-azul (b^*)	133
Pimentón	138
Ácido láctico	139
Cloruro de sodio	142
Tripolifosfato de sodio	148
Picado	155
V.2.4.- Índice de rojez (a^*/b^*)	157
Pimentón	160
Ácido láctico	161
Cloruro de sodio	163
Tripolifosfato de sodio	164

Picado	165
V.2.5.- Magnitud psicofísica Tono (H*)	165
Pimentón	168
Ácido láctico	170
Cloruro de sodio	172
Tripolifosfato de sodio	174
Picado	175
V.2.6.- Magnitud psicofísica Cromo (C*)	175
Pimentón	178
Ácido láctico	178
Cloruro de sodio	180
Tripolifosfato de sodio	183
Picado	186
VI.- CONCLUSIONES	188
VII.- BIBLIOGRAFÍA	191

I.- RESUMEN

El color es un factor de calidad determinante para la elección de los alimentos en general y de los productos cárnicos en particular.

Su importancia en la Tecnología de Alimentos se basa en la sensación que experimenta el consumidor al percibirlo. Es apreciado siempre en primer lugar cuando los alimentos están expuestos y está relacionado con su composición química y grado de alteración. Esto justifica que se lo utilice para evaluar algunos de los cambios ocurridos durante el proceso de elaboración, almacenamiento y comercialización.

La carne y sus productos derivados constituyen el mejor ejemplo sobre la influencia que ejerce el color de los mismos sobre los consumidores.

En la carne fresca el color depende de la concentración de mioglobina (Mb) y de la relación existente entre las diversas formas del pigmento. La carne deja de estar “fresca” cuando la concentración de la metamioglobina (MetMb) alcanza el 20 % del total de la Mb. Si bien la intensidad del color depende de la concentración de Mb presente en el músculo, su tono en cambio dependerá del estado químico en que se encuentre. De esta forma, la oximioglobina (OMb) proporciona mayor contribución de tonos rojos y amarillos que la Mb.

La elaboración de los embutidos crudo-curados tiene lugar en cuatro etapas básicas: picado, amasado-reposo, estufado y secado. La formación del color en estos productos es una respuesta a los mecanismos bioquímicos relacionados con las características de la carne cruda, los aditivos y especias utilizadas y la tecnología aplicada. El picado y el amasado-reposo resultan importantes en la formación del color porque facilitan el íntimo contacto de los aditivos y especias con el pigmento natural (Mb) de la carne cruda.

El objetivo de este trabajo fue estudiar el comportamiento de las variables de color en sistemas modelo de pastas cárnicas, elaboradas con magro de cerdo y adicionadas de diferentes mezclas de aditivos y pimentón. Se determinó, además, la evolución de las coordenadas durante la etapa de amasado-reposo y se evaluó la influencia de la operación de picado en el desarrollo del color. Se utilizó para ello la espectrofotometría de reflectancia y el espacio de color CIELAB.

Los resultados obtenidos demostraron que el pimentón disminuyó el valor de la luminosidad (L^*) e incrementó los valores de las coordenadas rojo-verde (a^*), amarillo-azul (b^*), índice de rojez (a^*/b^*) y la saturación (C^*) de las pastas de magro porcino, situando el tono (H^*) de éstas en el rango de los naranja-rojizos. El ácido láctico incrementó los valores de L^* y b^* y disminuyó los de a^* y el a^*/b^* . Las pastas con 1,00 % de ácido láctico mostraron un H^* dentro del rango de los naranja-rojizos el cual varió al rango de los naranja-amarillento durante la etapa de amasado-reposo. La sal, a concentraciones del 3,00 %, redujo la L^* , a^* , b^* y C^* e incrementó el a^*/b^* , situando el H^* de las pastas de magro en el rango de los naranja-rojizos. El tripolifosfato disminuyó la L^* e incrementó las coordenadas a^* , b^* , a^*/b^* y C^* , ubicando el H^* en el rango naranja-rojizos. El efecto del pimentón en el color de las pastas predominó sobre el de los otros aditivos.

El picado fino produjo valores superiores de L^* , a^* , b^* y C^* respecto de los picados con placa (10 y 20 mm), y disminuyó a^*/b^* . Por otra parte, el H^* de las pastas se situó en la zona de los naranja-rojizos, independientemente del nivel de picado aplicado.

Los valores de a^* , b^* y del a^*/b^* disminuyeron a lo largo de la etapa de amasado-reposo. Esto indicó una mayor degradación de los componentes rojos frente a los amarillos. Los índice de decoloración (R_{650}/R_{570}), de transformación de pigmentos

(R_{630}/R_{580}) y $R_{630}-R_{580}$ también disminuyeron durante esta etapa, lo cual implicó un aumento de la proporción de MetMb respecto de la Mb y OMb de las pastas.

Estas observaciones permiten comprender cómo influyen cada uno de los factores estudiados en la formación del color de las pastas y sus posibles usos al momento de diseñar un producto cárnico. Resulta interesante orientar las investigaciones futuras hacia el estudio de otras etapas del proceso de fabricación, así como la influencia de otros factores como la actividad de los microorganismos fermentadores.

II. INTRODUCCIÓN

II.1- El color

El *color* es un atributo de la visión. Los ojos, al detectar un ámbito poco extenso de las radiaciones electromagnéticas, hacen posible la identificación subjetiva de cada uno de los colores que se perciben en la vida real. El color es también una característica de la luz que puede definirse como la forma de la energía radiante que es capaz de estimular la retina del ojo humano, provocando un proceso consciente que da lugar a las sensaciones visuales. Esta definición es *subjetiva* pues la hace depender del observador. Por otra parte la luz blanca, compuesta por todas las radiaciones del espectro visible, es la que permite ver los colores de los objetos pues éstos, al absorber algunas radiaciones y reflejar, transmitir y/o difundir las otras, asumen su característica de color con que se las reconoce. Podemos así arribar a la definición dada por *Judd* que dice que “*si dos objetos de igual forma y textura, iluminados con la misma luz y en idénticas condiciones de observación pueden diferenciarse, el atributo que permite tal diferenciación es el color*”. Es decir que los colores dependen de los objetos y de la luz que los ilumina. Profundizando aún más e integrando lo dicho hasta el momento, definimos al color como el atributo de la luz que hace corresponder unívocamente a cada distribución espectral una sensación. Por tanto, si la composición de la radiación espectral es una característica *física*, y el color, que depende del observador, es *psicológica*, el fenómeno en su concepción es *psicofísico* (Lozano, 1978).

El estudio científico de la luz y el color comienza a partir de los famosos trabajos del científico inglés Issac Newton en 1666 en relación con la luz blanca y la obtención de sus componentes monocromáticos (McLaren, 1984). Su obra “*Óptica*” fue publicada en 1704 y expone la concepción física acerca de la luz blanca y el color. Sin embargo, la falta de un método práctico para la medición e identificación de un color la hace incompleta. No

obstante, su mérito fue haber trazado la línea a seguir para llegar a una medición real del color.

Es importante destacar que la ciencia del color abarca muchas áreas, las cuales están íntimamente relacionadas, y cuya integración permitió la explicación completa de dicho fenómeno, así como su posterior medición. La prueba de esto radica en que si bien Newton estudió el color estrictamente desde el punto de vista físico, Goethe (1749-1832), célebre escritor y poeta alemán, lo hizo desde una concepción psíquica y subjetiva. Él consideraba el color como un caso particular de impresión visual realizada por el observador. De modo que mientras para Newton el fenómeno era objetivo, para Goethe lo era exclusivamente subjetivo. Posteriormente sería Thomas Young (1773-1829) el primero en predecir *la teoría tricromática del color* a través del conocimiento de la existencia en la retina de tres detectores diferentes cuya conjunción produce el estímulo del color. La teoría de Young fue posteriormente completada por Herman Ludwig von Helmholtz (teoría de Young-Helmholtz). Helmholtz se extiende más allá y explica otros fenómenos asociados a la percepción del color como los de adaptación a la luz de color, fatiga visual, imágenes accidentales, etc. Uno de sus colaboradores, König, profundiza sobre las anomalías cromáticas de la visión. Así, mientras la solución física del fenómeno era analizada y estudiada con detenimiento por muchos, la teoría psicológica del color de Goethe fue relegada. Recién en 1872 Hering la retoma con criterio estrictamente científico. Su teoría, conocida como la *teoría de los colores oponentes*, fue ampliada luego por Adams (1923) y Müller (1924-1930). Finalmente ambas concepciones, física y psicológica, son ligadas primero a través de *la teoría de zonas* de Von Kries y más tarde por la relación matemática que las vincula establecida por Schrodinger (Lozano, 1978).

La *teoría tricromática* tiene su fundamento en el órgano de la visión, el ojo. Éste funciona como una cámara fotográfica, se dirige al objeto, lo encuadra, lo enfoca, se aproxima

o se aleja y se adapta a la luz de la que dispone (Streitwieser & Heathcock, 1981). Externamente, el ojo está recubierto por una membrana denominada *esclerótica* que se observa como la parte blanca del órgano. En su parte delantera existe una fina capa transparente: la *córnea*, la cual permite el ingreso de luz. Ésta atraviesa el *iris* (parte coloreada), que funciona como un diafragma de diámetro variable, para luego hacerlo a través de la *pupila* y, a continuación, ser difractado por el *crystalino*. Éste último es una especie de lente que divide el globo ocular en dos zonas: el *humor acuoso* (exterior) con características similares a la del agua salada, y el *humor vítreo* (interior) de consistencia gelatinosa y transparente. Es en la pared interna del humor vítreo donde se aloja la capa sensible a la luz: la *retina*. La misma contiene los fotorreceptores denominados *conos* y *bastones* que tienen una percepción visual diferente influenciada por la intensidad luminosa. La distribución de los mismos en el área de la retina no es uniforme. Esto se evidencia aún más en un área de la retina, denominada *fóvea centralis*, la cual está a su vez contenida en una región mayor conocida como *mancha de Maxwell* o *mancha amarilla*. La fóvea centralis tiene un diámetro que no excede de 0,25 mm y se caracteriza por la presencia de conos y la ausencia de bastones. En este punto la agudeza visual es máxima permitiendo ver como dos objetos distintos o separados a aquellos que estén a más de 0,1 mm de distancia.

Los conos son sensibles a los niveles altos de iluminación y al color. En ellos se han encontrado por lo menos tres pigmentos sensibles: eritrolabe, clorolabe y cianolabe, para el rojo, el verde y el azul respectivamente. Al parecer el pigmento rojo sería portador de la sensación de luminosidad pues concuerda con las anomalías de la visión del color. Mientras que las personas que son defectuosas en la visión del verde (deuteranopes) tienen una sensibilidad luminosa espectral normal, las defectuosas en la visión del rojo (protanopes) tienen la curva de luminosidad con su pico máximo desplazado hacia el azul (Lozano, 1978). Los bastones son aún más sensibles a la intensidad luminosa que los conos, lo cual les permite

enfocar puntos débiles, sin embargo no lo son a la visión de los colores. Es decir que durante la noche, cuando la intensidad de luz es muy baja, la visión depende exclusivamente de los bastones, mientras que durante el día entran en funcionamiento los conos responsables de la percepción del color (Aguilera, 1997). De esta forma y volviendo sobre la teoría tricromática, ésta se basa en suponer la existencia de un sistema trirreceptor en el órgano de la visión, es decir, que sin importar la composición espectral de la radiación que llega a la retina, la respuesta será evaluada según tres parámetros. Luego, cuando un observador ve un determinado color, puede discriminar su *claridad* (atributo del color que hace corresponder a cada uno de ellos una equivalencia con una escala de grises), su *tono* (atributo que adjudica al color una cualidad que se define como rojo, verde, azul, o cualquier combinación de ellos) y su *saturación* (atributo que fijado el tono, describe al color por su similitud con un color espectral puro, cuanto más parecido a éste, resulta más saturado). El resultado implica una integración de los tres parámetros no pudiendo el observador discernir qué tipo de radiación produce la sensación de color (Lozano, 1978).

II.2- El color de los alimentos

La propiedad óptica más importante de los alimentos es el color. La *transparencia* y la *opacidad*, relacionadas con la cantidad de luz que el material deja pasar a su través o que se refleja en él, y la *turbiedad*, relacionada con el fenómeno de difusión en el material, se aprecian junto con el color. Estas propiedades otorgan el *aspecto visual* de los alimentos. Dicho aspecto y, en especial el color, es el atributo que se tiene en cuenta a la hora de adquirir o ingerir un alimento. La reacción que una persona tiene frente a un determinado alimento está condicionada por la sensación que experimenta al percibir el color del mismo. De esta forma, puede rechazarlo sin considerar otras posibles características, o aceptarlo, pasando a considerar la bondad de otras. De ahí la importancia del color en el ámbito de la Tecnología

de Alimentos, pues influye en la aceptación del consumidor, permitiéndole además diferenciar entre distintos productos que se le presenten. Así, frente a la textura y al sabor, tiene la particularidad de ser apreciado siempre en primer lugar. Pero el color también está relacionado con la composición química o el grado de desarrollo o de alteración de un alimento. Un tomate que se aprecia “verde” nos indica que es firme y ácido, que se encuentra en una fase determinada del proceso de maduración y, esencialmente, que está sano o libre de alteraciones. Pero si es parcialmente verde y parcialmente rojo, todo rojo, o con manchas amarillas o zonas decoloradas, dicha observación nos informa sobre su madurez, textura, sabor y posible alteración. El hombre utiliza frecuentemente estas relaciones en su diario contacto con los alimentos. De igual forma, estas relaciones son utilizadas por la tecnología tomando el color como índice de transformaciones naturales en los alimentos frescos o de cambios ocurridos durante el procesamiento (Aguilera, 1997). Por ejemplo, una bebida es originalmente más clara que cuando la recibe el consumidor y una gran variedad de frutas se cosechan antes de su madurez y son de color verdes.

Por otra parte, el consumidor relaciona los distintos atributos del alimento para decidir su aceptación. De esta forma, el color pesa más que el flavor en la impresión que causan sobre el consumidor y tiene, además, una poderosa influencia en la estimación de la consistencia y la calidad del alimento.

En el ámbito industrial, los colores son agregados a los alimentos por diferentes razones:

- a) Restaurar la apariencia natural del alimento, por ejemplo cuando los colores naturales han sido destruidos por acción del calor (vegetales o frutas enlatadas) y el subsiguiente almacenamiento.

- b) Asegurar la uniformidad del color, cuando existen variaciones en la intensidad del mismo como en el caso de la fruta obtenida a diferentes tiempos durante una misma estación.
- c) Intensificar los colores naturales de los alimentos, por ejemplo cuando el color es más débil que el asociado por el consumidor con un determinado flavor, como el yogurt con frutas, las salsas, las bebidas suaves.
- d) Proteger el flavor y las vitaminas sensibles durante el almacenamiento por un efecto pantalla.
- e) Lograr una apariencia atractiva en los alimentos que de otro forma lucirían desagradables, por ejemplo en las jaleas elaboradas a partir de gelatina.
- f) Servir de indicador visual de calidad.

La incorporación de colores a los alimentos no sólo mejora la aceptabilidad sino que constituye un auxiliar en la manufactura, almacenamiento y control de calidad de los alimentos (Newsome, 1986).

II.3- El color de la carne

La carne y sus productos derivados constituyen el mejor ejemplo sobre la influencia que ejerce el *color* de los mismos sobre los consumidores. Está demostrado que si el color es satisfactorio, un panel de degustación califica mucho mejor el producto (Durand, 1984). Esto significa que los compradores rechazan la carne que ha perdido su color rojo brillante, repercutiendo en la industria con grandes pérdidas económicas (Martín, 1998).

El color de la carne es principalmente el resultado de la concentración de los pigmentos presentes y de su estado químico, otras características físicas como el depósito de grasa y diversas propiedades de superficie (ver más adelante). La *mioglobina* es la fuente principal, aunque no en forma absoluta, del color de la carne. El contenido de la misma puede

variar enormemente dependiendo de la *especie* (bovinos 0,3-1%, porcinos 0,04-0,06 %, ovinos 0,2-0,6 %), *raza, sexo* (el toro tiene mayor proporción que la vaca), *edad* (aumenta con la misma), *tipo de músculo, ejercicio* (los animales de pastoreo tienen un contenido mayor que los estabulados) y *tipo de alimentación* que recibe el animal (un bajo contenido de hierro en la dieta produce bajo nivel de mioglobina en el músculo) (Eder, 1996). De las proteínas musculares, la mioglobina pertenece al grupo de las sarcoplasmáticas, es decir las que se hallan en el sarcoplasma o fluido que, junto con otras proteínas y sustancias orgánicas e inorgánicas, rodean a las miofibrillas. Su función es almacenar el oxígeno en el músculo con lo cual su afinidad por el mismo es mayor que en el caso de la hemoglobina. Esta es la razón de las diferentes concentraciones existentes de mioglobina para distintos músculos (Guerrero, 1998). Ejemplos de ello lo constituyen la constante operatividad de los músculos del diafragma que poseen más mioglobina que el músculo *Longissimus dorsi* usado menos intensamente (Eder, 1996). En los animales vivos la mioglobina representa el 10 % del total del hierro presente en el músculo mientras que tras el sacrificio del animal y su sangrado, con lo cual se elimina la mayor parte de la hemoglobina, el 95% del hierro presente se halla asociado a la mioglobina (Guerrero, 1998). Es una proteína conjugada cuyo grupo prostético es el *hemo*, al cual debe su intenso color pues la parte proteica (*globina*) no contribuye en absoluto al mismo (Pinel, 1982). Estructuralmente se la define como una *proteína globular*, de estructura muy compacta y plegada específicamente de forma casi triangular, unida a un grupo hemo (Whitaker, 1972; Bohinski, 1978) (Figura 1). Contiene una única cadena polipeptídica constituida por 153 restos de aminoácidos y cuyo peso molecular es de 16900 daltons (Lehninger, 1994). Ésta conforma 8 segmentos relativamente rectos (aproximadamente el 70 % de los aminoácidos se hallan en estos segmentos) separados por curvaturas ocasionadas en la cadena por la incorporación de aminoácidos tales como prolina (ruptor de estructura α -hélice), serina e isoleucina. Cada segmento posee una estructura

secundaria de α -hélice en sentido dextrógiro, constando el más largo de 23 aminoácidos y el más corto de 7. Su marcada estabilidad es producto del elevado contenido helicoidal, así como de la ausencia de enlaces disulfuro (Whitaker, 1972; Suttie, 1979).

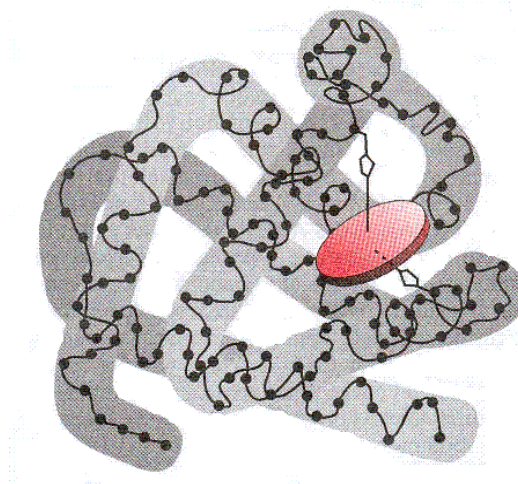


Figura 1.- Representación esquemática de una molécula de mioglobina.

En la estructura terciaria predominan las interacciones de tipo no covalente, como las fuerzas de Van der Waals, puentes de hidrógeno, atracciones electrostáticas entre cadenas laterales y las interacciones hidrofóbicas entre cadenas apolares (Stryer, 1988). Estas últimas son las más importantes, localizándose hacia el interior de la molécula y siendo las responsables de la estabilización de la matriz interna. La evidencia de tal compacidad estriba en el hecho de la presencia tan sólo de cuatro moléculas de agua en el interior de la molécula, las cuales serían atrapadas durante el plegamiento de la cadena (Laguna & Piña, 1981). Obviamente la superficie de la molécula tiene carácter hidrófilo, encontrándose todos los aminoácidos polares hidratados (Morris, 1980).

El grupo hemo es un derivado del núcleo porfina, anillo planar voluminoso formado por cuatro grupos pirrol unidos entre sí por puentes metilénicos ($=C-$). Los pirroles se enumeran de I a IV y los puentes metilénicos se designan con letras griegas, de α a δ . Los

números 1 al 8 indican posiciones de átomos de hidrógeno unidos a carbonos de los grupos pirrol (Figura 2). Esta estructura planar, donde todos los átomos se encuentran en un mismo plano, presenta resonancia. Cuando los hidrógenos de las posiciones 1 a 8 se sustituyen por radicales carbonados, la porfina se convierte en *porfirina*.

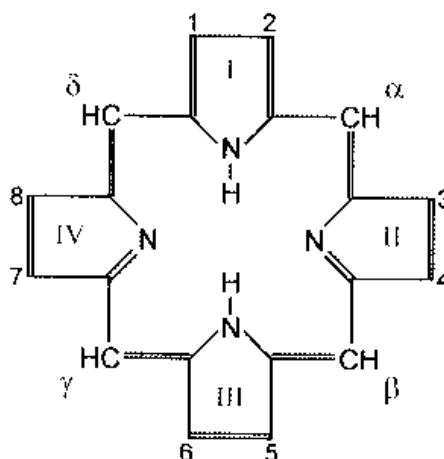


Figura 2.- Núcleo porfina. Los núcleos pirrol son indicados con números romanos, los puentes metilénicos con letras griegas y los números 1 a 8 las posiciones que pueden ser sustituidas por diferentes cadenas carbonadas.

Según el tipo de sustituyente las porfirinas reciben distintos nombres. La *protoporfirina III* es la que forma el hemo donde los sustituyentes son radicales metilo ($-\text{CH}_3$) en las posiciones 1, 3, 5 y 8, vinilo ($-\text{CH}=\text{CH}_2$) en 2 y 4 y propionilo ($-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{COOH}$) en 6 y 7. En el centro de la misma se halla “engarzado” un átomo de hierro en estado ferroso (II) el cual puede formar seis enlaces coordinados, aceptando pares de electrones no compartidos de otros ligandos. Cuatro de dichos enlaces se establecen con la molécula plana de protoporfirina, específicamente con los nitrógenos (N) de los pirroles, mientras los otros dos quedan perpendiculares al complejo planar. Es el quinto enlace el que liga el hemo a la globina a través del N del núcleo imidazol de un aminoácido histidina, mientras que el sexto permanece abierto (R) actuando como punto de unión a la molécula de oxígeno (O_2) (Blanco, 2000; López de Torre & Carballo-García, 1991) (Figura 3).

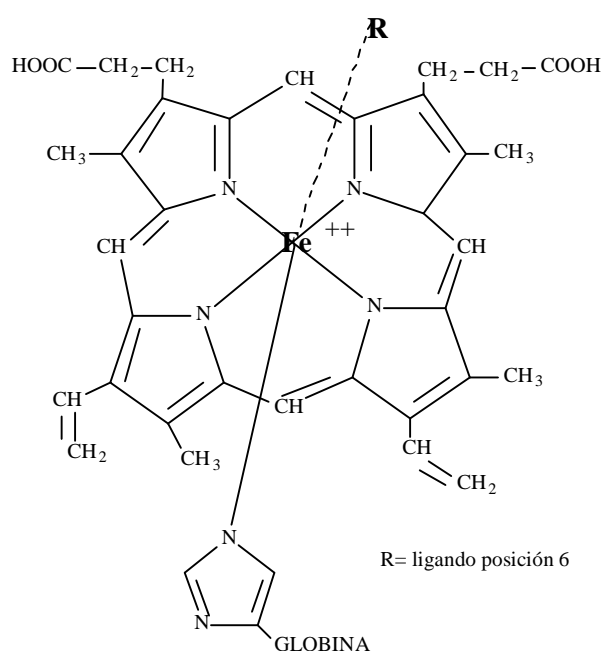


Figura 3.- Estructura simplificada del grupo hemo en la mioglobina (Pérez Álvarez *et al.*, 1999).

Finalmente el grupo hemo también se sujeta a la porción proteica de la mioglobina por medio de puentes hidrógeno que se establecen entre las cadenas de ácido propiónico de la protoporfirina III con otras cadenas laterales de la “bolsa” (las cadenas de naturaleza hidrofóbica que constituyen la globina generan en el interior de la molécula una *bolsa* en la cual se encuentra el grupo hemo) (Stauton-West *et al.*, 1969; Streitweiser & Heathcock, 1981). Sólo cuando el hierro (Fe) se halla en estado ferroso (II) la mioglobina puede experimentar oxigenación y cumplir así su función. Si el hierro se oxida a férrico (III) el grupo hemo se convierte en hematina y la mioglobina en metamioglobina incapaz de almacenar oxígeno (Blanco, 2000).

La hemoglobina es otro de los pigmentos que imparten color a la carne y su contribución al mismo depende del nivel de sangrado del animal. Con un sangrado óptimo se obtienen piezas de vacuno y cerdo con menos de 6 y 8 % de contenido en hemoglobina respectivamente (Eder, 1996). Contiene un grupo hemo idéntico al de la mioglobina y capaz,

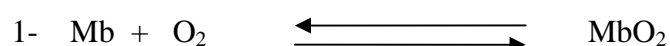
como ella, de experimentar oxigenación y desoxigenación reversible. Se halla en realidad emparentada funcional y estructuralmente con ésta aunque su peso molecular es 4 veces superior pues posee cuatro cadenas polipeptídicas, cada una con un grupo hemo (Fernández López, 1998).

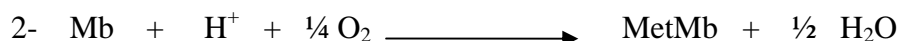
Otros compuestos que imparten color a la carne son algunos sistemas enzimáticos cuyos coenzimas o grupos prostéticos tienen propiedades cromóforas, tales como los citocromos (rojos), catalasas, vitamina B₁₂, peroxidasas (Giffie *et al.*, 1960; Pearson & Tauber, 1984) y flavinas (coenzimas amarillos) (Baduí, 1981).

II.3.1- Propiedades químicas de la Mioglobina

Estas propiedades derivan de la capacidad de la mioglobina para formar complejos iónicos o covalentes con otros iones o moléculas. Estos ligandos se unen, a través del sexto enlace de coordinación disponible en la mioglobina, dependiendo del estado de oxidación del hierro (Fe) del grupo hemo (Fox, 1966; Cheftel *et al.*, 1989). Cuando el Fe se oxida (III) el grupo hemo adquiere una carga positiva (Kanner, 1994) y típicamente enlaza ligandos cargados negativamente como fluoruro, nitrito y cianuro (F⁻, NO₂⁻ y CN⁻ respectivamente) (Fox & Ackerman, 1968). Estos ligandos varían en su capacidad de donar pares de electrones pues mientras el nitrito es un débil dador, los fluoruros y los cianuros son dadores fuertes formando complejos más estables (Fox, 1994) con el hemo.

Aún cuando la carne no haya sido sometida a cierto tratamiento, la mioglobina sufre diversas transformaciones que afectarán desde luego el color de la carne (Figura 4), tal como puede deducirse en el siguiente esquema:





De manera que cuando el Fe se oxida (III) se forma la *metamioglobina* (MetMb), no pudiendo ligarse más el O₂ a la molécula. La producción de este pigmento color marrón es acelerada por bajas presiones parciales de oxígeno (O₂), aunque ciertos enzimas reductores presentes en la carne son capaces de retransformar la metamioglobina nuevamente en mioglobina. De esto se puede deducir que dado que el metabolismo residual del tejido y el desarrollo creciente de microorganismos reducen la tensión de oxígeno presente, el color rojo brillante típico de la oximioglobina (MbO) se va perdiendo por formación de la MetMb marrón (Cheftel *et al.*, 1989).

La oxigenación de la Mb (complejo no covalente de oxígeno y mioglobina) da lugar a la OMb de color rojo brillante (Lanari & Cassens, 1991), pero también puede formar complejos con otros ligandos. Con el monóxido de carbono (CO) forma carboximioglobina (COMb) y con el óxido nítrico (NO) nitrosilmioglobina o nitrosomioglobina (NOMb) (el óxido nítrico es un fácil dador de electrones y formaría fuertes enlaces covalentes coordinados). Los agentes reductores como el ácido sulfhídrico (H₂S) y los ascorbatos forman los pigmentos llamados sulfomioglobina de color verde (SMb) y colemioglobina (coleMb) respectivamente, también verde. Estos últimos se producen en la carne como resultado de una intensa actividad bacteriana y el exceso de agentes reductores (Fox, 1994).

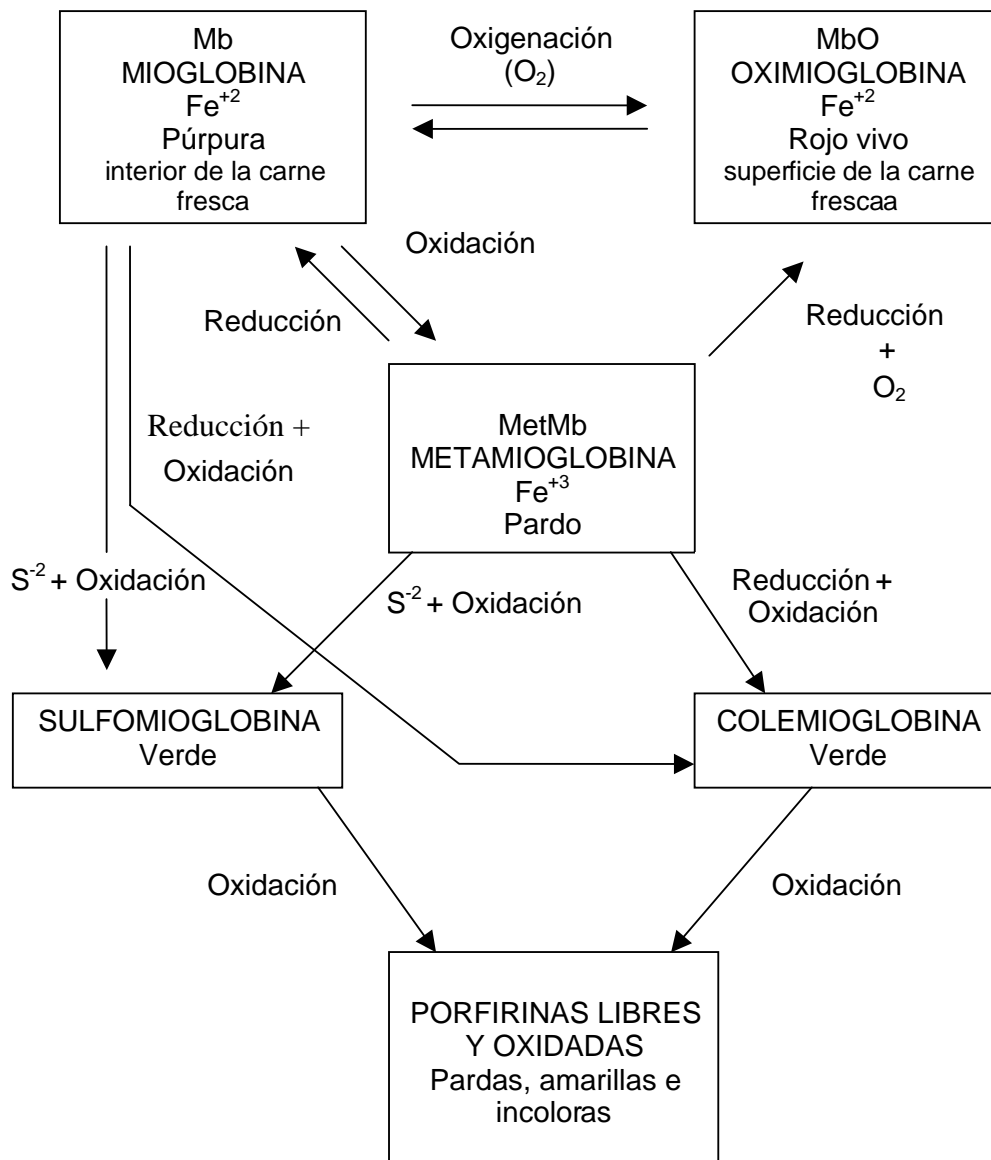


Figura 4.- Modificaciones de la mioglobina en la carne no sometida a tratamiento (Cheftel *et al.*, 1989).

A partir de estos conceptos se puede afirmar que el color de la carne fresca depende en gran medida de la relación existente entre las concentraciones de Omb, Mb y MetMb (Johansson *et al.*, 1991), incluso se considera que la carne deja de estar “fresca” cuando la concentración de MetMb alcanza el 20 % del total de la Mb (Beriain *et al.*, 1995). Si bien la intensidad del color depende de la concentración de Mb presente en el músculo, su tono en cambio dependerá del estado químico en que se halle: la Omb proporciona mayor contribución de tonos rojos y amarillos que la Mb (Johansson *et al.*, 1991; Kropf, 1993).

II.3.2- Propiedades físicas de la Mioglobina

El grupo hemo de la Mb presenta resonancia de manera que, según el ligando con el que esté interactuando, será la absorción de luz que presente y, como consecuencia, el color que tenga. Es decir, el color dependerá directamente del ligando que ocupe el sexto enlace de coordinación del Fe en el grupo hemo, pues para cada uno la resonancia será diferente (Tabla 1) (Fox, 1966, 1967, 1994; Fox & Ackerman, 1968; Wong, 1995).

Tabla 1.- Ligandos más frecuentes unidos al sexto enlace de coordinación de la Mb (Fernández López, 1998)

Pigmento	Ligando (posición sexta)
Mioglobina	Vacía
Oximioglobina	Oxígeno
Metamioglobina	Agua
Nitrosomioglobina	Óxido nitroso
Carboximioglobina	Monóxido de carbono

Además del tipo de ligando que ocupe la sexta posición, existen otros factores que contribuyen al color, como el *estado de oxidación del Fe* (ferroso o férrico), el *tipo de enlace formado entre el grupo hemo y el ligando* (covalente coordinado, iónico, etc), del *estado de la proteína* (nativa o desnaturalizada), la *integridad de la globina* (intacta, sustituida, degradada). La Tabla 2 hace referencia a las distintas formas y estados de la globina, del átomo de Fe y el color resultante de ello.

Cada uno de los pigmentos mencionados en la Tabla 2 tienen diferente espectro de absorción y reflexión (Cunha Da Silva *et al.*, 1994; Kanner, 1994) por lo que pueden ser

cuantificados espectroscópicamente. Por ejemplo, para la Mb su pico máximo de absorción se registra a 555 nm y para la MetMb a 505 nm (Hunt *et al.*, 1991).

II.4- Factores que afectan el color de la carne

El color de la carne es el resultado de las distintas etapas que atraviesa la misma durante su procesamiento. Entre las que más influyen pueden ser mencionadas: la *producción primaria, el sacrificio y la comercialización*. La producción primaria involucra el contenido de mioglobina (factor intrínseco) que depende de la edad del animal, la especie, el régimen nutricional, la raza, el sexo, etc. Durante el sacrificio, el color se verá afectado por las condiciones a las que es expuesto el animal previo a la matanza y, posteriormente, por la forma en que se realice dicho proceso, en especial por el nivel de descenso de pH. Finalmente, el almacenamiento, la distribución y la posterior exposición para la venta, también influirán en el color de la carne (Cassens *et al.*, 1995).

Tomando como ejemplo la superficie de una res vacuna, su color viene determinado por los tres componentes a saber: hueso, músculo y grasa. No obstante, las modificaciones de mayor trascendencia, en lo que a color se refiere, tienen lugar en el músculo, y sobre las superficies expuestas directa o indirectamente a través de las cubiertas de tejido conjuntivo. Se destacan entonces *causas principales* o propias del músculo, y *causas secundarias* o ajenas al mismo que afectan el color:

Tabla 2.- Mioglobina: distintas formas y estados de la globina, átomo de hierro (Fe) y color resultante (Roncalés, 1988; Fox, 1994).

Tipo de producto	Pigmento	Color	Estado de oxidación Fe	Estado Globina	Formación
Carne	Mioglobina	Rojo púrpura	II	Nativa	No reducida
	Oximioglobina	Rojo brillante	II	Nativa	Oxigenación

	Metamioglobina	Pardo	III	Nativa	Oxidación
	Globinamiohemo- cromógeno	Rojo/rosa	II	Desnaturalizada	Desecación / calor
	Globinamiohemi- cromógeno	Pardo grisáceo	III	Desnaturalizada	Oxidación
Carne curada	Nitrosomioglobina	Rojo	II	Nativa	Nitrosación
	Nitrosometamioglobina	Rojo luminoso	III	Nativa	Oxidación
	Nitrosomiohemo- cromógeno	Rosa	II	Desnaturalizada	Calor
	Nitrosomiohemi- cromógeno	Rosa pardo / Rosa grisáceo	III	Oxidación	Oxidación
Otras reacciones	Carboximioglobina	Rojo cereza	II	Nativa	Carboxización
	Globina-monóxido de carbono- hemocromo	Rosa	II	Desnaturalizada	Calor
	Nicotinamida hemocromo	Rosa	II	-	Calor
	Nitrosil-hemocromo	Rosa	II	-	Calor
	Globina-hemo- cromo	Rosa	II	Desnaturalizada	Calor
	Colemioglobina	Verde	III	Disociada del hemo	Oxidación
	Sulfomioglobina	Verde	III	Disociada del hemo	Oxidación

- *Causas principales:* además de la relación que en determinado momento exista entre las concentraciones de Mb, OMb y MetMb, cabe destacar la *tensión de oxígeno*, la *actividad de enzimas respiratorias (citocromos)*, el *pH*, la *temperatura*, la *concentración de sales*, etc., los cuales son factores condicionantes del predominio de alguno de los pigmentos mencionados (Skiadaressis & Garriz, 1981). Así, la formación de OMb (*blooming*) es muy rápida cuando el músculo *Longissimus dorsi* del vacuno es expuesto al aire a 23°C y muy pequeña para el mismo músculo en el cerdo a igual temperatura (Millar *et al.*, 1994). Por otra parte, cuando la carne está recién faenada (carne caliente), presenta un color rojo más oscuro

(predominio de la Mb) que la carne oreada durante aproximadamente 24 horas (predominio de la OMb en una delgada capa) debido la actividad de enzimas respiratorias (citocromos) que consumen el oxígeno presente. Dicha actividad enzimática disminuye a partir de las 24 horas post-mortem por descenso del pH (acidificación de la carne), provocando que las proteínas pierdan su capacidad de retención de agua (CRA) dando como resultado una estructura fibrilar más abierta y rugosa que permite, por un lado, que la luz se refracte y, por otro, que exista una mayor disponibilidad de oxígeno favoreciendo la aparición del blooming (Sckiadaressis & Garriz,1981). Esto es más evidente para la carne de cerdo que para la de vacuno y significa que la diferencia de color que existe entre los distintos músculos para un mismo animal se debe no sólo a la concentración de mioglobina que poseen sino también a la textura resultante (Durand, 1984).

- *Causas secundarias*: se deben a causas externas que involucran el mal mantenimiento de las instalaciones y las malas prácticas higiénicas: pintura o fragmentos de la misma, grasa o aceite mineral, orina, heces, partículas metálicas que viabilizan manchas de óxido, etc. Algunos metales como cobre, hierro, aluminio favorecen la decoloración de la carne y pueden provenir de fuentes exógenas (Trout, 1991; Sckiadaressis & Garriz, 1981). Por ejemplo: la proliferación de bacterias, levaduras y hongos filamentosos (fallos en la higiene) involucra una intensa actividad microbiana que modifica la mioglobina, como la oxidación de la Mb a MetMb (marrón), la producción de ácido sulfhídrico con posterior formación de sulfomioglobina (verdoso), la producción de peróxido de hidrógeno que degrada totalmente la Mb a otros pigmentos incoloros o amarillos (Figura 4). A dicha acción se suma la elaboración de exopigmentos por parte de ciertos microorganismos (rosa, negro, blanco, verde, etc.), los que detectados en sus colonias sirven para caracterizarlos (Hunt *et al.*, 1975; Livingston & Brown, 1981; MacDougall, 1982; Renerre, 1990; Trout, 1991; Miller, 1994; Sckiadaressis & Garriz,1981).

II.5- Ingredientes utilizados en el curado de las carnes

El término "curado" de la carne involucra la adición de sal, azúcar y nitratos y/o nitritos. Actualmente en el curado de la carne se emplea toda una variedad de productos como especias, ascorbatos, fosfatos, bicarbonato de sodio, incluyendo hidrolizados de proteínas. Desde un punto de vista tecnológico el término involucra la producción del pigmento termoestable característico y del flavor de la carne curada por medio de la adición de nitrito sódico y otras sustancias, dándole menos importancia a las propiedades conservantes pese a que éste fue el propósito original de su empleo (Townsend & Olson, 1994).

II.5.1-Sal

La sal (NaCl) es conocida desde la antigüedad y fue el primer aditivo utilizado en las carnes y sus productos con fines tecnológicos. Las principales funciones que cumple son: aportar sabor al producto, actuar como conservante y aumentar la cantidad de proteína soluble.

Determina la impresión del sabor "salado", efecto que se produce mediante el aporte del catión sodio libre (Na^+). Favorece, además, la formación del aroma (Frentz, 1982). En la fabricación de embutidos, la sal se utiliza en concentraciones del 2-3%, cifras que están de acuerdo con el gusto actual de los consumidores (Reutter, 1980; Frey, 1988; Goutefongea, 1991; Rust, 1994; Schiffner *et al.*, 1996). A los fines del sabor se admite de 1,8 a 2,5 %. Por debajo del 1,5 % y por encima del 2,2 se puede considerar deficiente o muy salado respectivamente (Hammer, 1992).

Es, también, la sustancia que tiene mayor acción en la disminución de la actividad de agua (a_w) en los productos cárnicos y por tanto en su conservación. A las concentraciones antes mencionadas ejerce sólo un efecto bacteriostático sobre la flora microbiana presente por

efecto de la disminución del a_w y el aumento de la presión osmótica del alimento. Se considera que por cada 10 g sal/kg de mezcla la a_w disminuye 0,006 puntos. Este efecto bacteriostático aumenta aún más al disminuir el pH, alcanzando su máximo a pH=5 (Vendeuvre, 1982; Pearson & Tauber, 1984; Sinell, 1994; ICMSF, 1985; Goutefongea, 1991; Jay, 1994; Rust, 1994; Urbain & Campbell, 1994; Fehlhaber & Janetschke, 1995). No obstante, la importancia de la a_w en la conservación de los productos cárnicos cocidos (embutidos cocidos y productos curados cocidos) es menor que para el caso de los productos crudos secos (jamón crudo, embutidos secos). Valores elevados de a_w , de 0,96-0,98 para los embutidos cocidos y de 0,97-0,98 para los productos curados cocidos, ofrecen posibilidades de desarrollo a prácticamente todos los microorganismos (Wirth, 1990).

La presencia de sal en los productos cárnicos aumenta la capacidad de retención de agua (CRA) de las proteínas miofibrilares cuando éstas se hallan a un pH por encima de su punto isoeléctrico. El descenso, en cambio, hasta valores próximos al punto isoeléctrico (pH=5), reduce la CRA y favorece el secado del embutido, completándose el desarrollo de la consistencia y la ligazón, atributos de gran importancia comercial. Así, la solubilidad de estas proteínas aumenta proporcionalmente al incremento en la concentración de sal, lográndose la máxima solubilidad con un 5% de sal (por encima de este valor precipitan) (Hammer, 1992; Flores & Bermell, 1995).

Parte de las proteínas se solubilizan por acción de la sal durante la operación de *amasado* de la pasta y, al producirse la acidificación, coagulan y actúan de *cemento de unión* entre los trozos de carne y grasa. Es decir que las proteínas cárnicas pierden solubilidad durante la acidificación y desarrollan textura de gel que condiciona la consistencia del embutido. Dicha consistencia se incrementa a medida que el pH desciende por debajo de 5,4. Su modo de acción radica en facilitar las interacciones electrostáticas que implican la formación de la película proteica que rodean los glóbulos de grasa, logrando el

establecimiento de *interacciones proteína-grasa y proteína-proteína* (cemento de unión). La consistencia de los embutidos crudo-curados dependerá, entonces, de la formación previa de una sustancia intermedia a las superficies de separación existentes entre las partículas de carne y grasa. La adición de sal crea, inicialmente, una fuerza iónica suficientemente alta como para solubilizar, junto con el jugo de la carne, la proteína fibrilar muscular. Los iones Cl^- y Na^+ reaccionan con los grupos cargados de las proteínas y reducen la atracción electrostática entre cargas opuestas de los grupos próximos, favoreciendo el desdoblamiento y la disociación y, por ende, la solubilidad de éstas. Este mecanismo asegura la actividad emulsionante y la estabilidad de los geles cárnicos (Hammer, 1992; Cambero *et al.*, 1994; Prändl, 1994b; Flores & Bermell, 1995).

La sal común actúa oxidando el hemo de la mioglobina y de la hemoglobina (Hb) produciendo la MetMb marrón oscura y la MetHb gris. Ambos compuestos de color son típicos y dominan en los productos que han sido elaborados sólo con sal común, pero resultan indeseables en productos curados los cuales deben mostrar colores rosados o rojos más o menos intensos (Wirth, 1990). Por tanto, la sal no sólo provoca la degradación del color sino, también, enranciamiento de las grasas, ambos fenómenos provocados tanto por las impurezas que contiene (iones metálicos como el hierro y el cobre) como por su efecto oxidante. De esta forma, las posibles impurezas de la sal pueden causar problemas de color y flavor, motivo por el cual siempre se debe emplear sal de grado alimentario en la formulación (Torres *et al.*, 1988; Hultin, 1993; Price, 1994b; Rust, 1994; Townsend & Olson, 1994).

Muchos autores han comprobado el aumento de los niveles del ácido 2-tiobarbitúrico (TBA) en carne y productos cárnicos (Waldman *et al.*, 1974). Dicho compuesto pone en evidencia la oxidación de las grasas, efecto debido al anión cloruro (Cl^-) (Wettasinghe & Shahidi, 1996). Sin embargo, no interviene en la formación de malos olores (Matlock *et al.*, 1984).

II.5.2- Agentes de curado: nitrito y nitrato

Al empleo de nitrato, nitrito o sal con nitrito para curado en los productos cárnicos se lo denomina *curado*. En épocas pasadas se entendía bajo término curado al tratamiento con sal y nitrato/nitrito. Actualmente sólo éstos últimos son considerados agentes curantes. Sin embargo la sustancia realmente activa en el curado de la carne es el nitrito.

Los efectos deseados del curado sobre la carne son: enrojecimiento, desarrollo del aroma y sabor curado, efecto conservador y efecto antioxidante (Vösgen, 1993)

Los siguientes esquemas (Figuras 6 y 7) explican la evolución de los pigmentos en las carnes tratadas con nitrito. La molécula de óxido nitroso, suministrada por el nitrito (NO_2^-), o procedente de la reducción bacteriana o enzimática del nitrato (NO_3^-), se fija por enlaces de coordinación al Fe (II) del hemo de la Mb, originando compuestos rojos-rosados estables, y resistentes a la oxidación (Cheftel *et al.*, 1989; Durand, 1984).

El color característico de curado es debido al pigmento *nitrosomioglobina* cuya formación depende de la velocidad e intensidad del proceso de acidificación. Así, en los procesos de *curado lento* se aplica la nitrificación con NO_3^- , el cual se reduce a NO_2^- mediante la intervención de la flora microbiana con actividad nitrato-reductasa. Esta flora no desarrolla a valores de pH inferiores a 5,5 los cuales suelen alcanzarse muy pronto al final del estufado en los procesos de *curado rápido*. De esta forma se corre el riesgo de que no se produzca la nitrosación del pigmento. Si bien esto se soluciona utilizando directamente NO_2^- en el curado rápido, la estabilidad del color es mayor en la nitrificación con NO_3^- , debido a que el color logrado con NO_2^- directamente, debe ser estabilizado rápidamente con bajas temperaturas, evitando además la luz y el aire (Flores & Bermell, 1995). No obstante, la presencia de nitrosomioglobina no implica que el producto tenga un color estable. Recién cuando dicho pigmento sufre la acción del calor se forma el *nitrosomicrocromógeno* (nitrosilhemocromo o

nitrosohemocromógeno), que es la forma verdaderamente estable. Éste puede transformarse en pigmentos degradados (grises, verdes, marrones) por efecto de la actividad microbiana (Durand, 1984).

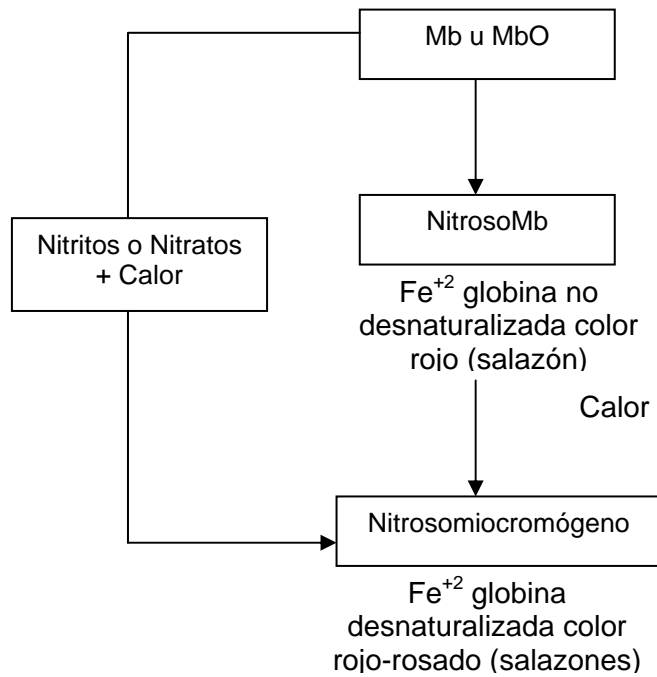


Figura 6.- Modificaciones de la Mioglobina (Mb) por la salazón (Cheftel *et al.*, 1989).

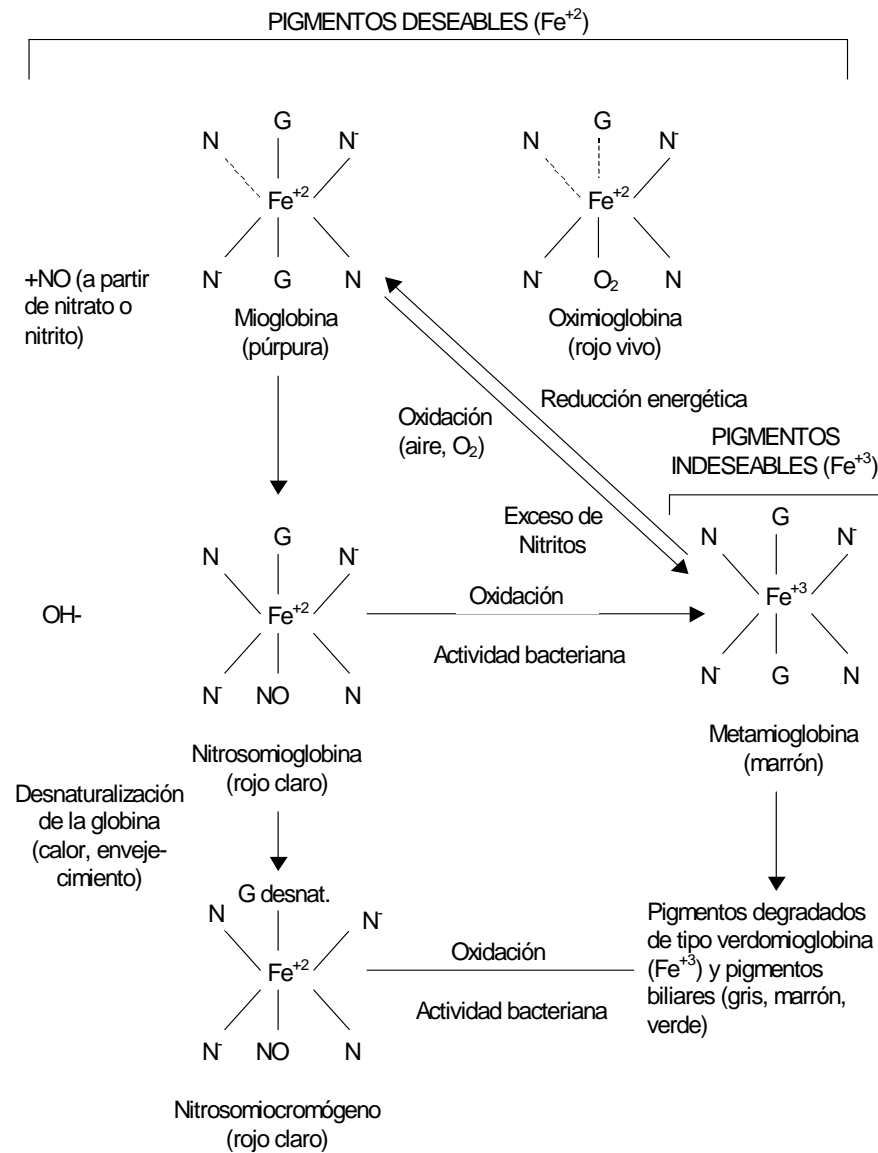


Figura 7.- Evolución de los pigmentos en las carnes tratadas con nitrito (Durand, 1984).

Por otra parte, el NO (óxido nitroso) se obtiene por una nueva reducción del NO₂⁻, tal como en el caso de NO₃⁻ a NO₂⁻. Pero esta reacción no es ocasionada por reducción bacteriana. Se trata de una normal y lenta reacción de equilibrio, que depende de las condiciones del medio.



Cuanto menor es el pH (óptimo 5,2) tanto mejor y más rápido se produce el *enrojecimiento* (con la disminución del pH aumenta la concentración de ácido nitroso y la reacción anterior está desplazada hacia la izquierda). Un dato importante a tener en cuenta es que no se transforman la totalidad de la mioglobina y hemoglobina existentes, se calcula como máximo aproximadamente el 80 % de la mioglobina presente. Dicho valor no puede ser incrementado por el mejoramiento de las condiciones de reacción. El hecho de que la carne porcina contenga menor cantidad de Mb hace que las cuotas de enrojecimiento porcentuales sean alcanzadas más tarde que para la carne vacuna.

La velocidad de la reacción depende también de la temperatura y del tiempo; recién después de la acción de las temperaturas necesarias se alcanzan el enrojecimiento deseado.

El nitrito agregado con la sal nitrificada para curado actúa como un agente oxidante fuerte sobre el hierro de la Mb. Se origina Fe (III) y la coloración grisácea se presenta casi espontáneamente. Recién después del tratamiento térmico y luego de permanecer colgados durante un tiempo prolongado, en el embutido terminado tiene lugar la reacción contraria. Debido a los efectos reductores el Fe (III) se transforma nuevamente a Fe (II), el NO puede ser fijado y se produce el rojo de curado. Este proceso se desarrolla lentamente cuando la reducción no es acelerada mediante agentes reductores como ser ácido ascórbico (acelerador del curado; ver sección II.5.5). Luego, si la formación del Fe (III) se efectúa por el calor entonces el color marrón/grisáceo que se origina es irreversible. La forma bivalente del Fe ya no resulta posible y, por lo tanto, no es factible la formación del rojo de curado. La oxidación “fría” del Fe, que tiene lugar bajo la conservación de la estructura de la Mb (Mb no desnaturalizada), es reversible, dependiendo de las condiciones del medio tales como temperatura, presencia de agentes reductores y tiempo (Vösgen, 1993).

El *aroma* y *sabor* logrados por el curado son inconfundibles. Las impresiones sensoriales corresponden fundamentalmente a los componentes aromáticos volátiles. El aroma

de curado se origina a partir de las reacciones de varias sustancias de la carne y la sangre con el óxido nitroso. Las sustancias de reacción conocidas hasta ahora son alcoholes, aldehídos, inosina, hipoxantina y especialmente compuestos azufrados. Para la formación de un típico aroma de curado alcanzan entre 20-40 ppm de NO_2^- (Wirth, 1990).

El *efecto de conservación* o bactericida del NO_2^- en los productos cárnicos es el fundamento más importante y de mayor peso para su empleo, aún cuando desde hace años se viene replanteando por la posible formación de *nitrosaminas*, las cuales tienen probado carácter cancerígeno en humanos. Con una concentración de 80-150 ppm de NO_2^- se inhibe selectivamente la germinación de las esporas de *Clostridium botulinum*, pero esta acción se presenta recién en combinación con otras condiciones como ser pH, concentración de sal, actividad de agua (a_w), temperatura (teoría de obstáculos o “barreras de Leistner”); por sí solo no resulta efectivo. Así, cuando un producto cárnico al que se le ha añadido NO_2^- sufre la acción del calor, el efecto inhibitor sobre el *Clostridium botulinum* se multiplica por 10. Esta potenciación de la actuación del NO_2^- por la cocción, recibe el nombre de “Factor Perigo” (López de Torre & Carballo-García, 1991; Vösgen, 1993). Por otro lado, el *Streptococcus faecium*, el *Streptococcus faecalis*, el *Staphylococcus aureus* y las especies de *Lactobacillus* resisten bastante bien las concentraciones de NO_2^- habituales en los productos cárnicos. Por el contrario, las especies de *Pseudomonas*, *Escherichia coli*, ciertas especies de *Bacillus* y de *Clostridium* se inhiben en mayor o menor grado en presencia de NO_2^- . La acción antimicrobiana del NO_2^- depende, por un lado, del valor del pH (cuanto más bajo, tanto mayor es el efecto inhibitor y viceversa) y, por otra parte, de la concentración (durante los procesos de elaboración y almacenamiento de los productos cárnicos, el NO_2^- se reduce) (Fox, 1994). Para el caso de los embutidos crudo-curados, la acción bactericida sobre los microorganismos se ejerce combinando la acción del NO_2^- con una disminución del pH (embutidos fermentados) (Pérez-Álvarez, 1996; Rosmini, 1997), o reduciendo el valor del a_w e

incrementando la concentración de sal (productos crudo-curados con integridad anatómica) (Sayas-Barberá & Pérez-Álvarez, 1989).

El NO_2^- también posee *efectos antioxidantes*, es decir retarda la oxidación de los ácidos grasos insaturados. El mecanismo de acción radica en la formación de complejos, por ejemplo con el cobre (Cu^{+2}) y con el Fe^{+2} , anulando de esta forma las sustancias prooxidantes en el producto. Por otra parte, en los platos cárnicos preparados y almacenados en refrigeración durante mucho tiempo aparecen sabores especiales llamados WOF (warmed over flavor) por su similitud con las comidas recalentadas. Cuando dichas comidas son adicionadas con NO_2^- no se presentan problemas de aparición de WOF. Los productos elaborados únicamente con sal común (embutidos “blancos”) presentan una degradación más rápida del sabor que los curados. Por otra parte, la formación de aromas anormales originados por la autooxidación de las grasas (rancidez) puede ser frenada mediante el agregado de NO_2^- en la carne. Esta acción es prácticamente independiente del pH (Wirth, 1990; López de Torre & Carballo-García, 1991; Vösgen, 1993).

II.5.3- Polifosfatos

El objetivo principal del empleo de fosfatos en productos cárnicos es *aumentar la capacidad de retención de agua* y, de esta forma, reducir las mermas por cocción en los productos enlatados y cocidos (curados cocidos). En los crudo-curados deben utilizarse a muy bajas concentraciones pues sus propiedades pueden dificultar el proceso de secado (Townsend & Olson, 1994).

El mecanismo de acción de los fosfatos sobre la capacidad de retención de agua (CRA) es doble. Por un lado aumentan el pH de la carne y, por otro, solubilizan las proteínas musculares (Townsend & Olson, 1994).

Los polifosfatos alcalinos aumentan el pH entre 0,1 y 0,4 unidades, dependiendo del tipo y la concentración utilizada. Mediante la formación de complejos solubles con iones polivalentes suprimen los enlaces originados por iones de metales alcalino-térreos entre proteínas y filamentos dando como resultado un aumento en la capacidad de retención de agua (Goutefongea, 1991; Fischer, 1994; Schmidt, 1994). Se cree que la principal función es la formación de complejos con calcio (Ca^{+2}), lo que provocaría la consiguiente pérdida de la estructura tisular (Varnam & Shutherland, 1998).

Sólo los fosfatos alcalinos son eficaces, pues los ácidos disminuyen el pH y causan contracción. Este efecto provoca a su vez un aumento en el rendimiento del producto, el cual es más eficaz cuanto mayor sea la temperatura final de pcesado.

La tabla 3 muestra los principales fosfatos alcalinos permitidos en las mezclas curantes, el pH y la solubilidad de los mismos.

El *tripolifosfato* y sus combinaciones con *hexametafosfato* son los más empleados en el curado de la carne pues aportan el adecuado pH básico, poseen buena compatibilidad con el calcio y un importante efecto estructural sobre las proteínas tisulares.

Estos compuestos poseen, además, cierta capacidad para mejorar el sabor de la carne como resultado de la retención de los jugos, reducen la autooxidación de las grasas, disminuyen la intensidad del sabor a recalentado de la carne (WOF), favorecen la retención del color y poseen cierta acción antimicrobiana (Townsend & Olson, 1994).

Tabla 3.- pH y solubilidad de 6 fosfatos aprobados por el USDA para carnes curadas

(Townsend & Olson, 1994).

COMPUESTO	pH	SOLUBILIDAD (g/100g a 25°C)
Pirofosfato ácido de sodio	4,3	13
Fosfato monosódico	4,5	40
Hexametáfosfato sódico	6.9	50+
Fosfato disódico	8.8	7
Tripolifosfato sódico	9.9	15
Pirofosfato sódico	10.5	4.5

El *efecto antioxidante* reside en la capacidad de los fosfatos para secuestrar metales pesados reduciendo así los niveles de prooxidantes. Por ejemplo, en hamburguesas precocidas la adición de fosfatos aumenta los rendimientos de elaboración y jugosidad, evitando la formación de malos sabores y rancidez. En filetes de cerdo reestructurado y cocido, la presencia de 0,5 % de tripolifosfato de sodio, inhibe la oxidación lipídica durante 8 días a 4°C (Matlock *et al.*, 1984; Liu *et al.*, 1992).

La adición de distintos tipos de polifosfatos (pirofosfato tetrasódico, tripolifosfato de sodio y tetrapolifosfato de sodio) a concentraciones de 0,5 % *inhibieron la formación de WOF* en carne de ternera cocida, almacenada durante 6 días a temperaturas de refrigeración (Trout & Dale, 1990).

El *efecto* de los polifosfatos *sobre el color* de las carnes difiere según los autores. En trabajos con carne asada de ternera y cerdo se observó que la adición de fosfato, especialmente tripolifosfato de sodio, mejora el color del producto (Smith *et al.*, 1984). Sin embargo en emulsiones cárnicas se encontró que se desarrolla un menor color de curado durante la cocción si el producto está adicionado con polifosfatos. Al parecer disminuiría el desarrollo del color de curado especialmente en productos de procesamiento rápido. Según dicho estudio, las emulsiones cárnicas deberían permanecer un mínimo de 60 minutos en

reposo antes de la cocción para que desarrolle el mismo color que cuando no están presentes los fosfatos (Knipe *et al.*, 1988).

Su *efecto antimicrobiano* sobre las bacterias Gram+ se debe a la formación de complejos con metales bivalentes (calcio y magnesio) alterando la estabilidad de la pared celular y disminuyendo su resistencia al tratamiento al térmico (Fischer, 1994).

Sin embargo, se han presentado inconvenientes que antes no existían en las carnes curadas procesadas. Los fosfatos son poco solubles en la mayoría de las mezclas curantes, sobre todo si se ha añadido la sal previamente. Por este motivo se recomienda disolver previamente los fosfatos al agregado de sal. Si las concentraciones de fosfatos son elevadas en la salmuera o lo es la concentración de sal, precipitan disminuyendo su efectividad. Además, como los productos curados que contienen fosfatos pierden humedad tras el procesado, éstos pueden precipitar en la superficie formando “nieve” o “barba” de cristales de fosfato (Townsend & Olson, 1994).

II.5.4- Azúcares

Los azúcares desempeñan varias funciones importantes en los embutidos crudo-curados: mejoran el sabor (0,05-0,5%); contribuyen a la formación del aroma, mejoran la ligazón del agua a través de su higroscopicidad, sirven como fuente de energía para la flora presente, provocan el descenso del pH en el producto y favorecen su enrojecimiento.

El *sabor* acentuado de la sal común y de diversos componentes de sabor amargo, tales como los nitratos y nitritos, se atenúan con el agregado de hidratos de carbono simples. Ablanda a su vez el producto al contrarrestar el efecto endurecedor indeseable de la sal, pues previene la pérdida de humedad.

Los hidratos de carbono constituyen una fuente a partir de la cual se formarán precursores del *aroma* (Tabla 4).

Son utilizados como *fente de energía* por los microorganismos presentes naturalmente en el embutido, o por aquellos que se agregan como cultivos “starters”, estimulando su selección y desarrollo. Estos sustratos son desdoblados (fermentados), principalmente hasta el escalón de ácidos, lo cual hace aumentar la acidez. Luego, a medida que esto sucede, disminuye también el potencial redox con lo cual resultan inhibidos los bacilos Gram- y esporulados, mejorando, por el contrario, las condiciones de multiplicación para cocos acidorresistentes (con actividad nitrato-reductasa) y bacterias acidolácticas (Prändl, 1994b). La velocidad con que se produce la acidificación, así como la intensidad de la misma depende del tipo y porcentaje del hidrato de carbono empleado. Actualmente se admite que la formación de ácido láctico se debe a la actuación de bacterias homofermentativas sobre la glucosa o sacarosa. Sin embargo, parte de los azúcares se puede metabolizar por vía heterofermentativa con formación de otros ácidos como el acético (Tabla 4). El hecho de que los embutidos elaborados mediante el proceso rápido presenten un sabor ácido diferente al conseguido con los del curado lento, sugiere que los azúcares deben ser metabolizados de manera diferente en ambos procesos. Otro factor a tener en cuenta es la complejidad del hidrato de carbono involucrado. Así, azúcares simples (monosacáridos), tales como la glucosa son fácilmente fermentados, mientras que los más complejos como las dextrinas son fermentados lentamente o directamente no lo son si están presentes los primeros. Finalmente, a medida que aumenta el peso molecular del hidrato de carbono agregado, la tendencia a la homofermentación es mayor (Flores & Bermell, 1995).

Lo anterior determina un *descenso del pH*, el cual tiene una influencia decisiva sobre la consistencia de los embutidos, sobre su *enrojecimiento* y en la selección de los microorganismos presentes. Con el 1,0 % de glucosa o sacarosa se consigue un pH adecuado en el embutido. Cantidades superiores producen un excesivo sabor ácido (o “picante” por formación de grandes cantidades de ácido láctico, acético, butírico, propiónico) y menores de

0,3 % pueden originar serios riesgos de estabilidad por falta de consistencia y *ligazón*. Además una elevada incorporación de hidratos de carbono puede afectar el a_w del medio y reducir la fermentación (Prändl, 1994b; Flores & Bermell, 1995).

Los bajos valores de pH favorecen la formación de nitrosomioglobina (óptimo: 5,4-5,5). La mejor conservación del color observada se atribuye a la inhibición de la oxidación del pigmento muscular hasta derivados verdosos o castaños-grisáceos (Prändl, 1994b). Dicha influencia sobre el color se observa con concentraciones del 1,5-2,5 %, pues favorecen el paso de nitritos a óxido nitroso (Rust, 1994). Debe prestarse, sin embargo, especial atención a los valores de pH alcanzados pues por debajo de 5,5 resultan inhibidos los microorganismos con actividad nitrato-reductasa presentándose defectos de enrojecimiento en los embutidos crudos con adición de nitrato (Prändl, 1994b).

Se puede utilizar sacarosa (azúcar blanco o moreno), jarabe de glucosa y en algunos productos (para producir un aroma y sabor especial en carnes cocidas) jarabe de arce o miel en pequeñas cantidades. En embutidos crudos se utilizan entre los monosacáridos: glucosa y fructosa, y entre los disacáridos: sacarosa, maltosa y lactosa, así como hidrolizados de almidón. Los jarabes de almidón desecado (polisacáridos) contienen por lo general entre 10-20 % de glucosa, 40-50 % de maltosa y 34-45 % de dextrinas. Mientras la glucosa es aprovechada por todos los lactobacilos, sólo el 80 % de las cepas utilizan la sacarosa y el 29 % la maltosa. La lactosa, por el contrario, no puede ser desdoblada por la mayoría de la flora curante. Por tanto los productos de desdoblamiento generados por la fermentación dependerán de la clase y concentración de azúcares empleados así como del tipo de microorganismos presentes (flora homofermentativa y heterofermentativa) (Prändl, 1994b; Townsend & Olson, 1994).

Tabla 4.- Productos del desdoblamiento de hidratos de carbono en la fermentación acidoláctica heterofermentativa (Prändl, 1994b)

Ácido carbónico (gas)	Ácido butírico	Acetoína
Agua	Ácido valeriánico	Alcohol butílico
Hidrógeno (gas)	Ácido glucónico	Alcohol isopropílico
Ácido láctico	Ácido 2-ceto glucónico	Acetona
Ácido acético	Ácido 5-ceto glucónico	2,3-butanodiol
Ácido fórmico	Ácido succínico	Glicerina
Ácido propiónico	Ácido fumárico	Trimetilénglicol
	Alcohol etílico	

II.5.5- Aceleradores del curado

Dentro de este grupo se encuentran aquellos compuestos cuya función es *acelerar las reacciones que involucra el curado*. Los mismos pueden clasificarse en dos categorías: **reductores** (ácido ascórbico en sus formas isoméricas) los cuales actúan sobre el nitrito y los pigmentos cárnicos, y **acidulantes** (gluconodeltalactona ó GDL y el pirofosfato ácido de sodio ó SAPP) los que establecen las condiciones óptimas para que se desarrollen las reacciones de curado, es decir, provocan acidez con el consiguiente descenso del pH (Sebranek, 1993).

5.5.1.- Ascorbato y eritorbato de sodio

Las sustancias coadyuvantes o aceleradoras del curado más efectivas y seguras en el **enrojecimiento** y la **estabilización del color** son el *ácido ascórbico* o su sal sódica, el *ascorbato de sodio* (Wirth, 1990).

El ácido ascórbico (o vitamina C) existe en dos formas: *ácido L-ascórbico* y su isómero, el *ácido D-isoascórbico* o *ácido eritórbico*. Este último no se encuentra normalmente en la naturaleza, no posee acción vitamínica y se sintetiza más fácilmente que el ácido L-ascórbico. El ácido L-ascórbico se presenta en forma de cristales blancos o blanquecinos, inodoros y de un sabor débilmente ácido, mientras que su sal sódica lo hace como grano fino o polvo débilmente amarillento, también inodoro. El ácido eritórbico forma cristales granulares blancos con sabor ácido, mientras su sal sódica se presenta como polvo blanco cristalino de sabor salado. Por otra parte, las sales (ascorbato y eritorbato) son más estables que los ácidos y no tienen la misma influencia en las salmueras empleadas en el procesamiento o en los productos finales: el pH no baja significativamente y el nitrito resulta por tanto más estable.

El ácido L-ascórbico es un *antioxidante natural*. Reacciona con el oxígeno para retardar la decoloración y aparición de sabores desagradables en los alimentos durante el almacenamiento. Esta es la razón principal por la cual con frecuencia se lo emplea con un *rol antioxidante* en bebidas y conservas. Si bien éste ha sido calificado como *aditivo GRAS* (*sustancias reconocidas generalmente como seguras*) y su aplicación está permitida en todo el mundo, el ácido eritórbico está permitido en unos pocos países para alimentos especificados. Así, en Europa, sólo está permitido el uso del ácido L-ascórbico mientras que el ácido eritórbico (o su sal sódica, *eritorbato de sodio*) no está autorizado ni figura en las listas positivas de la Comunidad Económica Europea. La diferencia en la vía de metabolización que siguen uno y otro en el organismo humano explica que sus calificaciones como aditivos sea distinta, aún cuando ambos tengan la misma influencia sobre el nitrito, pH, riesgo botulínico y poder “antinitrosamina” en los embutidos crudo-curados (Meat Packers Council, 1979; Durand, 1984; Prändl, 1994b; Townsend & Olson, 1994).

El ácido ascórbico (L) y el ascorbato de sodio son sustancias fuertemente reductoras. Liberan gran cantidad de NO a partir de NO_2^- , con lo cual, al aumentar la oferta del óxido, una gran cantidad de mioglobina (Mb) se transforma en nitrosomioglobina (NOMb, “color rojo de curado”). De esta manera se acelera e intensifica el proceso de curado. Simultáneamente el ácido ascórbico actúa como limitante sobre la formación de metamioglobina (MetMb) por desplazamiento del potencial redox. El ácido ascórbico reduce el Fe (III) de la MetMb a Fe (II) de la OMb con lo cual se transforma en ácido dehidroascórbico. Luego, mediante el ácido ascórbico/ascorbato se logra un mejor color y conservación del mismo por formación de mayores cantidades de NOMb y disminución de MetMb en el pigmento total (Wirth, 1990; Prändl, 1994b).

Por otra parte, el ácido ascórbico ayuda a *impedir la rancidez de las grasas* al reaccionar con el oxígeno del aire, el cual ocasiona deterioro del sabor en productos de almacenamiento prolongado (Meat Packers Council, 1979). En sistemas modelos donde se estudió el uso combinado de ácido ascórbico y tocoferol, se observó un efecto antioxidante en grasas y aceites de origen terrestre con bajos niveles de insaturación. Este uso combinado no resultó, sin embargo, efectivo con altos niveles de grasas insaturadas como en el caso de las de origen marino (Nishina, 1991).

La aceleración del desarrollo de color en productos curados disminuye el tiempo de cura. Con niveles de 150 ppm de ácido ascórbico o 200 ppm de ascorbato de sodio (éste último requiere de una dosis mayor para lograr el mismo efecto) se reduce el período de tiempo en la cámara de ahumado con lo que se logra una menor contracción del producto y merma, mayor ternura y reducción de la dureza o aspereza de las tripas comestibles (Wirth, 1990).

El ácido ascórbico y el ascorbato de sodio limitan la formación de una decoloración verdosa formada a veces cuando las carnes curadas entran en contacto con las barras

metálicas usadas en el ahumado. Esta acción protectora no tiene lugar cuando se utiliza eritorbato de sodio.

Niveles de 450 ppm de ácido ascórbico o 500 ppm de ascorbato de sodio protegen las carnes curadas de la decoloración por acción de las luces fluorescentes en las vitrinas de exposición. El jamón crudo-curado tratado con ascorbato de sodio retiene mejor el color bajo la luz fluorescente que el tratado con eritorbato de sodio.

El ácido ascórbico y sus sales permiten una reducción en las cantidades de nitrito necesarias para el óptimo desarrollo del color. Esto provoca una reducción de los niveles residuales de nitrito en las carnes curadas, limitando así el potencial de formación de nitrosaminas (bloquean la síntesis de compuestos N-nitroso carcinogénicos a partir del nitrito residual y aminas secundarias y terciarias en las carnes cocinadas, especialmente en la panceta). Un estudio realizado por el Instituto Estadounidense de Carnes en 10 empresas demostró que el 90 % de las muestras de panceta tratadas con 550 de ascorbato de sodio (o eritorbato de sodio) estaban exentas de nitrosaminas al freírlas. Al parecer, dichos agentes “localizan” los nitritos residuales fijándolos y evitando así la formación in-vivo de nitrosaminas (Meat Packers Council, 1979; Townsend & Olson, 1994).

En carne de ternera picada cocida, la incorporación de ácido ascórbico (250 ppm) provoca un incremento de la oxidación. Esta situación se revierte cuando el ascorbato se combina con nitrito de sodio (Igene *et al.*, 1985). Un cantidad excesiva de ácido ascórbico provoca un efecto inverso, se produce un efecto desnaturalizante sobre la molécula de Mb originándose colores verdes indeseables principalmente en las zonas donde existen inclusiones de aire o sobre las superficies (Durand, 1984; Wirth, 1990).

II.5.5.2- Gluconodeltalactona (GDL)

La lactona es un producto de oxidación controlada de la glucosa. Existen numerosas lactonas, pero la más frecuente es la GDL ($C_6H_{10}O_6$) que se presenta en forma de polvo blanco, cristalino, de gusto azucarado-ácido, con un punto de fusión de $153^{\circ}C$ y una solubilidad en agua de 59 mg/100 ml. En presencia de agua o en la carne fresca se hidroliza lentamente dando ácido glucónico. Esto la convierte en un *acidificante de acción retardada*. Por otra parte, la velocidad con que desciende el pH depende de la concentración de GDL utilizada. Por esta razón, normalmente se utiliza en concentraciones de 0,1-0,2 % para provocar una disminución relativamente lenta (Durand, 1984; Prändl, 1994b).

La GDL no es considerada como un aditivo en todos los países. Los alemanes expresan que es un producto intermedio entre la glucosa y el ácido glucónico, que se encuentra en el ciclo normal de metabolización de los hidratos de carbono en el cuerpo humano.

Existen cantidades variables de diferentes tipos de lactonas en grasas y frutas. Por ejemplo, en manteca se tiene δ -hexalactona (C_6) 2,0 ppm contra 35,0 ppm de δ -dodecalactona (C_{12}), 34,0 ppm de δ -tetradecalactona (C_{14}) y 15,0 ppm de δ -decalactona (C_{10}), entre otras. Sin embargo, se utiliza principalmente GDL pues se obtiene a partir de una materia prima muy común como la glucosa, la cual, a su vez, es un producto de la hidrólisis del almidón (Durand, 1984).

La GDL no es en sentido estricto una sustancia auxiliar del curado pues no reduce el nitrato a nitrito; sin embargo *actúa reduciendo el pH*. En el medio cárnico dicho descenso incrementa la acción inhibitoria del nitrito sobre los microorganismos patógenos. Esto permite una cierta estabilidad microbiológica aún cuando las cantidades añadidas de nitritos son menores a las comúnmente empleadas (Prändl, 1994b). En productos cocidos permite un mejor desarrollo del color con bajas dosis de nitrito (80-100 ppm) (Durand, 1984).

En los embutidos crudo-curados y semisecos se emplea en concentraciones del 1,0 % (Rust, 1994), aunque otros autores informan que por encima del 0,4 % transmite un sabor acre-picante.

La GDL se emplea especialmente en productos estufados, cocidos y eventualmente ahumados, tales como los embutidos de pasta fina. La ligera disminución del pH favorece la formación del color, sin influir demasiado en el rendimiento. Los franceses no utilizan GDL en embutidos crudos-curados pues consideran que el descenso del pH bloquea la maduración (Durand, 1984).

II.5.6- Especies

Según la International Standard Organization (ISO) *“las especias son productos naturales o sus mezclas, sin materias extrañas, que se utilizan para dar sabor, aroma y sazón a los alimentos; la denominación se aplica a la vez al producto entero y al producto en polvo”*.

La Comisión de Especialistas en Agricultura de España define a las *“especies o condimentos aromáticos como diferentes productos de origen vegetal de los cuales se obtienen raíces, rizomas, bulbos, cortezas, hojas, tallos, flores, frutos, semillas, etc.; en estado natural (frescas) o desecadas, enteras, troceadas o molidas, y que pueden emplearse en diversas formas: enteras, molidas, aceites esenciales u oleorresinas”* (Real Decreto 2242, 1984). Los dos últimos deben ser clasificados como saborizantes (Townsend & Olson, 1994).

La Asociación Americana para el Comercio de Especies las considera *“plantas tropicales cuyas distintas partes se usan para sazonar alimentos. Botánicamente son raíces, cortezas, brotes, semillas o frutos de plantas aromáticas que, normalmente, crecen en los trópicos”* (Anderson, 1992).

Los siguientes son algunos ejemplos de diferentes partes de las plantas que pueden ser utilizadas como especias: **raíces** (cúrcuma: *Cúrcuma zedoaria*; jengibre: *Zingiber officinale*), **bulbos** (ajo; *Allium sativum*; cebolla: *Allium cepa*), **cortezas** (canela: *Cinnamomum zeylanicum*, *Cinnamomum casia*, *Cinnamomum burmani*), **hojas** (laurel: *Laurus nobilis*; mejorana: *Origanum majorana*, *Majorana cultivata*; romero: *Rosmarinus officinalis*; tomillo: *Thimus vulgaris*, *Thimus zygis*, *Thimus piperella*), **frutos** (pimienta: *Piper nigrum*, pimentón: *Capsicum annum*), **semillas** (comino: *Cuminum cyminum*; mostaza; nuez moscada) o **flores y partes florales** (azafrán: *Crocus sativus*; clavo de olor: *Caryophyllus aromaticus*) (Gerhardt, 1975; Rust, 1994).

Las especias se conocen desde la antigüedad. En Egipto se utilizaron como conservantes hace 3000 años. Posteriormente, durante siglos, fueron los árabes los que monopolizaron el mercado de las especias. De ellas han dependido una serie de hechos que marcaron la historia del mundo, tales como el establecimiento de nuevas rutas comerciales para su adquisición, lo que condujo al Descubrimiento de América (Anderson, 1992).

Actualmente se sabe que las propiedades antibacterianas que poseen algunas especias se halla en sus aceites esenciales. Son principalmente bacteriostáticas cuando se utilizan en cantidades apreciables. Algunos investigadores han señalado a la *nuez moscada* y al *cianmomo* como inhibidores del crecimiento de ciertas especies pertenecientes al género *Salmonella*, debido a los extractos de *ácido gálico* y *aldehído cinámico* que contienen. Además de utilizarse porque proporcionan características organolépticas típicas en los alimentos (Zaika *et al.*, 1978; Coretti, 1986; Townsend & Olson, 1994; Campbell-Platt, 1995), las especias poseen otras funciones: propiedades antioxidantes (mejorana, romero, pimentón, mostaza, enebrina, pimienta negra y clavo de olor) (Zaika *et al.*, 1978; Farrel, 1990; Palic *et al.*, 1993), propiedades medicinales (ajo, comino) (Schiffner *et al.*, 1996) y acción antibacteriana (pimienta, ajo) (Zaika *et al.*, 1978; Farrel, 1990). Esta última propiedad

es muy escasa debido a que las dosis empleadas, tanto en la industria como en la preparación de alimentos caseros, es pequeña; aunque refuerzan en cierto grado la acción de otros agentes utilizados como conservadores. Por el contrario, el empleo de especias no tratadas puede contribuir significativamente a la carga microbiana total del producto cárnico. Esto se debe a que su recolección suele hacerse en países donde las prácticas de higiene son deficientes o inexistentes. Por este motivo se las esteriliza mediante radiaciones ionizantes u oxido de etileno (Anderson, 1992; Townsend y Olson, 1994).

Si bien en el ámbito de la industria cárnica algunos tipos de embutidos desarrollan por sí mismos aromas específicos, se requiere el uso de determinadas especias para alcanzar el sabor y aroma característicos de los mismos (Schiffner *et al.*, 1996). Estos provienen de los compuestos aromáticos que poseen sus aceites esenciales (aldehídos, alcoholes, cetonas) y de otras sustancias (piperina, vainillina), los cuales son transmitidos fácilmente a los embutidos. Además, las especias naturales utilizadas en la condimentación de embutidos (pimienta negra y blanca, pimentón, ajo, etc.) tiene gran importancia en la estimulación del proceso de acidificación por las bacterias. El manganeso es el componente de las especias que favorece tal proceso. Este hecho se ha verificado elaborando embutidos sin especias pero con el agregado de manganeso, observándose un comportamiento similar al obtenido a base de especias. Los extractos de especias no poseen dicha actividad debido a la pérdida del manganeso durante el proceso de extracción (Flores & Bermell, 1995).

II.5.6.1.- Pimentón

El pimentón es una especia obtenida fundamentalmente a partir del fruto de *Capsicum annum* Linneo, desecado y molido, que le confiere un color y sabor característico muy apreciado por el consumidor (Giménez, 2000). La legislación española lo define como “el producto seco obtenido de la molienda de los frutos maduros, sanos y limpios del pimiento

Capsicum annuum Linneo o *Capsicum longum*, D.C., o parte de los mismos. Se podrán distinguir los tipos dulce, agri dulce y picante ” (Real Decreto 2242, 1984).

El **pimentón** es la especia que creó, sin lugar a dudas, una auténtica revolución en la industria, siendo el precursor de los productos cárnicos de “línea roja” en España y en el resto de Europa (Italia, Hungría, etc.) (Pérez-Álvarez *et al.*, 2000).

Tras el descubrimiento en América, el “chile”, como comúnmente se lo llama al pimentón, se asienta inicialmente en España donde pasa a denominarse “pimiento”, para luego distribuirse por el resto del continente europeo (Nuez *et al.*, 1996). Sin embargo, y a pesar de ser España el país con más tradición y el primer productor a nivel europeo, en el resto del mundo se lo conoce con el vocablo húngaro de “paprika”. Esta denominación es la utilizada para su comercialización en los mercados internacionales (Anónimo, 2000).

Desde el punto de vista práctico el *pimiento y sus derivados* constituyen la especia más utilizada en la industria cárnica española ya que pocas especias se pueden incorporar en las concentraciones en que ésta se utiliza. Por ejemplo, un producto cárnico con 3,0 % de canela o pimienta sería desagradable, mientras que con el pimentón se pueden sobrepasar holgadamente esta concentración sin alteraciones en el sabor. Esto la convierte, muchas veces, en un ingrediente más que en una especia (Pérez-Álvarez *et al.*, 2000).

La denominación “pimiento” abarca tanto al fruto del *Capsicum annuum* Linneo en fresco, como también seco y molido, aunque a éste último se lo denomina genéricamente **pimentón** (Fernández-López, 1998). Luego podemos realizar las siguientes distinciones: se denomina pimentón al producto industrial elaborado como condimento, *pimiento-pimentonero* a la planta y *pimiento para pimentón* al fruto de la misma (Pérez-Álvarez *et al.*, 2000).

A partir del pimentón también se obtienen las denominadas *oleorresinas*, que son el extracto líquido del pimentón en forma de aceite viscoso que conserva todo el aroma típico de

éste y posee un color rojo intenso (Navarro & Costa, 1993). En España, los dos tipos de pimentones con más tradición son los de *Murcia* y *Vera*, con diferentes gustos: dulce, agridulce y picante. El murciano es el más famoso a nivel mundial ya que abarca aproximadamente el 90 % de la producción (Anónimo, 2000).

Tanto a nivel industrial como en el hogar se utiliza principalmente para aportar color al producto o plato terminado (Farrel, 1990), pero también ejerce una notable influencia sobre el aroma y sabor. En la industria se utiliza como colorante natural en forma de polvo u oleorresina, mientras a nivel familiar se lo hace en carnes picadas (albóndigas, budines), guisos, frituras, hortalizas (aderezo para ensaladas), salsas varias, y espolvoreado antes de servir cazuelas, papas al horno, canapés, fiambres y sopas (Brusco, 1989). En la industria cárnica constituye el condimento principal de una gran variedad de embutidos. Por ejemplo, en España se adiciona a productos como el chorizo al cual le confiere el color, aroma y sabor característico que lo diferencian del resto de los embutidos crudo-curados. También se incluye en la elaboración de la sobrasada, morcón, lomo embuchado, salchichas rojas o encarnadas, diferentes tipos de longanizas (de Salamanca, extremeña y de Pamplona) y morcillas crudo-curadas (de calabaza, extremeña y asturiana) (Rosmini, 1997). Cuando se emplea en concentraciones del 3,0 % posee un importante efecto antioxidante sobre mezclas de carne y grasa de cerdo o grasa sola sometida al proceso de fabricación de chorizos. Dicho efecto podría equivaler al que proporcionan nitratos, nitritos y ácido ascórbico/ascorbato (Aguirrezabal, 1993).

II.5.6.2- Composición química del pimentón

La composición química del pimentón puede variar cuantitativamente dependiendo de las condiciones climáticas, variedades, características del suelo y de las aguas de riego y de factores tecnológicos (Daood *et al.*, 1996).

Mediante análisis químicos y microscópicos de las diferentes partes de los frutos, se ha observado que los pigmentos responsables del color del pimentón se encuentran en el pericarpio (Navarro & Costa, 1993). Dichos pigmentos pertenecen a los dos subgrupos de la familia de los *carotenoides*: **carotenos** y **xantófilas**. De los carotenos (compuestos isoprénicos sin oxígeno) caben destacar el β -caroteno y el *criptoxanteno*, ambos con actividad antioxidante y provitamínica (provitamina A). Por otra parte, en el caso de los *tocoferoles* localizados exclusivamente en las semillas, es de gran interés el α -*tocoferol* (vitamina E) con actividad antioxidante *in-vivo*, y el δ -*tocoferol* con actividad antioxidante *in-vitro*. Las xantófilas (compuestos isoprénicos con oxígeno derivados de los carotenos) se presentan como rojas y amarillas. Las rojas, *capsorrubeno* y *capsanteno*, representan el 60% del total de los pigmentos presentes y de ahí la coloración predominantemente “roja” del producto. Las xantófilas amarillas mayoritarias son: *criptoxantina*, *zeaxantina*, *luteína* y *violaxantina* (Costa, 1991; Navarro & Costa, 1993; Giménez, 2000).

Los carotenoides pueden encontrarse en forma libre en los tejidos vegetales, ya sea como cristales o sólidos amorfos o, debido a su naturaleza liposoluble, en la porción lipídica del producto. Se hallan como ésteres de ácidos grasos (las xantófilas generalmente forman mono y diésteres; el capsanteno se halla como éster del ácido láurico) o combinados con hidratos de carbono y proteínas.

Los ácidos grasos presentes en el pimentón se clasifican como fracción saturada e insaturada (Tabla 5).

Al elevado porcentaje en ácidos grasos insaturados se le atribuyen los procesos asociados con el deterioro oxidativo. Esto también involucra a las xantófilas que, al poseer insaturaciones conjugadas, resultan especialmente susceptibles a la oxidación. Tal proceso puede estar catalizado por enzimas, como ciertos tipos de lipooxigenasas, o por la presencia

de sustancias prooxidantes como Fe^{+2} , Cu^{+2} , dando productos incoloros (Fennema, 1993; Navarro & Costa, 1993).

Tabla 5.- Composición porcentual de las fracciones saturadas e insaturadas del pimentón
(Fennema, 1993; Navarro & Costa, 1993).

Fracción saturada			Fracción insaturada		
ácido láurico	C 12:0	1%	ácido oleico	C 18:1	10%
ácido mirístico	C 14:0	2%	ácido linoleico	C 18:2	66%
ácido palmítico	C 16:0	14%	ácido linolénico	C 18:3	5%
ácido esteárico	C 18:0	2%			

Químicamente el color se debe a los dobles enlaces covalentes conjugados presentes en las moléculas de los diferentes carotenoides. La existencia, además, de grupos carbonilos e hidroxilos conjugados con la cadena alifática del pigmento, confieren un color aún más intenso. Por este motivo, la intensidad del color del pimentón es un factor de calidad esencial que depende del contenido en carotenoides, así como de su integridad química, lo que a su vez condicionará su uso en la elaboración de productos cárnicos. La Tabla 6 menciona el número y tipo de grupos funcionales presentes en los principales carotenoides del pimentón (Navarro & Costa, 1993).

Tabla 6.- Grupos funcionales de los carotenoides más importantes del pimentón (Navarro & Costa, 1993).

Carotenoides	Grupos hidroxilos	Grupos carbonilos	Dobles enlaces conjugados	Grupo epoxi
Capsanteno	2	1	10	0
Capsorrubeno	2	2	9	0
β -caroteno	0	0	11	0

Zeaxanteno	2	0	11	0
Criptoxanteno	1	0	11	0
Violaxanteno	2	0	9	2
Criptocapseno	1	1	10	0

El pimentón contiene, además, niveles elevados de vitamina C (ácido ascórbico) los cuales superan en ocasiones los 200 mg/100g. Sin embargo, durante el proceso que involucra la obtención del pimentón, se reduce a valores de 8,56 mg/100g (Aguirrezabal, 1993) y 30 mg/100g (Maga, 1975). Actúa no sólo protegiendo los sistemas biológicos de las lesiones provocadas por los radicales libres, sino que además sinergiza la actividad antioxidante de los tocoferoles. Por tanto, la cantidad aportada a los embutidos se reduce finalmente a valores de 0,256 ppm por lo que el efecto antioxidante que ejerce dicha especia en estos productos no se debe a la vitamina C (Aguirrezabal, 1993; Giménez, 2000).

II.6- Tecnología de fabricación de los embutidos crudo-curados

El proceso de elaboración de los embutidos crudo-curados consta de las siguientes etapas (Figura 8):

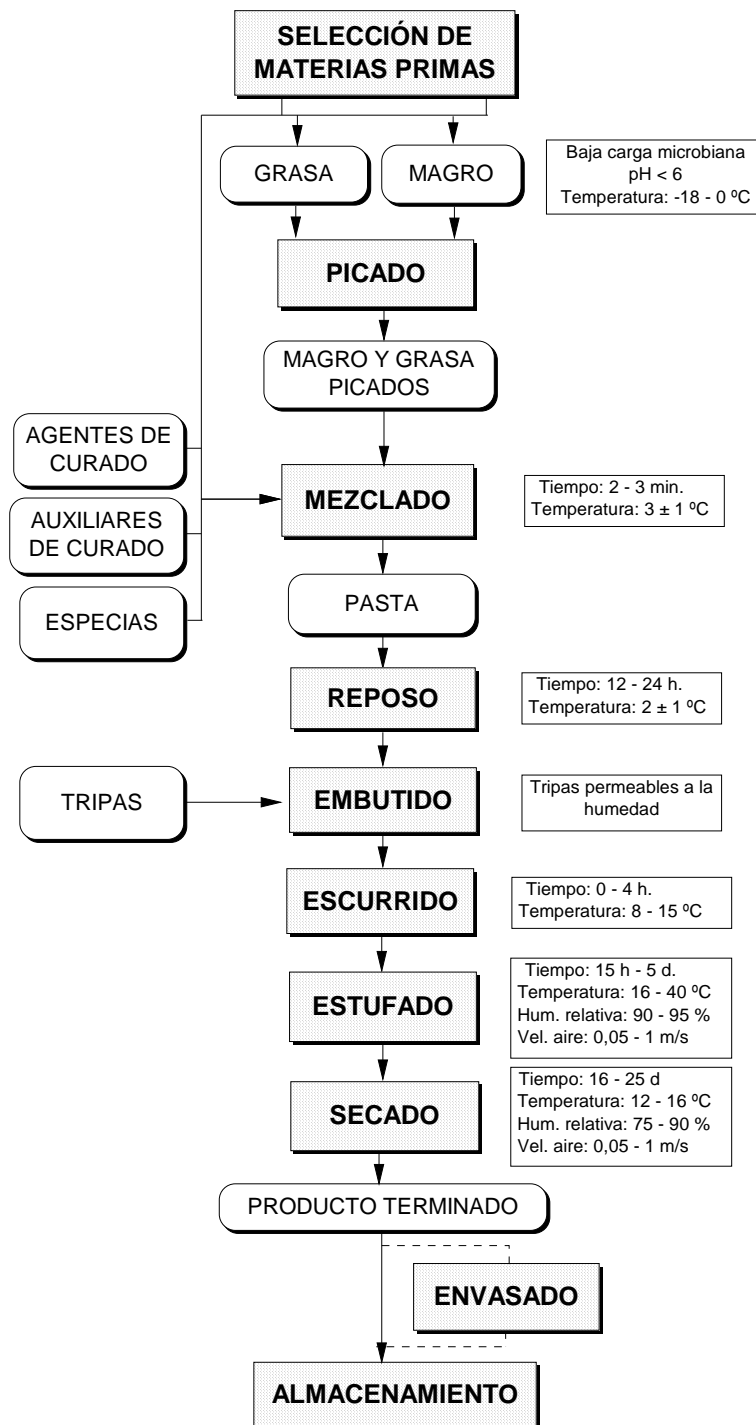


Figura 8.- Proceso de elaboración de embutidos crudo-curados (Rosmini & Schneider, 2000).

II.6.1- Selección de las materias primas

Para obtener productos cárnicos uniformes en composición química, color, aspecto, textura, sabor, propiedades físicas, etc., se debe realizar una correcta selección de las materias primas que serán utilizadas.

Al realizar la selección de las materias primas se debe tener en cuenta que los diferentes tejidos animales varían en su contenido en agua, grasa, proteínas y pigmentos, y dicha variabilidad influirá directamente en las características del embutido terminado (Rust, 1994).

El magro y la grasa, ambos componentes de origen animal, constituyen la base fundamental en la formulación de los embutidos crudo-curados. Deben, por tanto, proceder de una matanza higiénica, realizada bajo el control del Servicio de Inspección Veterinaria Oficial, de animales sanos y correctamente alimentados, los cuales deben haber permanecido en reposo antes de ser sacrificados. Estas materias primas deben ser manipuladas y procesadas siguiendo los principios generales de Buenas Prácticas de Manufactura (BPM), cuidando que las salas cuenten con una temperatura ambiente controlada (10 °C) y que sean almacenadas en refrigeración (4° C) hasta su utilización.

Las principales características de calidad que sirven para una correcta selección de las materias primas cárnicas son expuestas en la Tabla 7.

Tabla 7.- Características de calidad para la selección de las materias primas cárnicas

(Fehlhaber & Janetschke, 1995).

TECNOLÓGICAS	NUTRITIVO- FISIOLÓGICAS	HIGIÉNICAS	PSICOLÓGICAS
---------------------	------------------------------------	-------------------	---------------------

Origen de la carne (especie animal, edad, sexo) Peso vivo y peso en canal y de los distintos cortes	Valor nutritivo (cantidad y clase de proteínas, lípidos e hidratos de carbono) Tasa de microfactores (cantidad y clase de vitaminas, sales minerales y elementos vestigiales)	Estado fisiológico de los tejidos, ausencia de lesiones patológicas, cantidad y clase de microorganismos	Aspecto exterior, modo de oferta, tipo de envase, forma, corte y preparación
Proporción de carne magra, tejido adiposo, tejido conjuntivo y huesos respecto a la canal total	Contenido de sustancias sápidas (ácidos orgánicos, compuestos nitrogenados no proteicos)	Ausencia o presencia de parásitos en músculos y órganos	Color
Rendimiento de la canal	Digestibilidad de los nutrientes	Ausencia o presencia de sustancias químicas, radiológicas o biológicas perjudiciales (residuos)	Consistencia
Proporción de los cortes más valiosos	Modo de separación	Manipulación higiénica de la carne	Olor, sabor
Tasa de humedad, pérdida por goteo y capacidad fijadora de agua		Estado higiénico dudosos (suciedad, contacto con alimañas)	Jugosidad, succulencia, ternura
Temperatura interior de la canal; pérdidas por refrigeración, valor de pH			
Color de la carne, capacidad de enrojecimiento y de curado Mermas por calentamiento (cocido, asado y grill)			
Comportamiento reológico			

II.6.1.1- Magro

Las carnes magras correspondientes al músculo esquelético son las más deseadas, principalmente las provenientes de vacuno y cerdo, aunque la carne de ave también suele ser

una fuente importante de materia prima. También se emplean como fuentes de carne magra pequeñas porciones de la canal de carnero y ternera (López de Torre & Carballo, 1991).

Los parámetros de calidad que se deben tener en cuenta en la selección del magro son:

- **Frescura:** la carne empleada puede ser refrigerada o congelada (Frey, 1988; Bacus, 1994), estando el rango óptimo de temperaturas comprendido entre 0 y -18°C (Vendeuvre, 1982). La carne refrigerada debe conservar las características típicas de la carne fresca y para ello debe mantenerse, desde su obtención, en cámaras con temperaturas de 0-4 °C y una humedad relativa del 75-90 % (Prändl, 1994a). En la carne congelada ha de tenerse en cuenta que la congelación-descongelación (el factor tiempo x temperatura es decisivo) de la misma provoca un cierto deterioro estructural que puede llegar a afectar las propiedades del embutido (ligazón).
- **Textura:** estará en relación con la proporción de tejido graso y tejido conjuntivo de la carne. La infiltración grasa influye en la jugosidad y la terneza de la carne. La presencia de tejido conjuntivo (colágeno, elastina, reticulina) aumenta la dureza de la carne, por lo que previamente a su utilización en la fabricación de embutidos, deberán eliminarse las porciones duras de la misma como tendones, aponeurosis, etc. (Fernández-López, 1998).
- **Color:** el color de la carne es de gran importancia pues afecta directamente la elección del consumidor (Ver Secciones II.3 y II.4). La concentración de mioglobina varía ampliamente y está afectada no sólo por la especie, sino por la edad, la alimentación, la función específica del músculo y el tipo de fibra (Knipe, 1993; Severini *et al.*, 1994). La carne utilizada en la elaboración de productos cárnicos deriva principalmente del vacuno, ovino y porcino. La de vacuno es más oscura por contener cantidades elevadas de Mb, mientras que la de ovino contiene sólo la mitad, para la misma edad del animal, y la del porcino 1/5 o menos (Rodríguez-Rebollo, 1996). Por otra parte, el magro con coloraciones

- anormales (elevado crecimiento microbiano, presencia de coágulos, etc.) debe rechazarse (Bacus, 1994; Rosmini, 1997). Finalmente, el color del músculo es ampliamente utilizado para evaluar la calidad. Un color oscuro puede indicar edad avanzada del animal, deshidratación o alteraciones de diverso origen. Un músculo extremadamente pálido puede sugerir una baja capacidad de retención de agua (CRA) (Rodríguez-Rebollo, 1996).
- **Olor:** es un factor de selección muy importante. En general el olor de la carne es muy ligero, recordando en ocasiones al del ácido láctico, siendo más intenso en la carne de animales de mayor edad que en los jóvenes. El magro con olores desagradables debe rechazarse (alteración microbiana, medicamentos, enranciamiento, etc.) (Bacus, 1994).
 - **pH y capacidad de retención de agua (CRA):** cuando el pH se encuentra próximo al punto isoeléctrico de las proteínas miofibrilares, el músculo cede la máxima cantidad de humedad (mínima CRA) y el embutido se seca de forma adecuada. El valor crítico está entre 5,8-6,0 para animales jóvenes y de 6,3-6,6 para los de edad más avanzada (bovino y porcino respectivamente). El magro con valores superiores de pH debe rechazarse o en su defecto mezclarse en proporciones adecuadas con magro de pH inferiores (Vendeuvre, 1982; Frey, 1988). También debe evitarse el uso del magro exudativo con bajo pH (PSE del inglés *pale*: pálido, *soft*: suave, *exudative*: exudativo) puesto que dificulta la penetración de la sal y la solubilidad de las proteínas.
 - **Carga microbiana inicial:** debe ser la menor posible, lo cual se consigue mediante la aplicación de BPM durante el proceso de matanza y posterior manipulación de la carne (Rosmini, 1997). Si la carga microbiana inicial es elevada afectará al proceso de fermentación y las características finales del producto (Frey, 1988). Los microorganismos presentes en la carne obtenida bajo condiciones higiénicas son en su mayoría saprófitos, resultando muy bajo el número de patógenos. Dentro de los primeros se pueden mencionar: *Acinetobacter*, *Aeromonas*, *Alcaligenes*, *Moraxella*, *Flavobacterium*,

Pseudomonas y representantes de la familia *Enterobacteriaceae*, *Micrococcus spp.*, *Staphylococcus spp.*, varias especies del género *Bacillus* y algunas levaduras y mohos. Entre los patógenos más comunes de la carne están *Staphylococcus aureus*, *Yersinia enterocolítica*, *Clostridium perfringens*, *Listeria monocytogenes*, *Esterichia coli* y *Salmonella* (ICMSF, 1985). Éstos últimos provienen del procesamiento con deficiencias higiénicas, desde el sacrificio del animal hasta la propia manipulación que se realiza durante la elaboración de los embutidos.

- **Relación humedad/proteínas (H/P):** las relaciones humedad/proteínas de los diferentes tejidos son de gran importancia al preparar la formulación de los embutidos. Algunas de estas relaciones, para las materias primas más comunes, se presentan en la Tabla 8. En particular, la calidad de la carne reside en la proporción de proteínas (Fernández-López, 1998).
- **Ligazón:** el tipo de proteína que predomine en el magro es muy importante porque el nivel o grado de ligazón de una proteína miofibrilar es diferente al de una proteína colágena. Se consideran carnes con altas propiedades de ligazón a los tejidos esqueléticos magros de vacuno, porcino y ovino. La carne de la cabeza y la carrillada son consideradas de grado de ligazón medio, mientras que aquellas con alta cantidad de grasa o tejido muscular liso tienen malas propiedades de ligazón. Las carnes que presentan una capacidad ligante peor a las anteriores se denominan “de relleno” y debe limitarse su empleo si se quiere mantener la calidad de un determinado embutido (Rust, 1994) (Tabla 9)

Tabla 8.- Contenido de humedad y proteínas de las materias primas de origen cárnico

(Rodríguez-Rebollo, 1996)

Muestras	Humedad (H)	Proteínas (P)	Razón H/P
Carne de toro	73,6	21,2	3,4

Recortes de vacuno	71,1	19,8	3,5
Pescuezos	72,0	20,0	3,6
Carne de papadas (porcino)	71,7	19,6	3,7
Costillares de vacuno	70,6	19,2	3,7
Carne de cabeza (cerdo)	63,1	16,4	3,8
Faldas de vacuno	59,2	15,4	3,8
Recortes de porcino (50% grasa)	29,0	7,0	4,1
Grasa de cerdo	6,2	1,33	4,6
Tripas de vacuno	72,8	15,2	4,7
Corazones de vacuno	79,0	16,0	4,9

Tabla 9.- Propiedades de ligazón de los diferentes tipos de carne (Rust, 1994)

Nivel de Ligazón	Tipo de Carne
Alta	Magro esquelético de vacuno, porcino y ovino
Media	Carne de cabeza y carrillos
Baja	Recortes de cerdo, papadas, grasa de jamón y carne de costillar de vacuno
Relleno	Callos, hocicos, labios, tejidos parcialmente desengrasados y productos procesados

II.6.1.2- Grasa

La grasa contribuye en gran medida a la palatabilidad de los embutidos facilitando la masticación y proporcionando a su vez, aroma, sabor y sensación de jugosidad. Contribuye además, junto a las proteínas del magro, a la ligazón de la masa, consistencia y humedad, lo que la hace irremplazable en este tipo de productos (Frey, 1988; Rust, 1994).

Los recortes grasos de vacuno y cerdo proporcionan la mayor parte de la grasa de la fórmula del embutido. Se prefiere la grasa de cerdo debido a que posee un menor punto de fusión, es más fácil de picar, casi no presenta coloración y su composición en ácidos grasos contribuye en gran medida a la formación del aroma y sabor característico (Prändl, 1994b;

Rust, 1994). Por el contrario, la grasa bovina presenta una consistencia más dura debido a la elevada proporción de ácidos grasos saturados (mayor punto de fusión), aportando en consecuencia menor sabor y aroma que la de cerdo (provee gusto a sebo) (Rosmini, 1997). No obstante, la elevada proporción de ácidos grasos insaturados, principalmente poliinsaturados, aumenta el riesgo de enranciamiento y con ello la alteración del sabor, aroma y color del producto. Generan, además, inconvenientes durante el *picado*, pues las gotas de grasa (fluída) se adhieren a la carne (*embarrado*; ver sección II.6.2) dificultando el posterior *embutido*. Esto se traducirá, posteriormente, en defectos de secado y consistencia al corte. Por esta razón la grasa debe trabajarse bien refrigerada o congelada para lograr el aspecto y la consistencia deseada en el producto (Frey, 1988; Vendeuvre, 1982). Reuter (1980) aconseja que en el momento de la matanza se extraiga el tocino y se lo refrigere a -1° C.

La calidad y las propiedades de las grasas dependen de diversos factores, destacándose aquellos que son *proprios del animal*: raza, edad, alimentación, región anatómica y proporción de tejido conjuntivo, y los *tecnológicos*: enfriamiento, temperatura y tiempo de almacenamiento e higiene en el proceso de obtención. Por ejemplo, los cerdos que son sacrificados demasiado jóvenes poseen menor cantidad de tocino, el cual a su vez tiene una mayor capa de grasa externa blanda. Con el incremento de la edad y del peso, esta capa disminuye, aumentando la capa inferior de grasa con mayor contenido en ácidos grasos saturados que la primera. Luego, el tocino de los animales de mayor edad resulta más firme y con menor tendencia a la rancidez (Kuhne, 1984). Los cerdos alimentados a base de maíz, aceite de soja, tortas oleaginosas, desarrollarán una mayor proporción de tejido graso blando, inadecuado para la fabricación de embutidos (Tandler, 1992). El tocino de aguja, tocino dorsal y tocino de panceta son los de elección para elaborar embutidos crudo-curados por su consistencia y firmeza (Fernández-López, 1998).

Actualmente la tendencia al consumo de productos hipocalóricos (“diet”) ha contribuido a la elaboración de embutidos con bajo contenido graso (Shand *et al.*, 1990). La reducción de la fracción grasa en la formulación provoca cambios drásticos en el producto: se tornan secos, duros, sin aroma, salados y con mal gusto. Esto se debe fundamentalmente al cambio de solubilidad que sufren las especias (aumenta el contenido de agua y disminuye el de grasa) lo cual influye directamente en el sabor final (Goutefongea & Dumont, 1990).

II.6.2- Picado

Consiste en la reducción del tamaño de los trozos de carne y grasa hasta diferentes niveles según el tipo de producto a elaborar. Constituye una verdadera *desorganización estructural* en la que se destruyen las últimas barreras de defensa naturales (fascias, aponeurosis, etc.) que posee la carne, liberándose los nutrientes y líquidos celulares (intracelular e intercelular), los cuales favorecerán el desarrollo de los microorganismos (aumenta la a_w) presentes en la superficie de la carne. Éstos se benefician aún más por el aumento de la superficie expuesta, por lo cual dicha operación debe realizarse en condiciones de estricta higiene y refrigeración (Fehlhaber & Janetschke, 1995).

El objetivo de esta etapa del proceso es obtener un producto uniforme, con una distribución regular de los diversos ingredientes que intervienen en la formulación, mejorar la textura de la materia prima al reducir su tamaño y facilitar la mezcla (Marcos, 1991).

El picado es una de las operaciones más delicadas durante la elaboración de los embutidos crudo-curados, pues las características básicas de muchos embutidos secos y semisecos se relacionan con el tamaño de la partícula cárnica (Rust, 1994). Hay productos que incorporan en su composición carne groseramente picada, con trozos de 10 a 30 mm (chorizo español), otros son medianamente picados con trozos de 10 mm (salami, salchichón español), mientras que en algunos el picado es tan fino que constituyen una verdadera

emulsión cárnica (cervelat, longaniza, salchichón picado fino, sobrasada, salchichas de Frankfurt) (Pérez-Álvarez, 1996). La fragmentación de los tejidos musculares y adiposos se realiza bajo el efecto de fuerzas de corte, aplastamiento y ruptura. Los granos obtenidos interactúan íntimamente a través de puentes de hidrógeno, interacciones electrostáticas, interacciones hidrofóbicas y fuerzas de Van der Waals, asegurando la cohesión de la pasta (Girard *et al.*, 1991; Aleixandre, 1996).

Esta operación se lleva a cabo utilizando *picadoras de tornillo* o *picadoras de cuchillas (cutter)* o la combinación de ambas (mixto). Las primeras permiten un picado continuo y una granulometría más regular. Sin embargo uno de los fenómenos que comúnmente se genera en la picadora es el recalentamiento de la carne lo cual va acompañado a menudo de magullado y embarrado de la pasta (Marcos, 1991). El sistema cutter, aunque diseñado en principio para obtener pastas finas y emulsiones, también suele utilizarse en el picado pero deben tomarse ciertas precauciones. Primero el proceso es discontinuo y, si bien el corte es más liso, la granulometría resulta más irregular (Incze, 1986). Además, la inclusión de aire a la masa durante el picado origina reacciones químicas indeseables entre el oxígeno del aire y los ingredientes de la pasta cárnica, lo que altera a su vez el color y el sabor (formación de MetMb y oxidación de las grasas). Este aire incluido en la masa influye también enormemente sobre la firmeza del producto final (Wirth, 1992). Este inconveniente se resuelve tras el advenimiento de la “cutter al vacío”. Trabajando bajo vacío se mejora el desarrollo del color y el aroma, aumentando al mismo tiempo la estabilidad del producto (Starr, 1979).

Cabe destacar que en estudios realizados sobre los cambios de color provocados durante la elaboración de embutidos crudo-curados, se señalaron cambios en las *coordenadas de color* (ver Sección II.7.2.3), específicamente de la *luminosidad (L*)* de las pastas. La L*

aumenta significativamente en el momento de realizar la operación de picado de la carne (García-Marcos *et al.*, 1996)

II.6.3- Amasado

Esta operación permite homogenizar las materias primas crudas con los aditivos y especias, obteniendo una masa o pasta uniforme (Fernández-López, 1998). Es muy importante realizarla bajo vacío a fin de evitar la oxidación de los lípidos presentes (López de Torre & Carballo, 1991).

Durante el amasado se rompe la estructura del tejido muscular favoreciendo esto la penetración de sal y la solubilización de las proteínas miofibrilares (Hultin, 1993). La carne previamente picada presenta mayor superficie de contacto con la sal.

El porcentaje de proteínas en la mezcla total es fundamental (relación H/P) pues son ellas las que intervienen directamente en la ligazón de la pasta durante las operaciones de picado y amasado (Acton, 1972). En los embutidos crudo-curados la ligazón se efectúa mediante la liberación de las proteínas miofibrilares y su distribución en la pasta tras el amasado. Por otra parte, la emulsión de la grasa en la pasta también favorece la ligazón (Fernández-López, 1998).

Se utilizan máquinas mezcladoras-amasadoras que pueden ser de distintos tipos: de tambor, de brazo amasador, de aletas o paletas y de hélice o eje espiral (Fischer, 1994b). En ella se incorporan las especias, los agentes y los coadyuvantes del curado que, a veces, se añaden en forma de papilla acuosa (López de Torre & Carballo, 1991). Al igual que en el picado, una temperatura elevada de la materia prima o un tiempo prolongado de amasado favorecen el *embarrado* (Bacus, 1994). Desde el punto de vista microbiológico se favorece la distribución de los microorganismos presentes en toda la masa, lo cual es un inconveniente si

las prácticas higiénicas realizadas hasta el momento fueron inadecuadas (Rosmini & Schneider, 2000).

En diversos estudios efectuados sobre los cambios de color durante la elaboración de los embutidos crudo-curados, se han observado variaciones en las *coordenadas de color*, específicamente sobre la L*. La adición de pimentón a la pasta reduce los valores de la L*, lo que se traduce en un oscurecimiento de las mismas en el momento en que la operación es llevada a cabo. La adición de sal también provoca el descenso de los valores de la L* de las pastas, mientras que el tratamiento con nitrito de sodio y ascorbato de sodio (agente y coadyuvante del curado respectivamente) no producen cambios en dicha coordenada (García-Marcos *et al.*, 1996).

II.6.4- Reposo de la pasta

Es el período de tiempo en el cual la pasta se deja descansar bajo condiciones de refrigeración (1-5 °C) favoreciendo la acción de aditivos y especias sobre los componentes cárneos y la grasa (adobado) (Rosmini, 1997).

Permite, en principio, una mejor difusión de las sustancias de curado e interacción de los componentes dando lugar a una serie de transformaciones bioquímicas y fermentativas de la pasta (Fernández-López, 1998).

El tiempo de reposo depende principalmente del tipo de embutido a elaborar, pudiendo por tanto no llevarse a cabo como en el caso de las pastas que se embuten inmediatamente después de ser amasadas (lup cheong) (Leistner, 1995), como tener una duración de siete días (embutidos orensanos). No obstante, la duración normal es aproximadamente de 12-24 hs (García Marcos *et al.*, 1996). Otros autores (López de Torre & Carballo, 1991) resaltan la utilidad de esta fase principalmente para aquellos picados con trozos grandes de carne a fin de que absorban las sales de curado. Esto evita la aparición de alteraciones posteriores.

En diversos estudios sobre los cambios de color que se producen durante la elaboración de los embutidos crudo-curados, se han observado variaciones de las *coordenadas de color* durante esta etapa (Pagán *et al.*, 1992).

II.6.5- Embutido

Esta operación consiste en la introducción a presión, dentro de un forro o tripa, de la masa o pasta reposada (Fernández-López, 1998). En casi la totalidad de los embutidos se realiza en forma mecánica, luego de haber acondicionado las tripas mediante remojo o enjuague (Rosmini & Schneider, 2000).

Las tripas utilizadas pueden ser naturales o artificiales. Las primeras derivan principalmente del tracto gastrointestinal del ganado porcino, bovino u ovino (Effenberger, 1980) y actualmente su uso queda circunscripto a la elaboración de embutidos artesanales. Se emplean mucho en la fabricación de embutidos secos ya que se encogen y adaptan a la superficie permaneciendo en íntimo contacto a medida que el producto va perdiendo humedad (Forrest *et al.*, 1979). Las tripas artificiales pueden ser de celulosa, de colágeno comestible o no comestible y de plástico, y han desplazado casi por completo a las naturales (Fernández-López, 1998). Para los embutidos crudo-curados se emplean tripas naturales o sintéticas a base de colágeno, las cuales deben ser permeables a la humedad y los gases a fin de facilitar el curado (López de Torre & Carballo-García, 1991).

En el mercado existen distintos tipos de embutidoras, aunque en principio todas constan de una tolva de alimentación de la pasta y un sistema de vacío para no introducir aire en la tripa (López de Torre & Carballo-García, 1991). La pasta puede ser impulsada por un mecanismo de tornillo o de pistón, siendo preferible este último para evitar el “embarrado” (Bacus, 1994).

La operación de embutido es una etapa delicada pues debe mantenerse a lo largo de la misma una presión firme y constante. Por otra parte, la manipulación higiénica de las tripas es fundamental a fin de evitar la contaminación con gérmenes indeseables (Rosmini & Schneider, 2000). La pasta cárnica recién embutida presenta condiciones de crecimiento idóneas para los microorganismos presentes, con un pH alrededor de 6,0 y un a_w elevada (mayor a 0,96) (Flores & Bermell, 1995).

II.6.6- Ecurrido

Luego de embutidas y atadas, las piezas se dejan escurrir un determinado período de tiempo a fin de eliminar el exceso de agua proveniente en su mayoría de la tripa. Esto evita el ingreso de las piezas demasiado húmedas a la cámara de estufado (Rosmini, 1997).

II.6.7- Estufado

El estufado consiste en someter el producto a un calentamiento inicial suave con el objeto de estimular el desarrollo de la flora microbiana. La flora presente fermenta los carbohidratos generando acidez y energía. Los ácidos orgánicos producidos disminuyen los valores del pH provocando un desarrollo selectivo sobre la flora microbiana (ver más adelante). Además, el aporte energético permite alcanzar las condiciones necesarias para la formación del color rojo de curado (Demasi *et al.*, 1989; López de Torre & Carballo-García, 1991; Jay, 1994). El género *Lactobacillus* es el principal responsable de la generación de acidez, mientras los *Micrococcus* son los que intervienen en la formación del óxido nitroso (Schiffner *et al.*, 1978; Jay, 1994; Niven, 1994).

La velocidad e intensidad con que se produce la acidificación dependen tanto de las características de la pasta cárnica, así como del diámetro del embutido (calibre) y de la temperatura de estufaje. Diversos estudios señalan que la incorporación de agua a las pastas

condiciona una fermentación más rápida (Bacus, 1986). Los embutidos de grueso calibre fermentan lentamente al principio ya que la penetración del calor se ve dificultada durante el estufaje. Posteriormente, la acidificación se acelera haciéndose difícil de controlar (la flora láctica encuentra condiciones muy favorables para su desarrollo). Por el contrario, en los de pequeño calibre, la difusión del oxígeno se ve muy favorecida y, por tanto, la producción de ácidos vía fermentativa disminuye. La temperatura a la que se somete el embutido va a determinar la actividad metabólica de los microorganismos. Existe una buena correlación entre la temperatura y la a_w de la pasta cárnica con el crecimiento microbiano. Por ejemplo, con valores de a_w superiores a 0,96 y temperaturas de estufaje del orden de los 25 °C, se produce un rápido descenso del pH. Con valores de a_w por debajo de 0,95 y temperaturas de 20 °C el proceso de acidificación es más lento. Por otra parte, temperaturas elevadas provocan una acidificación intensa, pudiendo inhibir el crecimiento de microorganismos con actividad nitrato-reductasa (Género *Micrococcus*) dando lugar a defectos tanto en la coloración como alteraciones en el sabor (Flores & Bermell, 1995).

El descenso del pH (pH inicial de 6,0-6,2 hasta valores de 5,4-4,6) provoca, además, durante esta etapa:

- a) disminución de la a_w de la carne, favoreciendo el secado ulterior (Sofos, 1981; Rust, 1994);
- b) la gelificación de las proteínas miofibrilares (Sofos, 1981; Rödel & Stiebing, 1989) y la ligazón de la pasta;
- c) potenciación de la actividad enzimática nitrato-reductasa de las bacterias, favoreciendo la formación del color de curado y del aroma característico (Kletner & Rödel, 1979; Sofos, 1981; Rödel & Stiebing, 1989);
- d) limitación del crecimiento de los gérmenes indeseables, en especial bacterias Gram - (Schiffner *et al.*, 1978; Sofos, 1981; Rödel & Stiebing, 1989; Jay, 1994; Rust, 1994).

Esta disminución del pH y de la a_w , así como la concentración de solutos existentes (cloruro de sodio y carbohidratos) sumada a la baja tensión de oxígeno (bajo Eh) seleccionan la flora del embutido, favoreciendo el predominio de los géneros *Lactobacillus* y *Micrococcus* (Gram +) y eliminando los Gram - (Schiffner *et al.*, 1978; Erichsen, 1983).

Los cultivos iniciadores o “starters” que suelen emplearse para asegurar una correcta fermentación son una mezcla de *Lactobacillus* sp., *Micrococcus* sp. o *Pediococcus* sp. (ICMSF, 1985; Rust, 1994). Tienen la ventaja, sobre la flora autóctona, de realizar una fermentación más rápida y completa.

II.6.8- Secado

En la etapa de secado existe una migración de agua desde el interior del embutido hacia la superficie desde donde se evapora. El proceso debe controlarse estrictamente a fin de evitar la formación de huecos o grietas, una costra superficial o el desprendimiento de la tripa. Esto se consigue igualando las velocidades de migración de agua con la de evaporación, lo que permite una pérdida de humedad gradual y uniforme (Stiebing & Rödel, 1991; Bacus, 1994).

La humedad relativa (HR), así como la velocidad de circulación del aire dentro de la cámara, condicionan el proceso de secado del embutido: *secado lento* para una HR elevada y baja velocidad de circulación del aire, y *secado rápido* para condiciones inversas. Es recomendable mantener una diferencia de 4 puntos entre la a_w del embutido y la HR de la cámara (Stiebing & Rödel, 1988). La circulación del aire debe ser uniforme en toda la cámara para lograr un secado homogéneo de las capas externas y evitar diferencias en la eliminación de agua entre uno y otro embutido (Stiebing & Rödel, 1988; Rust, 1994).

La temperatura de la cámara de secado debe estar en un rango de 12-16 °C, cuidando de no superar el límite máximo para que la grasa no se degrade, impidiendo además

fermentaciones indeseables. Por debajo del límite inferior, el secado se torna demasiado lento (Rosmini & Schneider, 2000).

Durante toda esta etapa los hongos colonizan la superficie del embutido, a medida que disminuye el a_w , asentándose en la tripa (Rust, 1994). Son principalmente especies del Género *Penicillium* que producen un efecto antioxidante, favorecen la formación de aroma y sabor (degradan las grasas y proteínas) e impiden la formación del encostrado (Lücke, 1987).

II.6.9.- Envasado

Si bien los embutidos crudo-curados son productos que pueden ser conservados sin recubrimiento, el envasado permite controlar mejor la higiene, aumentar la vida útil del producto y protegerlo de los daños que pueda sufrir durante el almacenamiento, el transporte, la distribución y la comercialización (Rosmini & Schneider, 2000).

El envase brinda protección: *química* pues impide el paso de oxígeno, vapor de agua y otros gases (en forma parcial o total dependiendo de las características del material del envase); *física* pues lo protege de la luz, el polvo, la suciedad y los daños mecánicos, y *biológica* ya que impide el ingreso de microorganismos e insectos evitando la alteración de la flora propia del producto (ICMSF, 1983).

II.6.10- Almacenamiento

Los productos crudo-curados son alimentos de humedad intermedia, que pueden ser conservados durante períodos prolongados de tiempo (hasta 2 años) debido a que en su fabricación intervienen una combinación de factores (barreras de Leistner): incorporación de sal en la formulación, la acidificación gradual del producto provocada por la flora presente, principalmente por los *Lactobacillus* (fermentación), disminución de la a_w debido a la deshidratación del producto durante la etapa de secado e incorporación de nitrito en la

formulación, o producción de éste a partir del nitrato incorporado por los *Micrococcus* presentes (Schiffner *et al.*, 1978; Leistner, 1987; Jay, 1994; Campbell-Platt, 1995).

Las salas de almacenamiento para productos sin envasar deben tener una baja temperatura ambiente, menor a 8 °C, humedad relativa alrededor de 80 % y ausencia de ventilación para evitar que continúe la desecación (Fernández-López, 1998).

II.7- Metodología empleada en la determinación del color.

II.7.1- Bases para la medición del color

Tradicionalmente se ha determinado el color por medio de análisis visuales, los que requieren la participación de jueces entrenados para su ejecución. Dicho sistema carece de objetividad y es inadecuado para la realización de pruebas rutinarias (Heredia *et al.*, 1986; Hunt *et al.*, 1991). Por esta razón se han desarrollado métodos físicos los cuales emplean diversos instrumentos (fotómetros y/o colorímetros) que buscan definir y comparar los colores pero de forma objetiva (Pérez-Álvarez *et al.*, 1999). Luego, los dos métodos básicos empleados en la determinación del color son: a) el basado en la apreciación humana: **método subjetivo**, y b) el que emplea el análisis instrumental: **método objetivo** (Hunt, 1980; Warris, 1995).

El ojo humano distingue unos 7,5 millones de estímulos de color. El vocabulario alemán posee aproximadamente 2830 denominaciones de colores, de los cuales sólo 280 se usan en el lenguaje coloquial y 12 con cierta frecuencia. Por tanto las denominaciones de los colores no se corresponden con las posibles sensaciones. Además, si bien el ojo está capacitado para apreciar pequeñas diferencias de color, éstas dependen en última instancia del observador (subjetiva) lo que se suma a que no son reproducibles y la nomenclatura utilizada

resulta confusa. Dichas limitaciones de los métodos visuales justifican la utilización de las técnicas instrumentales. Esta es la causa por la cual la medición repetible e instrumental de los colores va ganando terreno en el ámbito industrial (Heredia *et al.*, 1986; Schmidhofer, 1994).

Antes de abordar la medición del color en los alimentos debe distinguirse entre los conceptos: *color-radiación*, *color-objeto* y *color-sensación*. El color, en el ámbito de la física óptica, es un haz de radiaciones luminosas con una determinada distribución espectral (*color-radiación*). Los objetos transforman la luz que les llega, de modo que la luz transmitida a su través (cuerpos transparentes) o reflejada en las capas superficiales (cuerpos opacos) tiene distinta distribución espectral (*color-objeto*). Cuando la luz procedente de una fuente luminosa o de un objeto iluminado incide en la retina del ojo humano estimula al órgano de la visión, dando lugar a la sensación de color (*color-sensación*). De esta forma al decir que un objeto es azul nos estamos refiriendo a la sensación visual que se percibe al observarlo cuando está iluminado por la luz blanca. Dicha sensación depende entonces de la iluminación que recibe (*color-radiación*), de la capacidad del objeto para transformar la luz incidente (*color-objeto*) y de la percepción humana (*color-sensación*) (Calvo & Durán, 1997).

Por otra parte, existen cuatro factores principales que influyen en el color de un objeto:

1.- Iluminación: para observar los objetos en la vida real se utilizan luces de diversa naturaleza: luz solar, lámparas fluorescentes, metales que constituyen los filamentos de las bombillas, etc. De modo que para “medir” el color de un objeto (y entre ellos el de los alimentos) se precisa conocer con exactitud la composición espectral de la luz incidente. Esto se soluciona disponiendo de *iluminantes normalizados*. Un iluminante es una fuente de luz definida por una potencia espectral relativa, la cual puede estar físicamente disponible (*fuentes estándar*) o no como fuente de iluminación. La CIE (Commission Internationale de

l'Eclairage) definió los iluminantes **A**, **B**, **C** y, más recientemente, el **D₆₅** (Figura 9). Se definen por su *temperatura de color correspondiente*. Al calentar un cuerpo negro hasta incandescencia la radiación que emite tiene diferente cromaticidad según la temperatura: a bajas temperaturas aparece rojizo y a medida que ésta aumenta vira a tonos azulados pasando por el blanco. La temperatura de color correspondiente define la cromaticidad, es decir, la distribución espectral de cada iluminante (Lozano, 1978; Calvo & Durán, 1997). La fuente A se obtiene de una lámpara de filamento de tungsteno operando a una temperatura de color de 2854 K (luz artificial). Las fuentes B y C derivan de la A por el paso de ésta a través de filtros líquidos. La B es una aproximación a la luz del mediodía (temperatura de color 4800 K) y la C a la luz promedio del día (temperatura de color 6500 K) (Billmeyer & Saltzman, 1981). Las fuentes A, B y C son consideradas también *iluminantes* porque sus potencias espectrales relativas son conocidas. Todas las fuentes estándar tienen actualmente sus iluminantes correspondientes, aunque lo inverso no siempre se cumple. Esto es aplicable a la serie de iluminantes "D" (luz de día) que son *iluminantes por definición* puesto que hasta el momento no existen fuentes artificiales que las dupliquen o simulen.

En 1965 la CIE recomendó una serie de iluminantes para suplementar a los A, B y C basados en los estudios de la potencia relativa de la luz natural del día. Éstos representan promedios de la luz del día sobre el rango del espectro de 300-830 nm y tienen correlacionadas las temperaturas de color entre 4000 y 25000 K. El más importante es el **D₆₅** con una temperatura de color de 6500 K (Fernández-López, 1998).

La iluminación tiene aspectos prácticos en el área de los alimentos ya que su apariencia puede ser mejorada por el uso de iluminantes adecuados. Por ejemplo, la luz de tungsteno con una temperatura de color de 3200 K se recomienda para realzar el color rojo, naranja y amarillo (carnes, tomates y cítricos). Para los productos lácteos se prefiere una luz más parecida a la natural, optándose por tubos fluorescentes de 6500 o 7500 K, mientras que

para exhibir las verduras se utilizan tubos de 5500 K de temperatura de color (realza los verdes) (Lozano, 1978).

2.- Objeto: al incidir una radiación electromagnética sobre un material la absorción de fotones provoca el paso de electrones a niveles energéticos superiores. Resulta así una diferencia neta de energía que determina la longitud de onda de la radiación absorbida. Si ésta se encuentra en el intervalo del espectro visible, la radiación que sale del material (transmitida si es transparente o reflejada si es opaco) tiene una distribución distinta a la incidente, o lo que es lo mismo, un color diferente al del iluminante utilizado (Calvo & Durán, 1997). De esta el objeto resulta caracterizado por su espectro de reflexión (Fernández-López *et al.*, 1998).

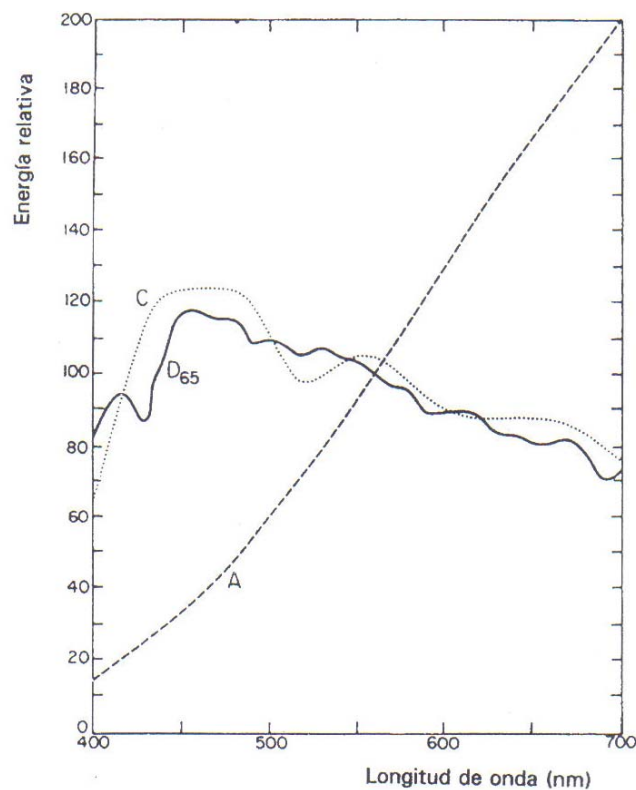


Figura 9.- Curvas de distribución espectral de los iluminantes normalizados (Calvo & Durán, 1997).

La luz que es absorbida por el objeto y la que percibimos como color del mismo son complementarias: mezcladas dan lugar a la luz blanca. Luego, un objeto que vemos blanco refleja la totalidad de las ondas, mientras que un objeto negro las absorbe todas (Schmidhofer, 1994).

Al incidir la luz sobre un cuerpo (sólido, líquido o gaseoso) se producen diferentes fenómenos ópticos (difracción, dispersión, transmisión, reflexión, absorción) los cuales son difíciles de separar, pero resultan en mayor o menor grado selectivos según la naturaleza del medio y la posición del observador. De ellos, la absorción de la luz es la que más influye en el color (Swatland, 1994). Según la forma de interacción óptica con la luz, los cuerpos se clasifican en:

- *transparentes* (dejan ver perfectamente a su través): transmisión especular,
- *translúcidos* (dejan pasar la luz pero no permiten ver a su través): transmisión difusa,
- *opacos-mate* (no dejan pasar la luz): reflexión difusa,
- *opacos brillantes* (no dejan pasar la luz): reflexión especular (Szczesniak, 1983).

La composición química y la estructura del material también afectan la reflectancia (Swatland, 1994; Van Laack *et al.*, 1995). Ciertas moléculas orgánicas contienen grupos “cromóforos”, es decir, agrupaciones de átomos que pueden transformar la calidad espectral de la luz ($-N=N-$, $>C=C<$, $>C=O$, etc.). Pigmentos naturales como la clorofila, mioglobina y hemoglobina son claros ejemplos de este tipo de moléculas (Calvo & Durán, 1997). En general el color se presenta en aquellos compuestos con metales de transición (complejos de coordinación) y en los compuestos orgánicos con estructura π (sistemas conjugados) (Rakoff & Rose, 1980).

Finalmente, el color-objeto es una propiedad del material que se puede definir y medir espectrofotométricamente, independientemente de las características del iluminante y de la capacidad de percepción del ojo humano (Calvo & Durán, 1997).

3.- Observador: cuando el ojo humano mira un objeto expuesto a la luz incidente, la intensidad energética de la luz que percibe no es la reflejada por el objeto sino la que resulta de multiplicar, para cada longitud de onda, la energía del espectro de reflexión del objeto por el valor de la visibilidad relativa a la misma longitud de onda. Luego, la intensidad luminosa de un objeto, tal como la percibe el ojo humano, se llama *claridad*. En la práctica el problema es todavía más complejo pues el ojo percibe al mismo tiempo la luz incidente y la reflejada (Fernández-López *et al.*, 1998).

Debido a que aún en muchas industrias se realiza un elevado número de evaluaciones visuales resulta conveniente normalizar la *medida visual del color*. En 1931 la CIE establece el *observador estándar* cuya visión del color es representativa del promedio de la población humana con una visión normal del color. Posteriormente, en 1964, establece el *observador estándar suplementario* (Billmeyer & Saltzman, 1981; Gilabert, 1992). Al primero se lo denomina *observador estándar 2°*, u observador patrón de colorimetría para un campo foveal (UNE, 1982) y al suplementario, *observador 10°* u observador para un campo visual amplio (UNE, 1984). La utilidad de estos observadores reside en evaluar la luminancia de una determinada luz desde el punto de vista *perceptivo* (no fotométrico) (Lozano, 1978). El observador 10° es el más ampliamente utilizado ya que presenta una mejor concordancia con el promedio de la estimación visual (Stroka & Brokes, 1970).

4.- Entorno: la forma, el tamaño y el color del fondo sobre el que se halla la muestra, pueden ejercer un importante efecto de contraste, modificando la sensación que sobre el observador produce un determinado color (Giese, 1995; Heindrich, 1995; Calvo & Durán, 1997).

II.7.2- Sistemas de color

Es posible identificar cada color, además de por su espectro de reflexión, por algunas cifras (coordenadas) de forma independiente. Utilizando dichas coordenadas se pueden construir espacios o superficies (sólidos de color) donde cada uno de los diferentes colores existentes queda representado por un punto. En ellos también se representan de forma regular los factores psicológicos que modifican la percepción del color por el ojo humano. Tales son: el *tono* (rojo, naranja, amarillo, etc.), la *saturación o croma* (muy rojo o menos rojo, según la proporción de gris presente) y *luminosidad* (situada entre el blanco y el negro) (Pérez-Álvarez *et al.*, 1999).

II.7.2.1- Sistema Munsell

Este sistema desarrollado por Albert H. Munsell, cuya primera publicación data de 1905, pone de relieve su afán por establecer una base científica a la especificación de los colores. Munsell era profesor de pintura y su deseo de expresar científicamente los parámetros de los elementos con los que trabajaba lo llevó a formular que: *“Si la música está provista de un sistema en el que cada sonido se define en términos de tono, intensidad y duración, el color también puede ser especificado, mediante un sistema apropiado, en base al tono, luminosidad y croma de nuestras sensaciones”*. Su sistema establecía tres dimensiones del color midiendo cada una de ellas con una escala apropiada (Lozano, 1978). Este espacio de color es mucho menos físico y más fisiológico y psicológico que los descriptos por la CIE (ver Sección II.7.2.3) (Gilabert, 1992). Las ventajas que él mismo impuso a su sistema fueron:

- a) Se reemplazan definiciones vagas y abstractas del color por una notación definida.
- b) Cada nombre de un color autodefine su grado de tono, croma y luminosidad.
- c) Cada color se puede registrar y comunicar mediante un código.
- d) Se puede escribir la especificación de un color y verificarla mediante pruebas físicas.
- e) Los colores nuevos no perturban la clasificación ordenada pues les está reservado un lugar.

f) La decoloración se puede definir y representar gráficamente a ciertos intervalos, poniendo de manifiesto su progreso en términos de tono, croma y luminosidad (Lozano, 1978).

Otra ventaja de este sistema es la disposición de los colores según un orden de percepción visual (Pérez-Álvarez *et al.*, 1999).

La Figura 10 muestra el sólido de colores de Munsell. El eje principal es el lugar donde se representan los colores que van desde el blanco hasta el negro (extremos superior e inferior respectivamente). Su simetría polar en el plano horizontal indica, mediante el módulo vector, la *saturación (croma)* del color, mientras que el *tono* viene determinado por el ángulo que el radio vector forma con el eje de coordenadas.

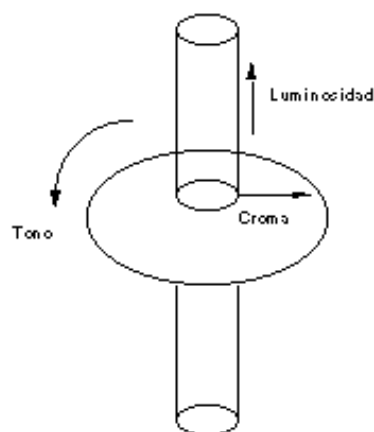


Figura 10.- Esquema del Sólido de color del sistema Munsell (Pérez-Álvarez *et al.*, 1999).

El *valor o luminosidad* es la magnitud que corresponde a la escala de grises que se encuentra comprendida entre 1 y 10 (negro y blanco respectivamente) (Lozano, 1978; Gilabert, 1992). Para simplificarlo, Munsell dividió su círculo en 100 unidades, de 0 a 100 comenzando con los tonos rojo púrpura- rojo (RP-R), pasando por el 5, rojo (R); el 25, amarillo (Y); el 45, verde (G); el 65, azul (B); el 85, púrpura (P) y los intermedios: el 15, amarillo-rojo (YR); el 35, verde-amarillo (GY); el 55, azul-verde (BG); el 75, púrpura-azul (PB) y el 95, rojo-púrpura (RP), aunque sólo son cinco los tonos principales (rojo, amarillo,

verde, azul y púrpura) (Lozano, 1978; Cheftel *et al.*, 1983; Hunt *et al.*, 1991). Estableció además una relación entre la luminosidad y el valor de cada color:

$$V^2 = 100 L_r$$

Donde: $L_r = L_x / L_{MgO}$

V : valor del color,

L_r : luminosidad del color en cuestión,

L_x : valor medio para el color, relativo a la luminosidad del óxido de magnesio

L_{MgO} : luminosidad del óxido de magnesio (MgO).

Diferentes trabajos realizados por la compañía Munsell han permitido utilizar un *atlas de colores* denominado **Diccionario Munsell** (ver sección II.7.3.1) confiable y reproducible. Es posible, además, mediante una transformación adecuada, conocer la equivalencia de estos colores en otros sistemas (Calvo & Durán, 1997; Rosmini *et al.*, 1999).

II.7.2.2- Sistema Hunter

Tomando como base la *teoría de los colores oponentes* de Hering, Hunter desarrolló en 1948 el sistema **Lab** (Calvo & Durán, 1997). Este nuevo sólido de color denominado **Hunter Lab** tiene una superficie uniforme de color definida por tres coordenadas rectangulares: **L** (luminosidad), **a** (eje rojo-verde; rojo para los valores positivos y verde para los negativos) y **b** (eje amarillo-azul; amarillo para los valores positivos y azul para los negativos) (Figura 11).

El eje de *luminosidad* (L), en el centro del sólido, está calibrado de 0 a 100, donde 100 es el blanco absoluto. Los valores acromáticos están en la intersección de los ejes a y b. Los *tonos* están distribuidos en los cuatro cuadrantes del plano ab, y la pureza o *croma* es tanto mayor cuando más alejada se halla del punto de origen de las coordenadas. Las coordenadas Lab se pueden relacionar matemáticamente con las del sistema CIE) (Pérez-Álvarez *et al.*, 1999).

La economía y rapidez de respuesta que supuso la aparición en el mercado de los colorímetros triestímulo (colorímetros Hunter) (ver sección II.7.3.2) frente a los espectrofotómetros convencionales ayudó a la gran difusión del sistema Lab. Contribuyó también lo intuitivo de su representación gráfica la cual se basa, como ya mencionáramos, en la teoría de los colores oponentes.

Si bien es muy utilizado en el campo de los alimentos, tiene el inconveniente de que no es del todo uniforme en la región del azul (Calvo & Durán, 1997). No obstante es uniforme frente al sistema *CIE X,Y,Z (1931)* (ver Sección II.7.2.3). En este último dos muestras con la misma diferencia visual en una parte del sólido de color y otro par de muestras ubicado en otra zona del sólido, podrán no tener la misma diferencia entre ellas. Esto no sucede con el sistema Hunter Lab debido a la uniformidad que presenta (Pérez-Álvarez *et al.*, 1999).

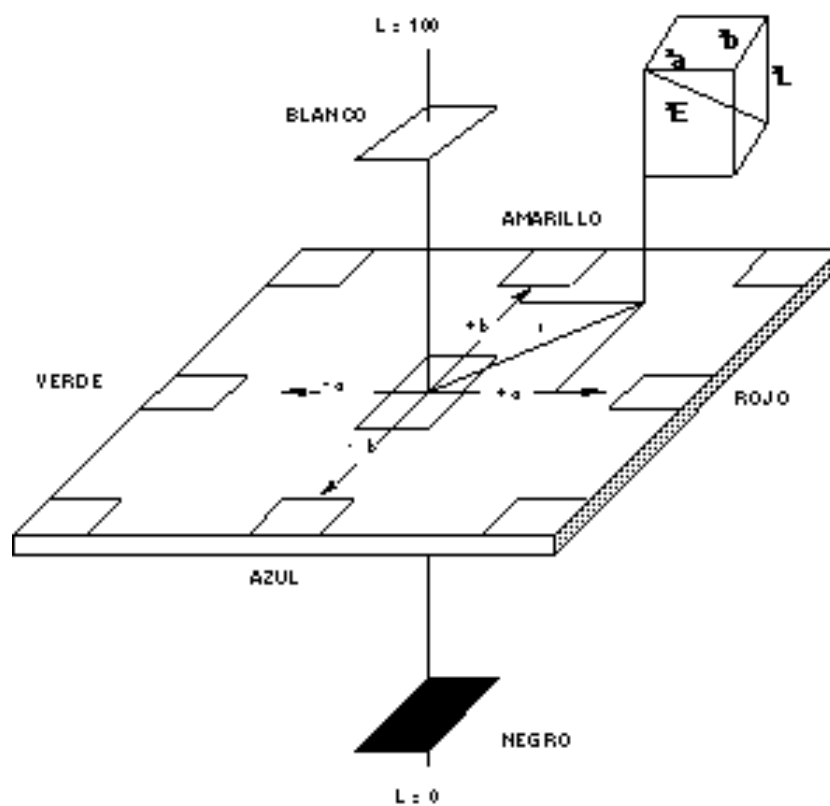


Figura 11.- Sólido de color del sistema Hunter Lab (Fernández-López, 1998).

II.7.2.3- Sistemas CIE

La CIE ha desarrollado los sistemas más importantes y más utilizados en la actualidad para la descripción y medición del color, los cuales se basan en la utilización de *fuentes de iluminación y observadores estándar* (Giese, 1995).

El espacio físico de colores definido en 1931 por el CIE se basa en la *teoría tricromática del color*. Se sabe que, para el ojo, es posible reconstituír todos los estímulos coloreados mezclando cantidades apropiadas de los tres estímulos fundamentales: rojo, verde y azul (colores primarios) (Hunt *et al.*, 1991).

Mezclando cantidades apropiadas de los tres estímulos fundamentales se puede obtener un gran número de colores. Por ejemplo, siendo P el *color de la muestra* y R , G y B los *estímulos primarios: rojo (R), verde (G) y azul (B)*, la igualación del color se consigue según: $P = R + G + B$. Pero no todos los colores pueden situarse por la suma de los colores primarios. Hay casos en que la igualación sólo se consigue en términos de $P = G + B - R$, y como resulta poco inteligible que un componente primario intervenga con carácter negativo, se idearon unos *colores primarios ideales X, Y, Z*, deducidos matemáticamente de los primarios reales: R , G y B . La CIE llama *valores triestímulos* a las cantidades de cada primario ideal necesarios para igualar el color de la muestra. En este *sistema tricromático CIE X,Y,Z*, los valores del parámetro Y corresponden exactamente a la *luminosidad* (o claridad) de la muestra.

Por otra parte, el *observador patrón CIE 1931* es la descripción numérica de la respuesta al color por el ojo humano (Figura 12). Dicha respuesta se cuantifica con las llamadas curvas del observador patrón las que se obtienen cuando el observador compara luces monocromáticas [roja (700 nm), verde (546 nm) y azul (436 nm)] del espectro visible con mezclas de los tres primarios (Calvo & Durán, 1997).

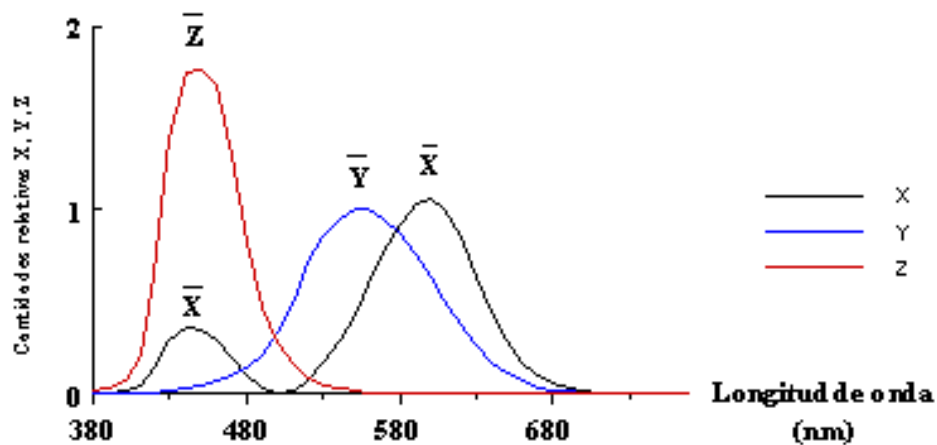


Figura 12.- Valores triestímulos del observador patrón: *x* rojo, *y* verde y *z* azul (Calvo & Durán, 1997).

La evaluación de un color, es decir su cromaticidad, se consigue definiendo tres nuevos valores, las *coordenadas de cromaticidad*: *x*, *y*, *z*. Éstas se obtienen al expresar los valores triestímulos (X,Y,Z) como fracciones de su suma total:

$$x = \frac{X}{X + Y + Z} \qquad y = \frac{Y}{X + Y + Z} \qquad z = \frac{Z}{X + Y + Z}$$

La suma de $x + y + z$ es necesariamente igual a la unidad. Luego, para determinar la cromaticidad de un color basta con especificar dos coeficientes, por ejemplo x e y . Más aún, especificando x , y e Y se caracteriza no sólo la cromaticidad sino también la luminosidad.

El empleo de estas coordenadas de cromaticidad o coeficientes tricromáticos (x , y , z) presenta la ventaja en relación con los valores triestímulo (X, Y, Z) de indicar mejor la diferencia de cromaticidad entre dos colores. De esta manera si los coeficientes x e y se llevan en coordenadas sobre un diagrama (diagrama de cromaticidad xy) se obtiene una superficie cromática donde cada color puede ser representado por un punto (Pérez-Álvarez *et al.*, 1999).

Existen varios métodos para calcular los coeficientes tricromáticos del color de una muestra (sometida a un iluminante determinado) a partir de la luz que refleja. Uno de ellos consiste en la utilización de un colorímetro provisto de tres filtros determinados, con los cuales se realizan tres medidas sucesivas de la luz reflejada calculándose luego a partir de éstas X , Y , Z (Fernández-López *et al.*, 1998).

La diferencia de color entre dos muestras es la distancia existente en el espacio euclídeo (X , Y , Z) entre los puntos que representan el color de ambas muestras, obtenidos por aplicación del teorema de Pitágoras:

$$\Delta E = [(\Delta X)^2 + (\Delta Y)^2 + (\Delta Z)^2]$$

donde Δ es “diferencia de” y E , es la letra inicial de “*empfindung*” (del alemán, que significa sensación) (Pérez-Álvarez *et al.*, 1999).

Se deduce entonces que dos muestras que presenten los mismos valores triestímulos aparecerán con un mismo color para determinadas condiciones de iluminación y observación. Por el contrario, si cualquier valor triestímulo es diferente, tales muestras no estarán igualadas y la diferencia total será una media aproximada de la diferencia de color percibida entre ellas (Lozano, 1978). Este sistema de valores triestímulo CIE presenta algunos inconvenientes como:

- Es relativamente complejo. Normalmente se lo utiliza simplificado, relacionando el color del objeto con un solo coeficiente: luminosidad, pureza o longitud de onda dominante (Pérez-Álvarez *et al.*, 1999). Se entiende por esta última a la longitud de onda del espectro que mezclada con una correspondiente cantidad de “blanco” da lugar al color deseado (Schmidhofer, 1994).
- No permite reconstruir el espectro de reflexión del objeto a partir de los valores triestímulo.
- En virtud de su estructura, si dos muestras presentan diferencias de color (diferentes valores triestímulo) no permite cuantificar dicha diferencia.
- No es uniforme, es decir, que cuando se presentan sobre el diagrama algunos emplazamientos de colores que el ojo no puede diferenciar entre sí, se comprueba que éstos ocupan superficies más o menos grandes.

Luego, para intentar solucionar estos y otros problemas, los valores X, Y, Z, se transforman matemáticamente hasta obtener un espacio de color más uniforme. En 1976 la CIE recomendó el *espacio de color CIELAB* adoptado también como norma UNE (UNE, 1984; Pérez-Álvarez *et al.*, 1999). La principal ventaja de su aplicación estriba en su similitud con la uniformidad visual humana, donde las distancias equitativas en el sistema representan aproximadamente las distancias equitativas visuales (Warris, 1995). El sólido de color de este sistema (Figura 13) se obtiene por transformaciones no lineales del sistema CIE X,Y,Z-1931. Se define entonces un espacio en coordenadas rectangulares (L^* , a^* , b^*) junto con otro en coordenadas cilíndricas (L^* , H^* , C^*), resultando un sistema tridimensional esférico. Las coordenadas L^* , a^* , b^* son magnitudes adimensionales y su equivalencia con el sistema CIE X,Y,Z es la siguiente:

$$L^* = 116 (Y/Y_0)^{1/3} - 16$$

$$a^* = 500 [(X/X_0)^{1/3} - (Y/Y_0)^{1/3}]$$

$$b^* = 200 [(Y/Y_0)^{1/3} - (Z/Z_0)^{1/3}]$$

donde X, Y, Z son los valores triestímulo de la muestra y X_o, Y_o, Z_o los del punto acromático correspondiente al iluminante empleado. La diferencia de color (ΔE) viene determinada por la siguiente ecuación (Warris, 1995; Calvo & Durán, 1997):

$$\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$$

La coordenada L^* recibe el nombre de *luminosidad* o claridad, y puede tomar valores entre 0 y 100. Las coordenadas colorimétricas a^* y b^* forman un plano perpendicular a la L^* . La a^* define la desviación del punto acromático correspondiente a la luminosidad hacia el *rojo* si a^* es positiva, y hacia el *verde* si a^* es negativa. Análogamente la coordenada b^* define la desviación hacia el *amarillo* si b^* es positiva, y hacia el *azul* si b^* es negativa (Gilabert, 1992).

El conjunto $a^* b^*$ recibe el nombre de *cromaticidad* y junto con L^* definen el color del estímulo (en coordenadas cartesianas o rectangulares); esto se corresponde con el término *cromaticidad* (xy) y, como él, no indica explícitamente ni el tono y ni la saturación. Este inconveniente se soluciona definiendo C^* (*croma*) y H^* (*tono*) (Pérez-Álvarez *et al.*, 1999):

$$C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2} \quad H^* = \arctg (b^*/a^*)$$

El croma C^* toma el valor 0 para estímulos acromáticos y normalmente no pasa de 150, aunque puede superar valores de 1000 para estímulos monocromáticos. El tono, H^* , varía entre 0 y 360° y para los estímulos acromáticos ($a^* = b^* = 0$) es una magnitud indefinida. Ambos términos (C^* , H^*), también definen la *cromaticidad* del color de un estímulo y, junto con la L^* , determinan las coordenadas cilíndricas del espacio CIELAB (UNE, 1982b) (Figura 14), siendo muy parecidas a las coordenadas del sistema Munsell

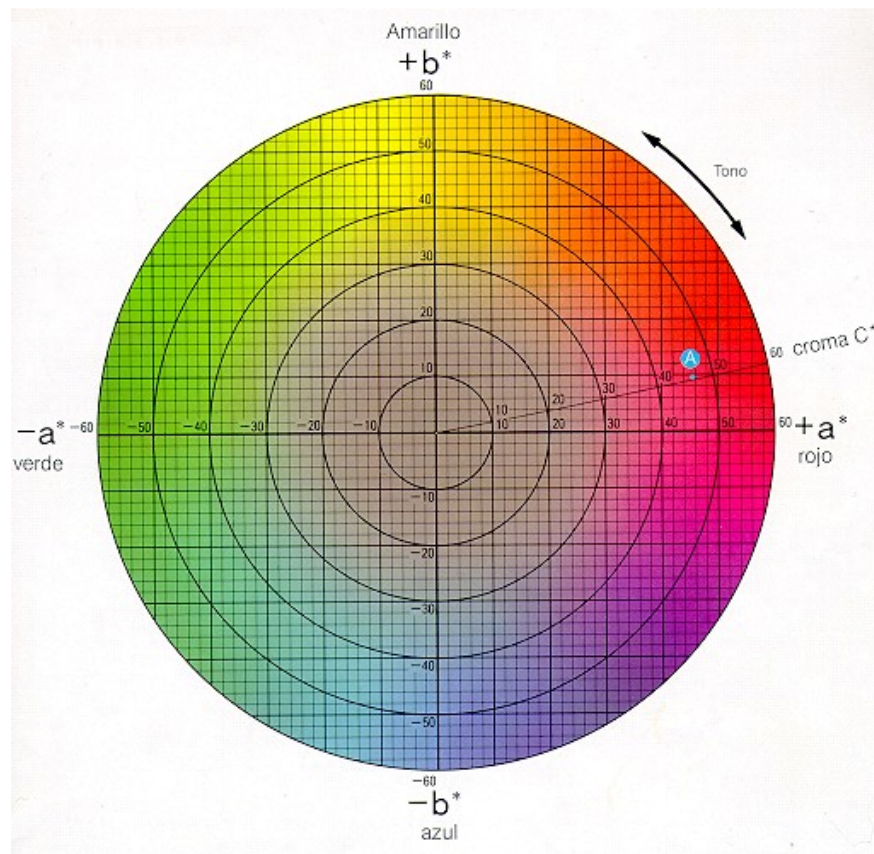


Figura 14.- Diagrama de cromaticidad del Sistema CIE L^* (luminosidad), a^* (rojo-verde), b^* (amarillo-azul), y las magnitudes psicofísicas cromancia (C^*) y tono (H^*) (Anónimo, 1993).

La especificación numérica del color psicofísico en este sistema viene dada por las tres magnitudes: L^* (luminosidad), C^* (cromancia) y H^* (tono), en este orden (UNE, 1984). Se debe tener además en cuenta que si bien la caracterización del color se logra mediante las coordenadas de L^* , a^* y b^* , el objetivo principal de la colorimetría es la determinación objetiva de las diferencias de color (Schmidhofer, 1994).

Si bien el espacio de color CIELAB tiene la misma configuración que el sistema Munsell, presenta frente a éste las siguientes ventajas:

- a) El cálculo de las coordenadas es mucho más simple.
- b) Las unidades de las escalas en las magnitudes CIELAB son casi iguales.

Comparado con el sistema Hunter Lab, los espacios de color de ambos resultan similares puesto que miden la luminosidad, el grado de rojo-verde y el de amarillo-azul (Giese, 1995), aunque su magnitud es diferente. La escala CIELAB se expande en el área correspondiente al amarillo y se contrae en el área de los azules. Las diferencias de color en ambos sistemas se calculan de igual forma (Pérez-Sisternas, 1986). La percepción de dichas diferencias de color depende de la magnitud de éstas (Tabla 10):

Tabla 10.- Diferencias de color del sistema CIELAB y grado de percepción (Schmidhofer, 1994).

Diferencia de color	Percepción
hasta 0,2	imperceptible
0,2-0,5	muy pequeña
0,5-1,5	pequeña
1,5-3,0	evidente
3,0-6,0	muy evidente
6,0-12,0	grande
mayor a 12,0	muy grande

De esta manera, y según las diferencias que encontremos en los valores de L^* , a^* y b^* , se puede obtener valiosa información de cómo se desarrollan los cambios de color. Por ejemplo:

Diferencia de L^* positiva (ΔL^{*+}), el color resulta más claro.

Diferencia de L^* negativa (ΔL^{*-}), el color resulta más oscuro.

Diferencia de a^* positiva (Δa^{*+}), el color es más rojo.

Diferencia de a^* negativa (Δa^{*-}), el color es más verde.

Diferencia de b positiva (Δb^{*+}), el color es más amarillo.

Diferencia de b negativa (Δb^{*-}), el color es más azul (Schmidhofer, 1994).

II.7.3- Métodos para la determinación del color.

El procedimiento que involucra la medición del color consiste en dos etapas:

- a) examen del color, y
- b) valoración de dicho examen.

Para el examen del color se debe tener en cuenta determinados factores como:

- un patrón de luz para la observación (fuente estándar),
- un estándar para especificar el color de la muestra (sino se calculan las coordenadas de color),
- un detector de ese color, que puede ser el ojo humano (método subjetivo) o un instrumento (método objetivo) (Pérez-Álvarez *et al.*, 1999).

Luego, en la valoración del color puede suceder que ésta coincida con algún estándar (fácil especificación del color) o que no coincida, por lo que habrá que calcular las coordenadas de color para definirlo (*existe una relación biunívoca entre las coordenadas y el color*, Hunt *et al.*, 1991).

A continuación se describirán los diferentes procedimientos utilizados en la medición del color.

II.7.3.1- Atlas colorimétricos

Se basan en la comparación con estándares (patrones o colores de referencia). Los atlas de color son colecciones de colores agrupados de acuerdo a un criterio o sistema determinado. Generalmente dicho sistema suele basarse en la naturaleza triparamétrica del color, concretamente en los atributos sensoriales luminosidad (L^*), croma (C^*) y tono (H^*).

Entre los más conocidos merecen citarse: Munsell, Ostwald, DIN, Maerz & Paul (Calvo & Durán, 1997). El más utilizado es el ya mencionado *Diccionario Munsell* el cual fue mejorado publicándose en 1929 el Libro de color de Munsell (Gilabert, 1992).

En cada página del libro de Munsell están los colores correspondientes a un mismo tono, los cuales se disponen en columnas según la luminosidad y en filas de acuerdo a la pureza de color. Cada página tiene una diferencia de tono equivalente a 2,5 unidades sumando un total de 40 páginas y en cada una hay 26 filas y 10 columnas, pero las páginas no están completas (Pérez-Álvarez *et al.*, 1999). La nomenclatura resultante de este orden permite especificar el color en forma concreta. Por ejemplo, la notación 2,5 R6/8 significa color rojo con un tono 2,5, luminosidad 6 y croma 8. La extensión e importancia de este sistema se debe a su carácter eminentemente práctico y a su enfoque sensorial (Calvo & Durán, 1997).

En los atlas de color existen una serie de colores perfectamente definidos con los que la muestra es comparada. Sin embargo el número de colores presentes es discreto con lo cual el color problema puede no estar estandarizado. Por otra parte, el envejecimiento es el principal inconveniente de este sistema. La humedad y la luz deterioran con mayor o menor velocidad los atlas, por lo que hay que mantener estrictas condiciones de conservación (guardarlo en lugares secos, al abrigo de la luz, no someterlo a la acción del calor, etc) (Lozano, 1978; Hunt *et al.*, 1991). No obstante constituyen un valioso auxiliar en la evaluación visual subjetiva de los colores en términos rápidos y sencillos (Pérez-Álvarez *et al.*, 1999).

II.7.3.2- Colorímetros

Colorímetros visuales: el inconveniente de las referencias de color discretas suministradas por los atlas puede ser superado con el uso de los colorímetros visuales. Con estos instrumentos el detector sigue siendo el ojo humano. El iluminante normalizado está acoplado al aparato, pero los colores de referencia pueden variar de forma continua o casi continua por

mezcla de colores. Estas mezclas pueden ser *aditivas*, para lo cual se emplean como colores primarios el rojo, verde y azul, o *sustractivas*, lo cual se logra eliminando porciones de luz blanca mediante filtros adecuados. En esta última mezcla los colores primarios utilizados son: magenta, amarillo y “cyan”. Esto nos lleva a clasificar los **colorímetros visuales** en *aditivos* y *sustractivos*.

-*Colorímetros aditivos*: pueden usar mezcla de luces coloreadas (tipo Wright y Guild) o mezcla de sectores de disco (Maxwell). En alimentos, el más empleado es el de discos. Consta de dos o más discos ensamblados de forma que cada uno de los sectores de la superficie del círculo está cubierto por uno de los colores de la mezcla. Los discos se colocan sobre una plataforma acoplada a un motor que gira a gran velocidad de manera que ante la vista aparezca como un color uniforme. El color resultante se expresa como porcentaje de cada uno de los componentes (Calvo & Durán, 1997). De esta manera actúa el *disco colorimétrico de Maxwell*, formado por sectores de colores que pueden variar en mayor o menor proporción, de forma que al girar, por mezcla aditiva, se obtiene un determinado color (Cheftel *et al.*, 1983). La especificación de los discos se dió desde su origen según la nomenclatura Munsell, pero actualmente tienen también su equivalencia en el sistema CIE en términos de X,Y,Z. Los modelos comerciales llevan instalado el motor, la plataforma y los discos en el interior de una cámara con sistema de iluminación normalizada (Calvo & Durán, 1997).

-*Colorímetros sustractivos*: el más representativo y extendido en su aplicación industrial de este grupo es el de *Lovibond*. Tanto la muestra como el patrón (blanco de óxido de magnesio) aparecen en el campo visual del observador en forma de un círculo dividido en dos partes iguales. La medida del color consiste en igualar ambas partes. En el camino óptico de la luz proveniente del blanco se van intercalando filtros estandarizados hasta igualar el color problema. Para cada color se dispone de una amplia gama de intensidades de manera que si se usan dos o más filtros del mismo color (pero distinta intensidad) se suman valores. El color

determinado viene dado en unidades arbitrarias establecidas por el fabricante, aunque tiene la ventaja de suministrar nomogramas para que éstas sean transformadas a las unidades del sistema CIE. Los filtros utilizados en este método son: *amarillo* (menos azul), *magenta* (menos verde) y *cyan* (menos rojo). Otras ventajas son la permanencia de los filtros a lo largo del tiempo y la simplicidad del aparato. La principal desventaja a considerar consiste en que frente a la misma muestra los resultados pueden variar de un día a otro y de un observador a otro (Calvo & Durán, 1997; Pérez-Álvarez *et al.*, 1999).

Colorímetros triestímulos: es un sistema que consta básicamente de una fuente de luz que al incidir sobre la muestra (con un ángulo de 45°), provoca una reflexión difusa que pasa por una serie de filtros (X,Y,Z) (Figura 15). Cada filtro tiene acoplado un fotorreceptor. Cada uno de ellos da una respuesta R_x , R_y , R_z , que permiten obtener los valores triestímulos X,Y,Z. Dichos filtros están diseñados de forma tal que la salida de energía de la fuente de luz es modificada por ellos, creando una respuesta en el fotorreceptor semejante a la observada por el ojo humano (observador estándar) cuando ve la misma muestra iluminada en las mismas condiciones (Francis & Clydesdale, 1975; Mabon, 1993; Calvo & Durán, 1997).

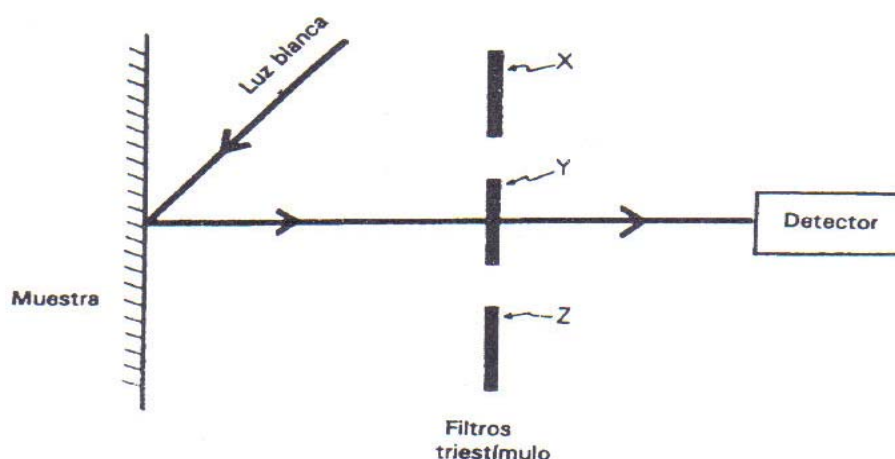


Figura 15.- Esquema del colorímetro triestímulo (Calvo & Durán, 1997)

El uso de tres filtros (rojo, verde y azul) para simular las curvas del observador patrón (Figura 12) plantea el inconveniente con el filtro rojo (X), pues éste simula únicamente el pico grande de la *curva x* pero no tiene en cuenta el pico pequeño. Por esta razón, algunos instrumentos de este tipo acoplan un cuarto filtro (Rx') para simular este pico pequeño correspondiente al rojo (Calvo & Durán, 1997). Otra dificultad estriba en conseguir la combinación adecuada *lámpara-filtro-fotorreceptor* que reproduzca con bastante fidelidad las curvas del observador (Pérez-Álvarez *et al.*, 1999).

El sistema de iluminación clásico de estos colorímetros es con *lámpara de incandescencia de wolframio* (Hunter, Gardner, Elrepho y MOM), y con *lámpara de destello de xenón* (Doctor Lange, Minolta).

Los primeros colorímetros triestímulos daban lecturas sólo en términos de L,a,b, pero en los actuales, el color viene expresado en varias escalas, incluso en el sistema Munsell.

Las ventajas de estos instrumentos frente a los espectrofotómetros (sección II.7.3.3), son: menor costo, respuesta rápida, facilidad en el manejo y eliminación del calentamiento de la muestra por la rapidez con que se efectúa la medición del color. La principal desventaja es que no suministran medidas exactas (Calvo & Durán, 1997). Otros autores señalan que si bien son equipos sencillos y económicos (Skoog & West, 1971), son los más limitados debido a que poseen condiciones fijas de medición (Mabon, 1993), resultando además difícil encontrar filtros que reproduzcan con bastante fidelidad las curvas del observador estándar (Pérez-Álvarez, 1996).

Los colorímetros Minolta (CR-200) han sido utilizados en diversos estudios a fin de evaluar el color de la carne vacuna y por ende su calidad y precio. Estos instrumentos tienen la ventaja de ser portátiles, con lo cual permiten medir el color de las piezas cárnicas directamente dentro de las cámaras frigoríficas, medir más piezas en menos tiempo, reducir

los costos pues no se necesitan transportar muestras al laboratorio y, fundamentalmente, evitar los cambios propios que involucran al traslado de la misma (Anónimo, 1991).

II.7.3.3- Espectrofotómetros

Son equipos que miden la cantidad de luz transmitida o reflejada (según sean líquidos transparentes o sólidos opacos) con relación a una referencia estándar. En el caso de la medición del color se trabaja dentro de la zona visible del espectro (aproximadamente 380-750 nm).

Constan, en esencia, de una fuente de luz blanca que al pasar a través de un prisma proporciona el espectro de la misma del cual pueden aislarse diferentes porciones mediante una red de difracción. La luz monocromática resultante pasa a través de la muestra dando lecturas de transmisión o reflexión. La luz procedente de la muestra es recogida por un fotodetector y transformada en lecturas de transmisión o reflexión para cada longitud de onda. Los gráficos resultantes llevan en el eje de ordenadas el porcentaje de luz reflejada por la muestra en relación al blanco de referencia, y en el eje de las abscisas la longitud de onda. *La forma de la curva de reflexión es característica para cada color.* Los azules tienen su máximo en la zona de los 400 nm, los rojos por encima de los 600 nm y los verdes en la zona central delimitada por los dos anteriores. Los colores claros presentan un área mayor comprendida entre la curva resultante y el eje de abscisas. Por el contrario, los más oscuros presentan un área menor. Los colores saturados (o puros) tendrán altos valores de reflexión en la zona del espectro característica de ese color, registrando un pico máximo y valores mínimos en el resto de la zona del visible. Los colores menos saturados mostrarán valores de reflexión en todas las zonas del visible sin un máximo acusado (Calvo & Durán, 1997).

Los modernos espectrofotómetros tienen acoplado un programa de ordenador el que permite realizar un barrido de la zona visible del espectro tomando lecturas a pequeños

intervalos de longitud de onda y calculando a partir de ellos los valores triestímulos (X,Y,Z). Éstos se definen matemáticamente aplicando la curva de energía de la fuente de luz y el observador estándar. Los programas incorporados son muy versátiles y no sólo suministran los datos del barrido espectral, sino también el gráfico del espectro de reflexión, las coordenadas de color en distintos sistemas (X,Y,Z; x,y,Y; L,a,b; L*,a*,b*), usar diferentes iluminantes: A, C, D₆₅, etc., y referir la medida a los observadores 2° o 10°. En el mercado existen diferentes marcas como Minolta, Hunter, Gardner, Dr. Lange, Macbeth, X-Rite, etc. (Calvo & Durán, 1997; Pérez-Álvarez *et al.*, 1999).

Estos equipos proporcionan la *medida exacta del color* pues dan la composición espectral propia del producto en estudio (Francis & Clydesdale, 1975; Hunt *et al.*, 1991; Mabon, 1993).

La determinación del color a través de la *espectrofotometría de reflectancia* es uno de los métodos más utilizados debido a su estrecha correlación con la percepción visual humana. A diferencia de la espectrofotometría de absorción, la de reflectancia se mide sobre la superficie de la muestra no siendo necesaria su destrucción. También permite evaluar los cambios de color a lo largo del tiempo sobre la misma muestra. Es una técnica rápida y fácil de realizar (Kropf *et al.*, 1984; Hunt *et al.*, 1991). La principal ventaja es que, si se utilizan los mismos dispositivos de reflectancia, los resultados obtenidos en un equipo son comparables con los de otro (Strange *et al.*, 1974).

Finalmente ésta es **la técnica recomendada especialmente para seguir los cambios de color del músculo cárnico** o para la estimación de las distintas formas de la mioglobina (Hunt *et al.*, 1991). Ésta se basa en el modelo matemático desarrollado por Kubelka y Munk (1931) que establece la relación entre los coeficientes de dispersión (S) y absorción (K) de la luz con la reflexión (R) según:

$$K/S = (1-R)^2 / 2R$$

La misma elimina el efecto de dispersión de la luz por la matriz muscular (Eakes *et al.*, 1975).

Como los principales factores involucrados en los cambios de color de la carne son el contenido de mioglobina y las proporciones de sus tres derivados (sección II.3.1) los espectrofotómetros Minolta (CM-1000) han sido utilizados para seguir los cambios de la mioglobina mediante el análisis de la curva espectral de reflectancia para cada derivado (Mb, OMb, MetMb). Una vez obtenidos los gráficos de reflectancia, el programa del que consta el instrumento calcula las proporciones de los tres derivados usando los valores K/S (ley de Kubelka y Munk). Estos datos de reflectancia permiten también determinar la presencia o no de aditivos artificiales que modifiquen el color y la variación de éste en el tiempo relacionada con las diferentes condiciones de almacenamiento y conservación. Estos instrumentos comparten las mismas ventajas que los colorímetros Minolta (CR): portabilidad, gran cantidad de mediciones en poco tiempo y los datos se obtienen en el lugar sin necesidad de transportar la muestra (Anónimo, 1992).

II.7.4- Índices basados en la medida de reflectancia

Las determinaciones de color por espectrofotometría de reflectancia pueden ser afectadas por la estructura del músculo, la orientación de las fibras, la humedad de la superficie, el contenido de grasa (marmoleado) y la concentración de pigmentos (Kropf *et al.*, 1984; Pérez-Alvarez, 1996).

La utilización de índices (cocientes o diferencias) entre dos valores de reflectancia a diferentes longitudes de onda, en lugar de los valores puntuales obtenidos a una determinada longitud de onda evita las variaciones en las medidas del color debidas a dichos factores (Pérez-Álvarez, 1996).

Los *cocientes de reflectancia* más utilizados para estimar los diferentes estados de la mioglobina (Mb) en la carne y en los productos cárnicos son los siguientes:

- R_{560}/R_{500} (índice de nitrosación, **IN**),

- R_{650}/R_{570} (índice de decoloración, **ID**)

- R_{630}/R_{580} (índice de transformación de pigmentos, **ITP**) (Giddey, 1966; Hunt & Kropf, 1985; Hunt *et al.*, 1991).

En algunos casos se puede utilizar también la diferencia $R_{630}-R_{580}$ (Strange *et al.*, 1974; Hunt *et al.*, 1991). Cada una de estas relaciones entre valores de reflectancia permite estimar el estado en que se encuentra el pigmento Mb responsable del color de la carne.

- R_{560}/R_{500} (**IN**): es un indicador de la proporción de pigmentos Fe^{+2} nativos y de pigmentos Fe^{+2} estabilizados por nitrosación, es decir la relación entre la Mb y la NOMb (Mb/NOMb). Representa una medida de la nitrosación de la Mb, es decir, de la eficiencia del proceso de curado. Puede ser utilizado como un indicador del final de la etapa de *estufado* de los productos cárnicos, ya que posteriormente los pigmentos pierden NO y retrogradan a Mb. Cuanto menor es este índice, mayor es la proporción de nitrosopigmentos (color rojo brillante) y, por el contrario, cuanto mayor es el índice menor es la proporción de nitrosopigmentos (color rojo-marrón). La decoloración de la superficie de un producto curado, que ha sido expuesto a la luz y al aire, está en relación con la proporción de Mb nativa y de NOMb. La desaparición del color rojo brillante y la aparición del color rojo-marrón se hace evidente cuando la proporción de nitrosopigmentos es baja (Giddey, 1966).

- R_{650}/R_{570} (**ID**): permite estimar la proporción de pigmentos Fe^{+2} (Mb y NOMb) y pigmentos Fe^{+3} (MetMb) [(Mb+NOMb)/MetMb]. Es particularmente sensible a la intensidad de desarrollo del color curado y también puede indicar pérdidas de color del producto debidas, por ejemplo, a fallos en los envases al vacío por cierres defectuosos o perforaciones (Kropf *et al.*, 1984, Hunt *et al.*, 1991). Una disminución de este cociente indica la oxidación de la Mb nativa a MetMb, debido a una alteración de los pigmentos Fe^{+2} que no están suficientemente estabilizados por nitrosación. La ventaja que presenta este cociente de

reflectancia, además de estar estrechamente correlacionado con la apreciación visual, es que minimiza el efecto debido a la concentración de pigmentos (Hunt *et al.*, 1991).

- **R_{630}/R_{580} (ITP)**: denominado índice de transformación de pigmentos (Forcén *et al.*, 1993) ha sido descrito como un buen indicador de los cambios de color en la carne fresca y en especial, cuando se producen cambios del rojo al marrón en la carne cocida (Hunt *et al.*, 1991). Actualmente se está utilizando para estudios de color en productos cárnicos crudo-curados (Pérez-Alvarez, 1996).

- **$R_{630}-R_{580}$** : esta diferencia determina la concentración de Mb y la proporción de OMb y MetMb (Van den Oord & Wesdorp, 1971b). Ha sido utilizada en experimentos en los cuales existían diferencias de color, tanto desarrollo como disminución (Strange *et al.*, 1974), y se ha encontrado una adecuada relación entre la aceptabilidad del consumidor y esta diferencia de reflectancia, en lo referente a la maduración de la carne de bovino (Van den Oord & Wesdorp, 1971a). Este índice parece ser adecuado para realizar el seguimiento de los cambios de color en una misma muestra de carne (Francis & Clydesdale, 1975). Finalmente, se ha comprobado que al analizar el espectro de reflectancia de la Mb, OMb y MetMb (Hunt *et al.*, 1991) se observa que en R_{630} hay un porcentaje máximo de reflectancia para la OMb y un porcentaje mínimo para la MetMb. Por el contrario, en R_{580} dichos porcentajes se invierten (Fernández-López, 1998).

Mediante la utilización de la espectrofotometría de reflectancia se podrá conocer la influencia de los distintos aditivos y especias, así como de la operación de picado y de la etapa de amasado-reposo (adobado), sobre el color del magro de las pastas utilizadas para elaborar productos cárnicos crudo-curados.

III- OBJETIVOS

III.1- Objetivos generales

-Estudiar por medio de la espectrofotometría de reflectancia la formación y evolución del color del magro de cerdo utilizado en la elaboración de los productos cárnicos crudo-curados.

- Evaluar la función que cumplen las operaciones tecnológicas de picado y amasado-reposo, el pimentón y los aditivos en el desarrollo de este fenómeno.

-Aplicar el sistema CIELAB para determinar la evolución de los parámetros de color durante la etapa de amasado-reposo de sistemas modelos de pastas de embutidos crudo-curados.

III.2.- Objetivos particulares

-Caracterizar las materias primas utilizadas en la elaboración de embutidos crudo-curados.

-Conocer el efecto de distintos tipos de picado (fino, placa de 10 y de 20 mm) sobre las variables de color del magro de paleta de cerdo.

-Conocer el efecto de diferentes concentraciones de sal (cloruro de sodio), tripolifosfato de sodio y ácido láctico sobre las variables de color de los sistemas modelo de pastas de embutidos crudo-curados.

-Evaluar el efecto de diferentes concentraciones de pimentón (especia) sobre las variables de color de los sistemas modelo de pastas de embutidos crudo-curados, y su evolución durante la etapa de amasado-reposo.

-Estudiar el comportamiento de las variables de color en sistemas modelo de pastas de embutidos crudo-curados adicionadas de diferentes mezclas de aditivos y pimentón.

-Determinar la evolución de las coordenadas de color de las pastas de magro de cerdo, adicionadas con pimentón, durante la etapa de amasado-reposo.

IV.- MATERIALES Y MÉTODOS

Debido a la gran cantidad de factores que influyen en el proceso de elaboración de los embutidos crudo-curados (variabilidad de la materia prima, clase y concentración de los aditivos y las especias, efectos derivados de la etapa de picado así como el tamaño del mismo, el efecto del amasado y del reposo de la pasta, las condiciones durante el reposo de la pasta, etc.), se realizó el estudio seleccionando los factores que, teniendo en cuenta la bibliografía consultada, *a priori* se consideraron con mayor influencia en el desarrollo del color de las pastas de embutidos crudo-curados. No obstante, el presente trabajo no incluyó el estudio del efecto que provoca la adición de nitratos-nitritos (sales de curado) en el desarrollo del color de las pastas de embutidos crudo-curados por haber sido estudiado en trabajos previos (García-Marcos *et al.*, 1996; Rosmini *et al.*, 1998).

Por otro parte, debido a que el factor elaboración representa la suma de diversos efectos singulares relacionados con las propiedades del color de la carne fresca, la experiencia fue diseñada de forma tal que este factor no influya sobre los efectos de los factores seleccionados.

Los factores elegidos fueron:

- 1- Efecto del grado de picado.
- 2- Efecto del pimentón durante la etapa de amasado-reposo de las pastas.
- 3- Efecto del cloruro de sodio durante la etapa de amasado-reposo de las pastas.
- 4- Efecto del descenso del pH por acción del ácido láctico durante la etapa de amasado-reposo de las pastas.
- 5- Efecto del tripolifosfato de sodio durante la etapa de amasado-reposo de las pastas.

IV.1.- Elaboración de las pastas

Las pastas se elaboraron siguiendo la serie de etapas detalladas a continuación.

IV.1.1.- Selección de las materias primas

Se utilizaron paletas deshuesadas de cerdo blanco (magro) refrigeradas con un oreo en cámara frigorífica de 24 h, procedentes de un matadero oficialmente habilitado.

La elección de este corte tiene su explicación en la fabricación de un embutido de alta calidad. Por otra parte, se pretende evitar la variabilidad relacionada con las diferencias de pigmentación que aportarían los diferentes recortes de magro de cerdo.

Los aditivos empleados fueron de grado alimentario con excepción del ácido láctico y el cloruro de sodio (sal) que fueron de grado análisis. El pimentón (especia) utilizado fue de uso alimentario y denominación “pimentón comercial dulce”.

IV.1.2.- Troceado y picado del magro

En cada paleta deshuesada (magro entero) se realizaron nueve determinaciones de color y pH. El magro así obtenido se troceó manualmente obteniéndose cubos de menor tamaño (aproximadamente 10 cm de lado) para facilitar la etapa subsiguiente de picado.

Del magro de cada paleta deshuesada se formaron 3 grupos de igual tamaño. Cada uno de ellos fue sometido a un proceso distinto de picado: 2 de ellos se introdujeron en una picadora de tornillo (Morelli, Mod. 32, monofásica) provista de una placa con ojos de 10 mm de orificio para el primer grupo, y para el segundo grupo una placa de 20 mm de orificio. El tercer grupo fue picado finamente mediante un homogenizador de cuchillas tipo Moulinex.

IV.1.3.- Formulación de las pastas y mezclado

La carne obtenida para cada uno de los picados descriptos (fino, 10 y 20 mm) se dividió en 9 porciones de 60 g aproximadamente cada una. A cada porción se le adicionaron diferentes combinaciones de aditivos y pimentón, de acuerdo al siguiente esquema (% del peso):

-cloruro de sodio (sal): 0,00 %; 1,50 % y 3,00 %

-tripolifosfato de sodio: 0,00 %; 0,15 % y 0,30 %

-ácido láctico: 0,00 %; 0,50 % y 1,00 %

-pimentón: 0,00 %; 1,50 % y 3,00 %

Los aditivos y especias se mezclaron con 5% de agua antes de ser incorporados a la carne picada. La mezcla del magro con la suspensión de aditivos-especia-agua se realizó en forma manual con el objeto de lograr una mezcla homogénea.

Una muestra control fue preparada para cada uno de los tres tamaños de picado efectuados, a las cuales no se les incorporó ni aditivos, ni especias ni tampoco agua.

Cada tratamiento (carne picada con la combinación de aditivo-especia correspondiente) fue colocado en recipientes cilíndricos de vidrio, de 10 cm de diámetro por 1,5 cm de altura (tales dimensiones permiten considerar la muestra como un cilindro infinito a efectos de las determinaciones de color) y en un vaso de precipitado de 100 ml destinado a las mediciones de pH.

IV.1.4.- Reposo de las pastas

Terminada la mezcla o el amasado, las pastas obtenidas se dejaron reposar durante 8 h en cámara frigorífica ($3\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$) y cubiertas para evitar la pérdida de humedad, simulando las condiciones normales de fabricación de embutidos crudos durante la etapa de amasado-reposo.

IV.2.- Toma de muestras

Las muestras se obtuvieron de las siguientes etapas: magro entero, pasta sin aditivos ni especia y con aditivos y/o especia durante todo el proceso de reposo (8 h).

Las determinaciones se efectuaron inmediatamente después de incorporados los aditivos (tiempo 0) y a lo largo de las 8 h, con intervalos de 2 horas entre una medida y otra.

El tiempo transcurrido entre las determinaciones de color en el magro entero y las efectuadas sobre el magro picado, con y sin aditivos-especia, fue mínimo (5-6 minutos aproximadamente) y sólo el necesario para efectuar las operaciones de picado y mezclado a fin de evitar alteraciones en el color de las muestras.

IV.3.- Determinaciones analíticas

IV.3.1.- Análisis químicos

Para verificar las características químicas del magro se realizó el control del contenido de humedad, proteínas, grasa y cenizas. La conformación de la muestra sometida a análisis se realizó mediante un pool de los distintos trozos de magro que integraban cada partida.

Contenido de humedad: la determinación de humedad en carne se realizó siguiendo las instrucciones de la Norma ISO R 1442 (ISO, 1975). Los resultados se expresaron en % (kg de agua/100 kg de muestra húmeda). Se realizaron un total de 3 determinaciones sobre el magro.

Proteínas: la determinación de proteínas en carnes se realizó de acuerdo con el protocolo de la Norma ISO R 937 (ISO, 1978) y los resultados se expresaron en % de proteína total. Se realizaron un total de 3 determinaciones sobre el magro.

Grasa: la grasa fue determinada siguiendo las instrucciones de la Norma ISO R 1443 (ISO, 1973). Los resultados se expresaron en % de grasa total. Se realizaron un total de 3 determinaciones sobre el magro.

Cenizas: la determinación del contenido de cenizas en carnes se realizó de acuerdo con el protocolo de la Norma ISO R 936 (ISO, 1985) y los resultados se expresan en % de cenizas. Se realizaron un total de 3 determinaciones sobre el magro.

IV.3.2.- Análisis fisicoquímicos

pH: este parámetro fue determinado con un termo-phMetro Altronix, modelo TPX, y un electrodo de membrana puntiaguda. Se realizaron un total de 9 determinaciones en cada unidad de muestra.

Color: las determinaciones de color de todas las experiencias efectuadas se realizaron por la técnica de *espectrofotometría de reflectancia*. Se utilizó para ello un espectrofotómetro Minolta CM-508 (Minolta Camera Co., Osaka, Japan), el iluminante D65 y el observador 10° (UNE, 1984a).

Este instrumento utiliza una geometría d/8° (diffuse illumination/8° viewing) y la luz proviene de una lámpara con arco de xenón. Posee una esfera integradora, un sistema que permite el uso de un “switch” entre SCI (componente especular incluida) y SCE (componente especular excluida) y un sensor espectral que consta de dos secciones: una que recibe la luz reflejada por la superficie de la muestra y otra que monitorea la luz dentro de la esfera integradora. Para fijar las condiciones de medición posee, además del iluminante D₆₅, otros iluminantes estándares (CIE): A, C, D₅₀ y los

iluminantes fluorescentes: F2, F6, F7, F8, F10, F11 (TL84), F12 (Ultralume 3000), más los dos observadores estándares fijados por la CIE: 2° y 10°. El área de medición es de 8 mm de diámetro abarcando un rango de longitud de onda entre 400 y 700 nm con intervalos de 20 nm, y un tiempo mínimo de ejecución en la medición de 2 segundos para suministrar los datos de la medición efectuada y tan sólo 3 segundos entre una y otra determinación.

Entre las muestras y el equipo se interpusieron cristales de baja reflectancia CR-A5/1829-752 M, en concordancia con las recomendaciones para la evaluación del color proporcionadas por la *American Meat Science Association* (Hunt *et al.*, 1991).

Los parámetros de color obtenidos para cada caso analizado fueron: L* (luminosidad), a* (coordenada rojo-verde) y b* (coordenada amarillo-azul), del espacio de color CIELAB (CIE, 1976). A partir de estos datos se calcularon las magnitudes psicofísicas H* (tono), C* (croma) (UNE, 1983) y el cociente a*/b* (Francis & Clydesdale, 1975; Little, 1975; Lavelle *et al.*, 1995) y las diferencias de color (ΔE^*) (UNE, 1982b; Schmidhofer, 1994).

A partir de los valores de reflectancia específicos para cada longitud de onda se calcularon los cocientes de reflectancia R560/R500 (IN) y R650/R570 (ID) (Giddey, 1966). El *estado de la mioglobina* se estimó con el cociente de reflectancia R630/R580 (ITP) (Hunt *et al.*, 1991) y el *grado de rojez* de las pastas con la diferencia R630-R580 (Hunt, 1980). Se realizaron 9 determinaciones sobre la superficie de cada unidad de muestra.

IV.4.- Diseño experimental

Teniendo en cuenta los resultados de experiencias preliminares (García-Marcos *et al.*, 1996; Rosmini *et al.*, 1998) se seleccionaron un grupo de factores básicos. Éstos

fueron estudiados de forma conjunta para poder conocer su efecto sobre las características de color del magro.

Los factores, así como los niveles o variantes estudiados en cada uno de ellos, son los siguientes:

A= picado (fino, 10 mm y 20 mm), efecto del nivel de picado,

B= pimentón (0,00 %, 1,50 % y 3,00 %), efecto de esta especia,

C= sal (0,00 %, 1,50 % y 3,00 %), efecto de la sal,

D= ácido láctico (0,00 %, 0,50 % y 1,00 %), efecto de este ácido,

E= tripolifosfato de sodio (0,00 %, 0,15 % y 0,30 %), efecto de este aditivo.

De la combinación de todos los aditivos y especia a sus diferentes concentraciones se obtuvo un total de 81 tratamientos diferentes (factorial 3^4), los cuales incorporados a los tipos de picado (fino, 10 y 20 mm), produjo un total de 243 (3^5) tratamientos diferentes. El conjunto compone, por tanto, un diseño factorial 3^5 con 243 tratamientos en total.

La realización se planteó dividiendo el estudio en 3 fracciones factoriales complementarias, de 81 tratamientos cada una, para poder tener un grado de avance de los resultados, tras el ensayo, de 1/3 de los tratamientos y del estudio completo a su término.

Por limitaciones de personal y tiempo, así como para poder realizar a cada muestra todos los análisis requeridos de manera que se ensayasen todos los tratamientos de forma homogénea, fue preciso dividir éstos en bloques siguiendo los Diseños Fraccionados expuestos por McLean & Anderson (1984) y usando el efecto ABCDE como generatriz para la obtención de las tres fracciones factoriales y AB²C²E para la división en bloques. Cada fracción de 81 tratamientos fue dividida en 3 bloques de 27

tratamientos, los que fueron ensayados y analizados como muestras homogéneas e independientes.

IV.5.- Análisis estadístico

Con este diseño experimental fue posible estimar, mediante Análisis Multivariante, todos los efectos simples, todas las interacciones dobles y todas las interacciones triples excepto la ABC y BDE, que quedaron confundidas con el efecto de bloques. En estudios previos (García Marcos *et al.*, 1996; Rosmini *et al.*, 1998) dichas interacciones, picado-pimentón-sal (ABC) y pimentón-ácido láctico-tripolifosfato (BDE), no fueron significativas, resultando factible entonces considerarlas nulas para poder especificar el modelo.

Cada muestra de cada tratamiento del modelo básico fue después analizada en diversos tiempos de amasado-reposo (0, 2, 4, 6 y 8 horas), por lo que el modelo final incluye el factor tiempo, como factor en medidas repetidas, integrado dentro del modelo básico.

Se realizaron contrastes entre las medias correspondientes a los efectos significativos hallados en las diferentes variables estudiadas. Con estos contrastes fue posible determinar entre cuáles de las medias existieron diferencias significativas o la existencia de efectos lineales, cuadráticos, etc. Se utilizó el test de Tukey, para contrastes, cuando dichos contrastes fueron planteados *a priori* del análisis y el test de Scheffe cuando los contrastes fueron sugeridos por los resultados experimentales (Gómez & Gómez, 1976; Gacula & Singh, 1984). En ambos casos se utilizó el término de error adecuado al efecto en estudio.

Se utilizó además el análisis de regresión para determinar el tipo de evolución de las distintas variables durante el tiempo de duración de la etapa de amasado-reposo.

De forma complementaria al desarrollo del muestreo del diseño experimental principal, se ensayaron 3 muestras adicionales de picado sin aditivos en cada uno de los nueve bloques en que se dividía el diseño principal.

En cada bloque se midieron muestras de carne picada con un tamaño concreto de ojo de grilla o cuchillas. El promedio de sus valores se comparó con el promedio de las muestras de magro entero medidas en cada bloque usando un modelo de medidas repetidas con “nivel de picado” como factor “inter-sujetos” (picado fino, 10 mm y 20 mm), los bloques del diseño principal como sujetos experimentales de este modelo y “picado” como factor “intra-sujetos” con 2 niveles: magro entero y muestra picada.

Todo el tratamiento de datos y los cálculos estadísticos se realizaron utilizando el sistema SAS/Base y SAS/STAT versión 6 para VAX/VMS, con licencia para el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (C.S.I.C.) del Ministerio de Ciencia y Tecnología de España, y mediante la colaboración del Ing. Fernando López Santoveña, Analista de Sistemas del Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos (C.S.I.C.).

V- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

V.1- Caracterización del magro de cerdo.

V.1.1- Caracterización química.

En la tabla 10 se presentan los valores medios (X) y sus desviaciones estándar (std) obtenidos al realizar el análisis químico del magro de cerdo utilizado en la realización del presente trabajo. Los valores encontrados coinciden con lo informado por otros autores para el mismo tipo de carne. El valor de humedad está próximo a lo informado por Chan *et al.* (1995), el de proteína y grasa es similar a lo indicado por Fischer (1994) y el porcentaje de ceniza es cercano al reportado por López de Torre & Carballo (1991).

Tabla 10: Composición química (%) del magro de cerdo.

Magro de cerdo		
	Promedio	std
Humedad	73,09	0,33
Grasa	5,50	0,04
Proteínas	19,10	0,02
Cenizas	2,31	0,04

V.1.2- Caracterización físico-química.

En la tabla 11 se presentan los valores medios (X) y sus desviaciones estándar (std) obtenidos al realizar el análisis de los parámetros físico-químicos del magro de cerdo utilizado en la realización del presente trabajo (pH y Eh: potencial de óxido-reducción o potencial redox). Los valores de pH obtenidos permiten clasificar al magro de cerdo utilizado como carne “normal”, según la clasificación de Wismer Pedersen (1994).

Tabla 11: Características físico-químicas del magro de cerdo.

Magro de cerdo		
	Promedio	std
pH	5,7	0,27
Eh	55,52	10,65

V.1.3- Caracterización mediante parámetros de color.

En la tabla 12 se presentan los resultados de los parámetros de color obtenidos para el magro de paleta de cerdo empleado en este estudio. Los valores del tono (H*) registrados permiten clasificar al magro de paleta de cerdo en el rango de los tonos naranja-amarillento según la nomenclatura cromática del Instituto Nacional de Racionalización (1981).

Tabla 12: Parámetros de color obtenidos para el magro de paleta de cerdo.

Magro de cerdo		
	Promedio	std
Luminosidad (L*)	41,56	± 2,50
Coordenada rojo-verde (a*)	9,45	± 5,54
Coordenada amarillo-azul (b*)	13,52	± 1,82
Croma (C*)	15,40	± 1,68
Tono (H*)	68,23	± 2,35
Índice de rojez (a*/b*)	0,45	± 0,06

V.2- Sistemas modelos de pastas cárnicas

V.2.1- Análisis de la variable Luminosidad (L*)

En la tabla 13 se presentan los resultados del Análisis Multivariante (MANOVA) realizado para evaluar el efecto de los distintos tratamientos estudiados sobre la luminosidad (L*) de las pastas de carne. Se observa que resultaron significativos ($P < 0,01$) los efectos simples del pimentón, ácido láctico, sal, fosfato y picado, así como las interacciones sal*ácido láctico y fosfato*sal. También resultaron significativas ($P < 0,05$) las interacciones ácido láctico*pimentón y fosfato*sal*ácido láctico.

Tabla 13.- Resultados significativos del MANOVA realizado para la variable Luminosidad (L*) considerando los factores pimentón (3 niveles), picado (3 niveles), ácido láctico (3 niveles), sal (3 niveles), fosfato (3 niveles), y sus interacciones.

Factor	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	Valor F	Probabilidad Pr > F
pimentón	15269,3969	2	7634,6985	454,03	< 0,0001
ácido láctico	9440,6136	2	4720,3068	280,71	< 0,0001
sal	976,4493	2	488,2247	29,03	< 0,0001
fosfato	216,4268	2	108,2134	6,44	0,0023
picado	7480,0678	2	3740,0339	222,42	< 0,0001
ác.láctico*pimentón	207,2814	4	51,8204	3,08	0,0191
sal*ácido láctico	858,0089	4	214,5022	12,76	< 0,0001
fosfato*sal	325,7301	4	81,4325	4,84	0,0013
fosfato*sal*láctico	289,0881	8	36,1360	2,15	0,0373
Residual	1782,4489	106	16,8155		

En la tabla 14 se presentan los resultados del Análisis Multivariante (MANOVA) realizado para evaluar el efecto del factor tiempo sobre la luminosidad (L*) de las pastas de carne. El criterio seleccionado a fin de valorar las diferencias que

resultaron significativas, para el tiempo y sus interacciones con los restantes factores estudiados, fue el lambda de Wilk's o estadístico-*U*. Se observa que sólo resultaron significativos ($P < 0,01$) el efecto simple del tiempo y la interacción tiempo*ácido láctico.

Tabla 14.- Resultados significativos del MANOVA realizado para la variable Luminosidad (L^*), considerando el factor tiempo (5 niveles: 0-2-4-6-8 h) y sus interacciones con los demás factores (tratamientos) estudiados.

Factor	Valor	Valor F	Grados de Libertad Numerador	Grados de Libertad Denominador	Estadístico Wilk's Lambda ($Pr > F$)
tiempo	0,8420	4,83	4	103	0,0013
tiempo*ác. láctico	0,7200	4,60	8	206	< 0,0001

La L^* aumentó en promedio desde 44,8 a 45,26 a lo largo de la etapa de amasado-reposo (0 a 8 h), seguramente por el efecto del tratamiento con ácido láctico puesto que en los demás tratamientos no resultó significativa la interacción con el tiempo.

Pimentón

La L^* de las pastas estudiadas se vio afectada por la incorporación del pimentón ($P < 0,01$, tabla 13), encontrándose diferencias significativas (test de Tukey, $P < 0,01$) entre las tres concentraciones estudiadas (0 %, 1,5 % y 3,0 %). Partiendo de un valor promedio de $L^* = 49,79$ en las pastas sin el agregado de pimentón, la luminosidad disminuyó a 43,73 al incorporar un 1,5 % de la especia ($P < 0,01$) y a 41,37 al incorporar 3,0 % de pimentón ($P < 0,01$). Si bien la disminución no resultó proporcional al duplicar el agregado de pimentón, fue suficiente para resultar significativa.

Al no resultar significativa ($P > 0,05$) la interacción pimentón*tiempo ($P > 0,05$, tabla 11) se evidencia que el efecto del pimentón sobre la luminosidad se produjo en el mismo momento de su incorporación a las pastas y no se modificó durante la etapa de amasado-reposo.

Estos resultados coinciden con las observaciones realizadas por García-Marcos *et al.* (1996) durante el estudio de pastas modelos de carne porcina, por Rosmini (1997) al estudiar el proceso de elaboración de los chorizos españoles, por Sáez (1997) durante el estudio de pastas finas (paté) de pescado y por Cartagena (1997) al estudiar las características de color de la *sobrasada española*. En todos estos casos la luminosidad de las pastas cárnicas disminuyó en el mismo momento que se incorporó el pimentón y su efecto predominó por sobre el de otros aditivos o procesos de elaboración tales como la cocción.

La luminosidad de la carne está relacionada con la fina película de agua de la superficie, el pH del músculo, la capacidad de retención de agua (CRA) y la estructura y orientación de las fibras musculares (Hunt, 1980). Esto también se observa en muchos productos cárnicos crudo-curados (Campo *et al.*, 1991; Fernández-López *et al.*, 1994; Pérez-Álvarez, 1996) y en algunos cocidos (Cervera, 1995; Garrido, 1997; Sáez, 1997).

El picado del magro produce la liberación parcial de los líquidos del tejido, por la propia destrucción de la estructura, los cuales se ubicarán en la superficie de la carne (Rosmini *et al.*, 1998).

El pimentón es una especia que sufre una fuerte hidratación cuando se pone en contacto con el agua, pudiendo retener una cantidad equivalente a 1,5 veces su masa (Gerhardt, 1975), lo cual demuestra una importante capacidad higroscópica. Por otra parte, al ser incorporada a la pasta de carne, se ubica preferentemente en la superficie del magro y de la grasa (Rosmini *et al.*, 1998).

El agua superficial que se encontraba en las pastas de magro estudiadas provenía en parte de la desorganización estructural producida por el proceso de picado y en parte por el agregado del 5 % de agua como vehículo de disolución del pimentón. Es probable que el descenso de la L^* observado al incorporar el pimentón se deba a la retención de ese agua superficial por parte de la especia. Por otra parte, la no proporcionalidad en la disminución de la L^* , al agregar diferentes concentraciones de pimentón, podría indicar la existencia de un valor a partir del cual se agotaría el agua superficial y el valor de L^* se mantendría constante aún si se incorporaran valores superiores de la especia.

Ácido láctico:

La L^* de las pastas estudiadas fue modificada por el efecto simple del ácido láctico ($P < 0,01$, tabla 13). Al realizar el test de Tukey se observó que existían diferencias ($P < 0,01$) entre las tres concentraciones estudiadas (0 %, 0,5 % y 1,0 %). Partiendo de un valor promedio de $L^* = 41,67$ en las pastas sin ácido, la luminosidad aumentó a 44,72 al incorporar 0,5 % ($P < 0,01$) y a 48,49 al adicionar 1,0 % de láctico ($P < 0,01$). Estos resultados demuestran que el incremento de la L^* se fue produciendo proporcionalmente al incrementar la concentración del ácido.

Los resultados coinciden con las observaciones realizadas por Pérez-Álvarez *et al.* (1997) al caracterizar los parámetros de color de las materias primas cárnicas, por Rosmini *et al.* (1998) al estudiar el color de los sistemas de magro picado y por Fernández-López (1998) durante el estudio de pastas cárnicas para embutidos crudos. En todos estos estudios se observó el aumento de la L^* por acción de los ácidos orgánicos de bajo peso molecular (PM).

Por otra parte, partiendo de un valor promedio de $pH = 5,65$ en las pastas sin el agregado de ácido láctico, el pH disminuyó a 5,16 ($P < 0,01$) al incorporar 0,5 % y a

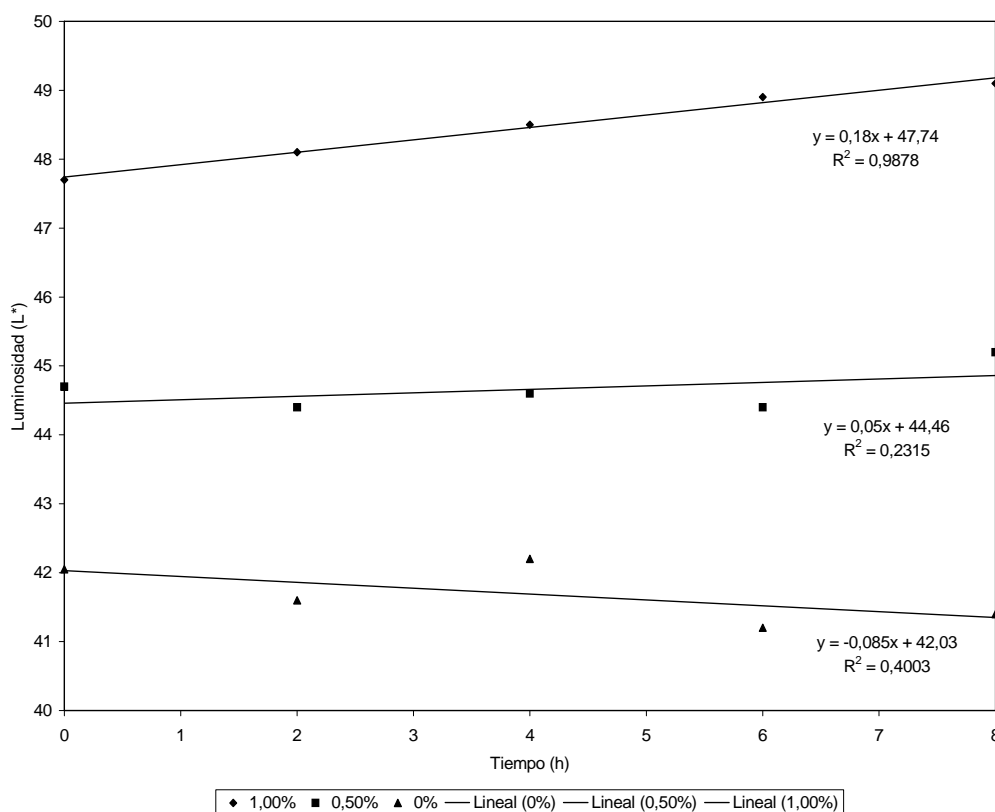
4,88 ($P < 0,01$) al adicionar 1,0 % de ácido láctico. En ambos casos (0,5 y 1,0 %), los valores de pH alcanzados en el magro se ubicaron dentro del rango de los puntos isoeléctricos (pI) de las proteínas miofibrilares (4,7 y 5,4 para actina y miosina respectivamente, según Wismer-Pedersen, 1994). Teniendo en cuenta el comportamiento de la capacidad de retención de agua (CRA) frente al pH (Girard *et al.*, 1991), se puede afirmar que esa proximidad a los pI mantuvo a la CRA de las pastas estudiadas en sus valores mínimos.

Al mismo tiempo, la desnaturalización de las proteínas provocada por la adición del ácido láctico afecta la estructura miofibrilar; produce la expulsión del agua ligada por contracción de las fibras musculares, modifica las cargas eléctricas y altera la solubilidad proteica (van Laack y Solomon, 1994; García-Marcos *et al.*, 1996). Esto se traduce en una liberación del agua desde la estructura miofibrilar hacia la superficie y, consecuentemente, el incremento de la L^* .

Este efecto se relacionaría fundamentalmente con las proteínas miofibrilares pues las sarcoplasmáticas sólo contienen un 5% de agua. No obstante, éstas últimas al desnaturalizarse, precipitan sobre las miofibrilares limitando aún más la CRA (Monin & Laborde, 1985; Tornerg *et al.*, 1992).

Debe tenerse en cuenta, además, que el acortamiento de las fibras musculares debido al efecto desnaturalizante del ácido, modifica sus propiedades de reflexión y refracción de la luz (Pearson, 1994; Swatland, 1994), contribuyendo a la modificación del valor de L^* observado. El aumento de la birrefringencia de las fibras musculares, causados por un bajo pH, pueden aumentar la dispersión de la luz en la carne. De este modo, al descender el pH, la birrefringencia aumenta, se transmite menos luz a través de las fibras y se dispersa una mayor proporción de luz (Swatland, 2003) aumentando L^* .

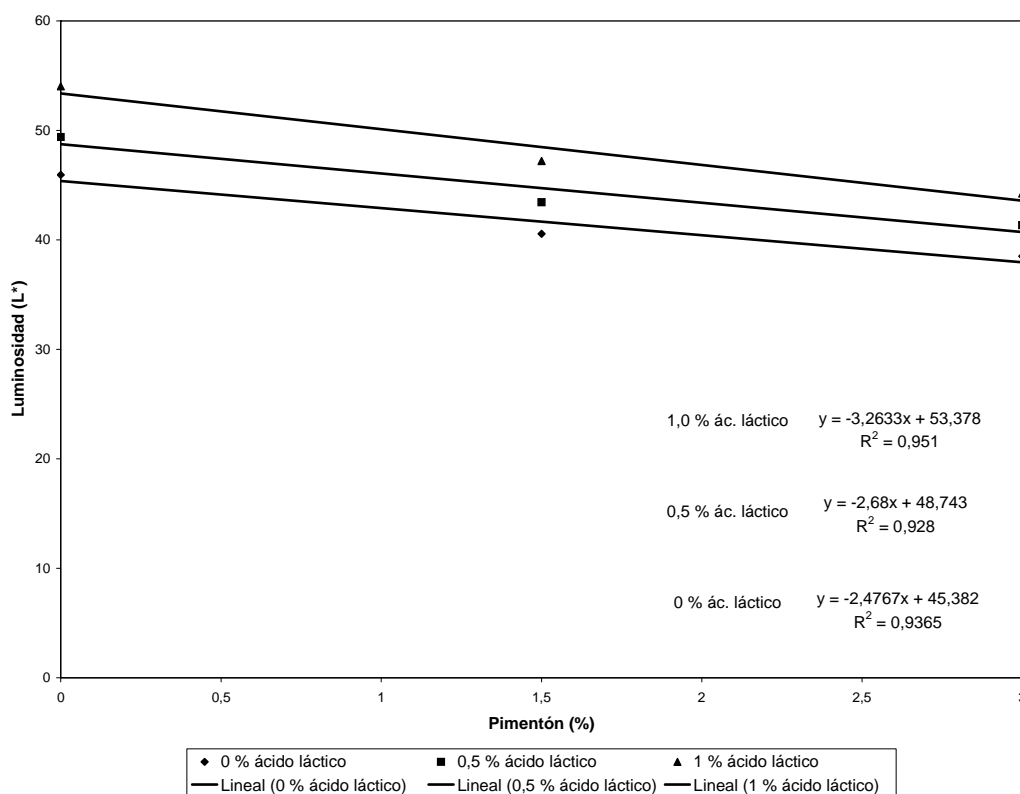
En la gráfica 1 se presenta la interacción tiempo*ácido láctico, en la cual se puede observar que sólo resultó significativo ($P < 0,01$) el ajuste lineal para el tiempo en el tratamiento con 1,0 % de ácido láctico, lo cual justifica la interacción.



Gráfica 1: Representación gráfica de la interacción tiempo*ácido láctico

El incremento antes mencionado podría estar relacionado con la continuidad del proceso de desnaturalización proteica al utilizar 1,0 % de ácido láctico así como una mayor liberación del agua tisular durante el período de estudio.

La interacción pimentón*ácido láctico resultó significativa ($P < 0,05$, tabla 13). En la gráfica 2 pueden observarse las diferencias de las pendientes de las rectas resultantes del ajuste lineal sobre los valores promedios de las pastas tratadas con las distintas combinaciones de pimentón y ácido láctico, lo cual justifica la interacción.



Además, puede deducirse que los efectos individuales del pimentón (disminución de L^*) y del ácido láctico (aumento de la L^*) se mantienen, aunque el efecto del pimentón fue predominante en todas las combinaciones. En la gráfica se observa, además, que el mayor valor promedio de L^* se obtuvo para las pastas tratadas sólo con 1,0 % de ácido láctico ($L^* = 54,02$) y, el menor, para las tratadas sólo con 3,0 % de pimentón ($L^* = 38,51$). Por otra parte, en la tabla 15 los valores ΔL^* evidencian un enmascaramiento progresivo de la acción del ácido a medida que se incrementa la concentración de la especia.

Estos resultados coinciden con las observaciones realizadas por Fernández-López (1998) y Fernández-López *et al.* (2002) durante el estudio de pastas cárnicas de embutidos crudo-curados. Luego, la capacidad de imbibición que posee el pimentón es superior a la cantidad de agua liberada por el efecto del ácido láctico, disminuyendo el agua superficial y, en consecuencia, los valores de L*.

Por otra parte, la luminosidad del propio pimentón comercial se modifica con la incorporación de soportes líquidos ácidos (vino, vinagre) (Amorós-Illán, 2002). Inicialmente se produce la disminución de la luminosidad, debido a los cambios producidos en la estructura de la especia, aumento del tamaño de la partícula, modificación del índice de reflexión, absorción y dispersión (Hutchigs, 1994). Sin embargo, a partir de concentraciones superiores al 50 % de ácido se produce una saturación del colorante en cuestión dejando, en consecuencia, de absorber luz y produciendo un aumento de la luminosidad.

Este último efecto no pudo ser visualizado en las experiencias realizadas en este estudio debido a que la concentración máxima de ácido láctico utilizada fue del 1,0 %.

Tabla 15: Interacción ácido láctico*pimentón, valores promedios de Luminosidad (L*) y ΔL^* (para cada combinación se toma como patrón el valor de la combinación inmediata inferior).

Pimentón	Láctico	L*	ΔL^*
0,0 %	0,0 %	45,94	
0,0 %	0,5 %	49,39	3,45
0,0 %	1,0 %	54,02	4,63
1,5 %	0,0 %	40,55	
1,5 %	0,5 %	43,43	2,88
1,5 %	1,0 %	47,20	3,77
3,0 %	0,0 %	38,51	
3,0 %	0,5 %	41,35	2,84
3,0 %	1,0 %	44,23	2,88

Cloruro de sodio:

La L^* de las pastas estudiadas se vio afectada por el efecto simple del cloruro de sodio (sal) ($P < 0,01$, tabla 13), observándose una disminución de dicha coordenada conforme aumentó la concentración de sal, desde un valor de $L^* = 46,12$ (0 %), a 44,82 (1,5 %) y a 43,94 (3,0 % de sal). Al realizar el test de Tukey se evidenció que las diferencias existentes entre dichos valores de L^* eran significativas ($P < 0,01$).

La reducción de la coordenada L^* debido a la incorporación de cloruro de sodio ha sido descrita tanto en trabajos realizados en sistemas modelo de pastas de embutidos crudo-curados como en productos cocidos (Forcén *et al.*, 1993; Fernández-López *et al.*, 1994; Sánchez-Rodríguez *et al.*, 1994; García-Marcos *et al.*, 1996; Pérez-Álvarez *et al.*, 1997; Perlo, 1997, Fernández-Ginés, 2001; Alesón-Carbonell, 2002) y en todos coinciden que el efecto se produce tras la incorporación de la sal.

Cuando la sal es añadida a la carne picada penetra en su estructura, se disuelve en el agua libre presente disociándose en iones sodio (Na^+) y cloruro (Cl^-). El Na^+ tiene poca influencia sobre el espacio que existe entre las proteínas miofibrilares. Por el contrario, el Cl^- es más activo y capaz de neutralizar las cargas positivas de las proteínas cuando el pH es inferior a 5 (Hamm, 1960; Katsaras *et al.*, 1991; Wismer-Pedersen, 1994). La incorporación de sal al músculo disminuye el punto isoeléctrico de las proteínas y conduce al hinchamiento del entramado de miofilamentos (Warris, 2003). Esto provoca un aumento de la CRA (Girard *et al.*, 1991; Katsaras *et al.*, 1991; Prändl, 1994b; Wismer-Pedersen, 1994), por lo que la disponibilidad de agua en la superficie de la carne es menor, se reduce la reflexión de la luz y por ende la L^* (Swatland, 1994).

La no existencia de diferencias significativas ($P > 0,05$) para la interacción tiempo*sal indicaría que el efecto sobre la L^* se produjo en el mismo momento de su

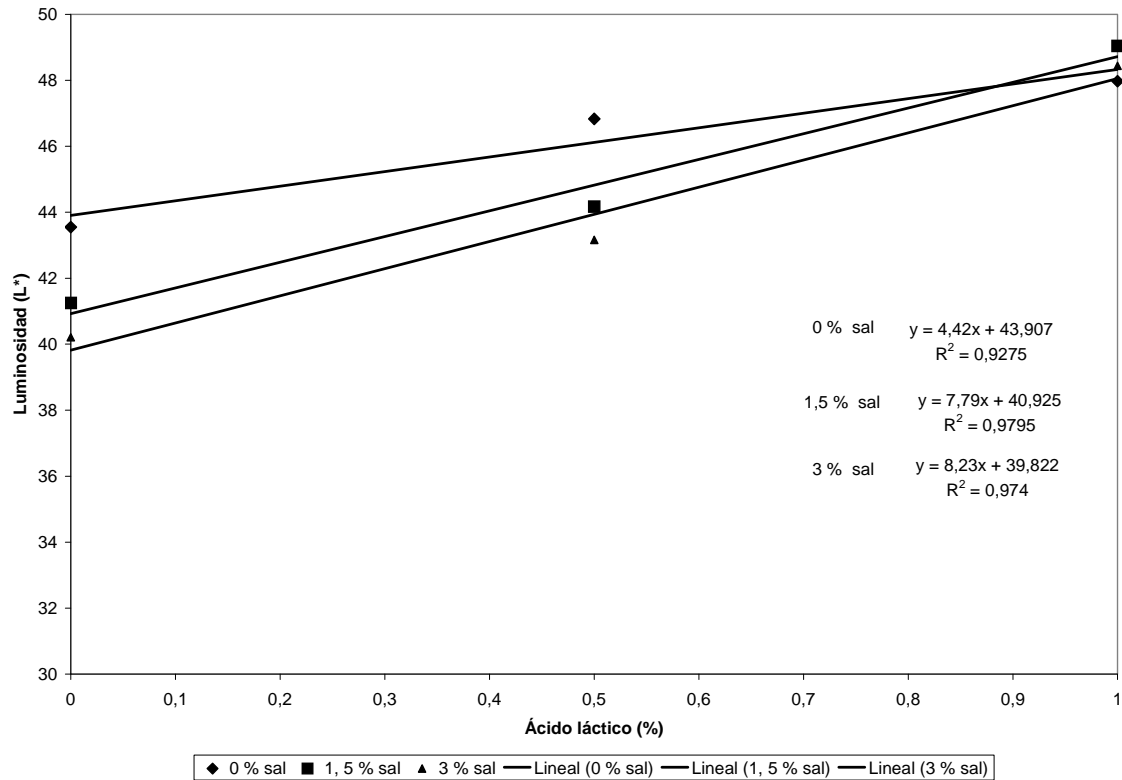
incorporación al magro picado, no registrándose una evolución a lo largo de la etapa de amasado-reposo.

La interacción sal*ácido láctico resultó significativa ($P < 0,01$, tabla 13) y está representada en la gráfica 3. En dicha gráfica se observa que las pendientes de las rectas que unen los valores promedios de L^* obtenidos son diferentes, lo cual justifica la interacción.

Se observa, además, que cuando el ácido láctico estuvo ausente (0%) el incremento de la concentración de sal disminuyó la L^* ($P < 0,01$). Esto concuerda con lo observado cuando se discutió el efecto simple de la sal.

Cuando se incorporó 0,5 % de ácido láctico a las pastas la L^* aumentó ($P < 0,01$) respecto de los valores sin ácido, pero en las pastas tratadas con sal se mantuvieron los valores inferiores de L^* ($P < 0,01$). Esto estaría mostrando un efecto combinado y antagónico de la sal (descenso de la L^*) y del ácido (aumento de la L^*).

Al incorporar un 1,0 % de ácido láctico se alcanzaron los mayores valores de L^* , resultando significativas ($P < 0,01$) las diferencias con los valores obtenidos con 0,5 % del ácido y perdiéndose las diferencias entre los tratamientos con 1,5 % de sal y sin sal ($P > 0,05$).



Gráfica 3: Representación gráfica de la interacción sal*ácido láctico

Esto pone en evidencia que, a esa concentración, predomina el efecto del ácido sobre el de la sal. Este fenómeno estaría relacionado con la liberación del líquido tisular hacia la superficie debido, por un lado, a la intensa desnaturalización proteica y, por otra parte, a la disminución de la CRA como consecuencia de los valores de pH alcanzados por las pastas (4,84 - 4,90), los cuales están muy cercanos a los puntos isoeléctricos de las proteínas miofibrilares (actina = 4,7 y miosina 5,4).

Tripolifosfato de sodio

La luminosidad de las pastas cárnicas estudiadas fue afectada ($P < 0,01$, tabla 13) por la adición de tripolifosfato de sodio. Los valores promedios de las pastas con diferentes concentraciones del aditivo fueron: $L^* = 45,56$ (0 %), $L^* = 44,65$ (0,15 %) y $L^* = 44,69$ (0,30 %). Al realizar el test de Tukey se observó que dichas diferencias en la

L* eran significativas ($P < 0,01$) entre las pastas sin fosfato y las con fosfato (0,15 % y 0,30 %), pero no entre éstas últimas ($P > 0,05$).

Estos resultados coinciden con las observaciones realizadas por Fernández-López (1998) durante el estudio de pastas modelos de magro. Strökki (1995) afirma que una de las principales características de los polifosfatos es la de retener agua. La propiedad de los fosfatos de incrementar la CRA de la carne se debería a efectos inespecíficos como el aumento de la fuerza iónica (Sofos, 1986) y el incremento del pH de la fase acuosa del músculo (Gerhardt, 1980). Efectos más específicos como la acción quelante sobre cationes alcalino-térreos (Fischer, 1994), la disociación del complejo actina-miosina (Hisghsmith, 1976) y la liberación de la α -actinina de los discos Z de los sarcómeros (Grzes *et al.*, 1996 a,b), se han observado también con ciertos tipos de fosfatos.

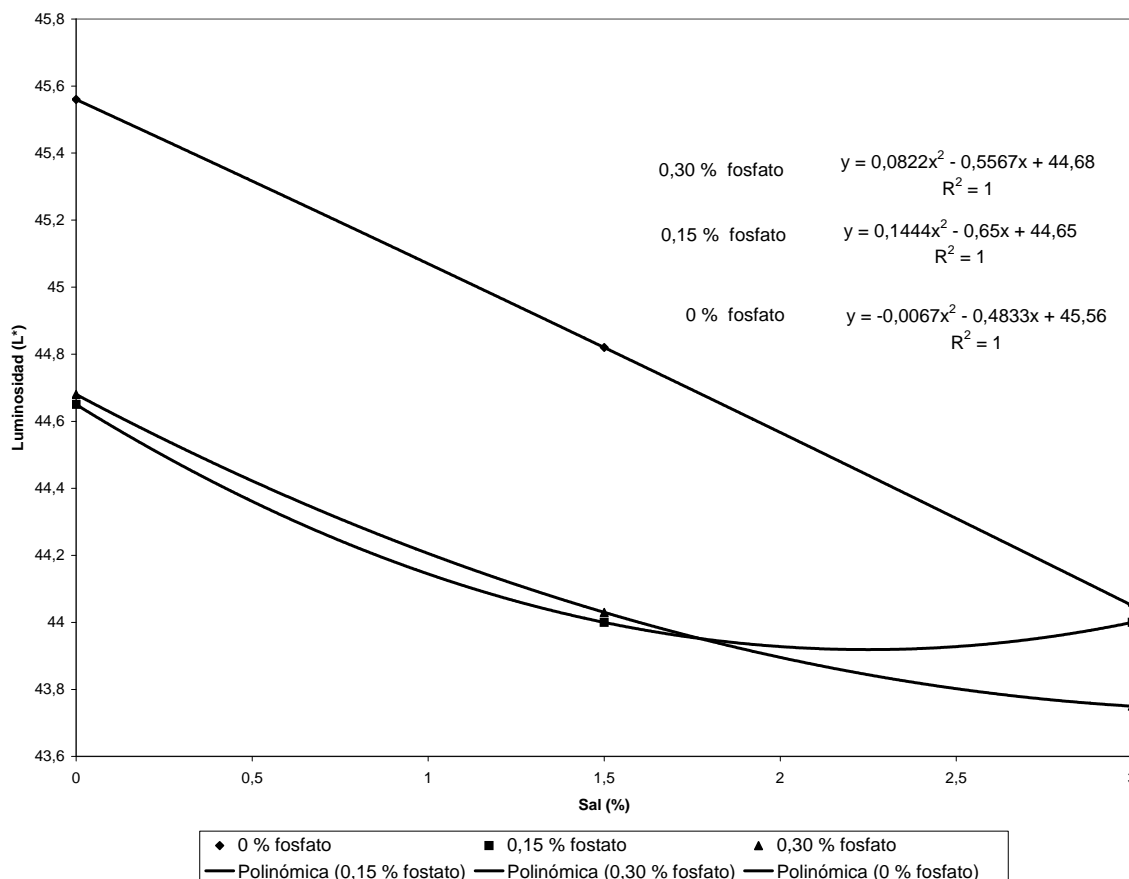
La disminución de la luminosidad (L*) de las pastas de carne por acción del tripolifosfato de sodio estaría relacionado con el aumento de la CRA que ellos provocan. El incremento en la CRA ocasiona una menor disponibilidad de agua sobre la superficie de la pasta de carne y con ello una menor reflexión de la luz (Swatland, 1995; Van Laack *et al.*, 1995). Por otra parte, la no proporcionalidad del descenso observado al agregar diferentes concentraciones del aditivo, podría indicar la existencia de un valor máximo de la CRA a partir del cual, concentraciones superiores de fosfato no influirían sobre la L* de las pastas.

La interacción tiempo*fosfato no resultó significativa ($P > 0,05$, tabla 14). Esto corrobora que la acción del tripolifosfato de sodio (fosfato) se produjo en el mismo momento de su adición a las pastas cárnicas, no registrándose modificaciones en los valores de la coordenada en estudio durante la etapa de amasado-reposo.

La interacción fosfato*sal resultó significativa ($P < 0,01$, tabla 10). En la gráfica 4 se observan los ajustes cuadráticos de los valores promedios de las pastas tratadas con diferentes combinaciones de fosfato y sal; las diferencias entre las pendientes de dichos ajustes justifica la existencia de la interacción.

Por otra parte, se puede observar que tanto la incorporación de fosfato como de sal produce un descenso de la L^* de las pastas cárnicas, lo cual parece indicar que los efectos simples de ambos aditivos se mantienen cuando son incorporados conjuntamente. Estos resultados coinciden con las observaciones realizadas por Fernández-López (1998) también para pastas de carne y podrían deberse a dos fenómenos: el aumento de la fuerza iónica que dependerá de la concentración y carga de los iones en solución y, por otra parte, de la supresión de la interacción entre las proteínas miofibrilares, lo cual mejora la acción de imbibición ejercida por la sal (Gerhardt, 1980).

En la gráfica 4 se observa, además, que el efecto del fosfato sobre la L^* , en ausencia de sal, es significativo ($P < 0,01$), tanto al incorporar 0,15 % como 0,30 % de fosfato y es aún mayor ($P < 0,01$) cuando estas concentraciones de fosfato van acompañados de 1,5 % de sal.

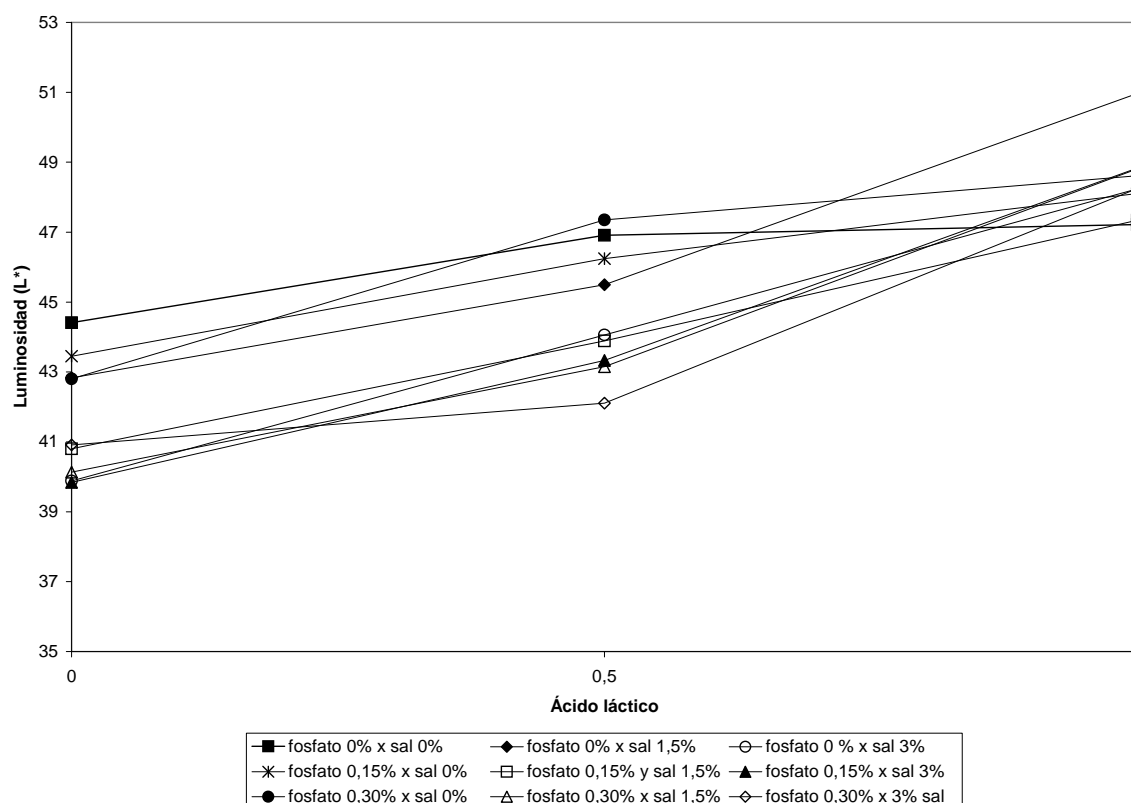


Gráfica 4: Representación gráfica de la interacción fosfato*sal

Esta observación podría estar relacionada con un efecto combinado entre el fosfato y la sal sobre la CRA del magro de las pastas de cerdo estudiadas, efecto sinérgico que ha sido reportado también para la carne de vacuno (Shults *et al.*, 1972; Trout & Schmidt, 1986). No obstante, este efecto combinado no se mantuvo al incorporar un 3,0 % de sal, no resultando significativas ($P > 0,05$) las diferencias entre los valores de L^* de las pastas con y sin fosfato, ni entre las pastas con 1,5 y 3,0 % de sal, que además llevaban 0,15 y 0,30 % de fosfato. Esto estaría indicando que la combinación de 1,5 % de sal con fosfatos (0,15 y 0,30 %), permite alcanzar un nivel de CRA que ya no se vería modificado por el incremento de sal.

En la tabla 13 se observa que resultó significativa ($P < 0,01$) la interacción fosfato*sal*ácido láctico. En la gráfica 5 se representa dicha interacción y en ella se

puede observar las diferentes pendientes que unen los valores promedios resultantes de las combinaciones realizadas, lo cual la justifica.



Gráfica 5: Representación gráfica de la interacción fosfato*sal*ácido láctico

En esta gráfica se observa, además, que en ausencia de ácido láctico la L^* disminuyó ($P < 0,01$) al agregar las diferentes combinaciones de sal y fosfato. Este efecto combinado estaría relacionado con el aumento de la CRA descrito al analizar la interacción fosfato*sal. Por otra parte, se observa que al agregar 0,5 % de ácido láctico la L^* aumentó en todos los tratamientos estudiados, con diferentes niveles de significación ($P < 0,05$ ó $P < 0,01$), lo cual evidencia el efecto desnaturalizante del ácido sobre las proteínas con la consiguiente liberación del líquido tisular, tal como fuera explicado al analizar el efecto simple del ácido láctico. Dicho efecto fue más intenso al incorporar 1,0 % de ácido láctico y predominó sobre el de los otros aditivos, solos o

combinados. Esto se evidencia al observar el agrupamiento de los valores de L^* en la gráfica para la mayor concentración de ácido así como la no existencia de diferencias significativas ($P > 0,05$) entre ellos.

Picado

La L^* de las pastas estudiadas se vio afectada por el efecto simple del picado ($P < 0,01$, tabla 13), observándose que las pastas picadas finamente presentaban valores de $L^* = 48,46$ mientras que las que fueron picadas con grillas presentaron valores de $L^* = 43,36$ (10 mm) y $L^* = 43,06$ (20 mm). Al realizar el test de Tukey se evidenció que las diferencias existentes fueron significativas ($P < 0,01$) entre el picado fino y los picados con placas de 10 y 20 mm, pero no entre estas últimas ($P > 0,05$).

El proceso de picado consiste en la reducción del tamaño de los trozos de carne hasta alcanzar diferentes tamaños de granos en función del tipo de producto cárnico que se pretende elaborar. El mismo produce una desorganización estructural en la cual se destruyen los tejidos y se liberan los líquidos tisulares (Rosmini & Schneider, 2000) provenientes del sarcoplasma (Judge *et al.*, 1989) que se acumulan en la superficie del magro. Este incremento de líquido a nivel superficial provoca un aumento del valor de la L^* , el cual será más elevado cuanto mayor (más fino) sea el grado de picado puesto que se incrementa el nivel de desorganización estructural.

Además, la incorporación de aire en las pastas de carne, por acción del picado, incrementa la L^* por efecto de una mayor dispersión de la luz, debido a las burbujas de aire atrapadas en el seno las pastas (Palombo *et al.*, 1989).

V.2.2- Análisis de la Coordenada rojo-verde (a*)

En la tabla 16 se presentan los resultados del Análisis Multivariante (MANOVA) realizado para evaluar el efecto de los diferentes tratamientos sobre la coordenada a* de las pastas cárnicas estudiadas. Se observa que resultaron significativos ($P < 0,01$) los efectos simples del pimentón, ácido láctico, sal y fosfato. También resultaron significativos ($P < 0,05$) el efecto simple del picado y las interacciones ácido láctico*pimentón, sal*pimentón y picado*ácido láctico.

En la tabla 17 se presentan los resultados del Análisis Multivariante (MANOVA) realizado para evaluar el efecto del factor tiempo sobre la coordenada rojo-verde (a*) de las pastas cárnicas. El criterio seleccionado a fin de valorar las diferencias que resultaron significativas para el tiempo y sus interacciones con los restantes factores estudiados, fue el lambda de Wilk's o estadístico-U. Se observa que resultaron significativos el efecto simple del tiempo ($P < 0,01$) y la interacción tiempo*picado ($P < 0,05$).

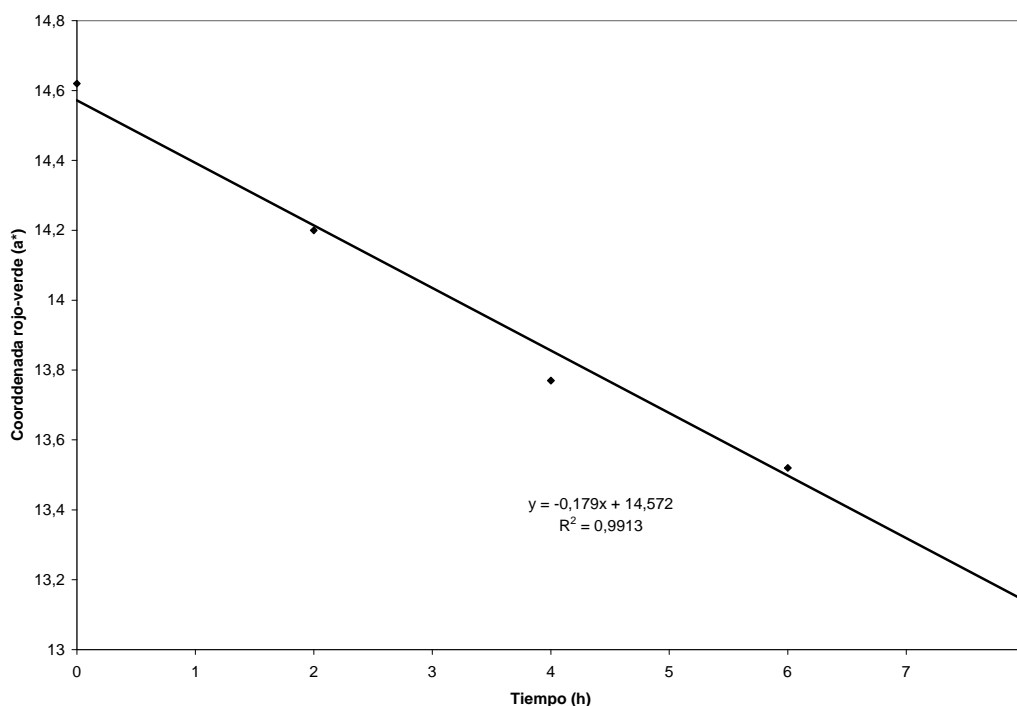
Tabla 16.- Resultados significativos del MANOVA realizado para la coordenada rojo*verde (a*) considerando los factores pimentón (3 niveles), picado (3 niveles), ácido láctico (3 niveles), sal (3 niveles), fosfato (3 niveles), y sus interacciones.

Factor	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	Valor F	Probabilidad Pr > F
pimentón	44550,3971	2	22275,1986	3160,33	< 0,0001
ácido láctico	152,3949	2	76,1974	10,81	< 0,0001
sal	218,9611	2	109,4806	15,53	< 0,0001
fosfato	248,6722	2	124,3361	17,64	< 0,0001
picado	67,3840	2	33,6920	4,78	0,0103
ác. láctico*pimentón	94,1383	4	23,5346	3,34	0,0129
sal*pimentón	87,1936	4	21,7984	3,09	0,0188
picado*ác. láctico	92,1974	4	23,0494	3,27	0,0143
Residual	747,1270	106	7,0484		

Tabla 17.- Resultados significativos del MANOVA realizado para la coordenada rojo-verde (a^*), considerando el factor tiempo (5 niveles: 0-2-4-6-8 h) y sus interacciones con los demás factores (tratamientos) estudiados.

Factor	Valor	Valor F	Grados De Libertad Numerador	Grados De Libertad Denominador	Estadístico Wilk's Lambda (Pr > F)
tiempo	0,3362	50,84	4	103	< 0,0001
tiempo*picado	0,8519	2,15	8	206	0,0328

En la gráfica 6 se representa la evolución promedio de la coordenada a^* durante la etapa de amasado-reposo y se puede observar la disminución ($P < 0,01$) de dicha variable en función del tiempo de estudio. Este comportamiento estaría indicando que se produjo una importante pérdida de los componentes rojos de las pastas a lo largo de dicha etapa y su forma lineal indica que la pérdida fue constante durante todo el período. El análisis de la evolución de esta coordenada en el tiempo se realiza, en función del diseño experimental planteado, como un promedio de todos los tratamientos estudiados, lo cual justifica que los valores de a^* se encuentren dentro del rango de las pastas tratadas con pimentón.



Gráfica 6: Representación gráfica de la evolución de la coordenada rojo-verde (a^*) durante la etapa de amasado-reposo.

Por otra parte, debe tenerse en cuenta que no resultaron significativas ($P > 0,05$) las interacciones pimentón*tiempo ni pimentón*ácido láctico*tiempo para la coordenada a^* , lo cual estaría evidenciando que los componentes rojos del pimentón no fueron afectados a lo largo de la etapa de amasado-reposo. Al mismo tiempo, al analizar la interacción ácido láctico*pimentón (ver más adelante) se observa que los valores de a^* de las pastas con 1,5 y 3,0 % de pimentón no presentaron diferencias significativas ($P > 0,05$) para las diferentes concentraciones estudiadas de ácido láctico, lo cual evidencia que su efecto se produjo sobre los pigmentos rojos del magro de la carne.

Pimentón

La a^* de las pastas estudiadas se modificó tras la incorporación del pimentón ($P < 0,01$, tabla 16), registrándose diferencias significativas (test de Tukey, $P < 0,01$) entre

todas las concentraciones ensayadas (0,0 %, 1,5 % y 3,0 %). El valor promedio de las pastas sin pimentón fue $a^* = 5,44$ y aumentó a 16,66 al adicionar 1,5 % y a 19,45 al agregar 3,0 % de la especia

Al no resultar significativa la interacción pimentón*tiempo ($P > 0,05$, tabla 17) se evidencia que el efecto del pimentón sobre la coordenada a^* se produjo en el mismo instante de su incorporación a las pastas cárnicas y no se modificó en el transcurso de la etapa de amasado-reposo.

Un aumento similar de la coordenada a^* ha sido también observado en estudios realizados con pastas de magro porcino (Fernández-López, 1998) y con pastas finas de pescado (paté) que fueron adicionadas de pimentón a diferentes concentraciones (Sáez, 1997). El pimentón posee gran cantidad de pigmentos carotenoides (Reeves, 1987; Biacs *et. al.*, 1989; Levy *et. al.*, 1995). Las xantófilas rojas (capsorrubeno y capsanteno) son las que aportan la mayor proporción de componentes rojos (Farrel, 1990; Navarro & Costa, 1993; Locey & Guzinski, 2000) y serían los responsables del aumento de la coordenada a^* en las pastas adicionadas con esta especia.

Ácido láctico

La adición de ácido láctico a las pastas estudiadas modificó los valores de la coordenada a^* ($P < 0,01$, tabla 16). Mientras los valores promedios de a^* hallados para las pastas sin ácido y con 0,5 % de ácido fueron 13,98 y 14,21 respectivamente, al agregar 1,0 % de ácido la coordenada a^* disminuyó a 13,37. Por otra parte, al realizar el test de Tukey se observó que las diferencias existían ($P < 0,01$) entre las pastas tratadas con 1,0 % de ácido y las tratadas con 0 % y 0,5 % de ácido, pero no entre éstas últimas ($P > 0,05$).

Partiendo de valores promedios de pH = 5,65 en las pastas sin el agregado de ácido, el pH disminuyó a 5,16 ($P < 0,01$) al incorporar 0,5 % y a 4,88 ($P < 0,01$) al adicionar 1,0 % de ácido láctico.

La pérdida de los componentes rojos de la carne por efecto de la acidificación fue también descrito por Cartagena (1997) al estudiar el efecto de la incorporación del vinagre (ácido acético) a la carne y por Rosmini *et al.* (1998) al estudiar el color de los sistemas de magro picado de los embutidos crudo-curados.

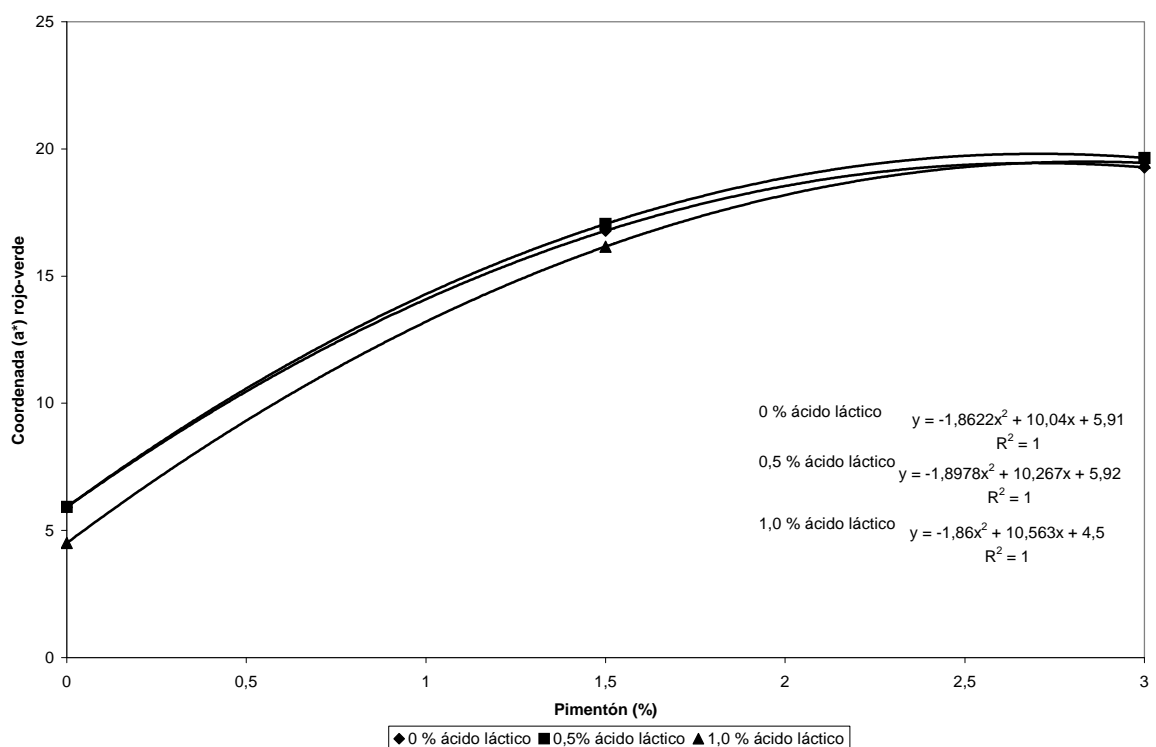
El color y la apariencia de la carne está determinado por la concentración y el estado de los pigmentos hemínicos (mioglobina y hemoglobina) y por la microestructura del músculo. La concentración total de pigmentos determina cómo de roja es la carne. La mioglobina representa entre el 50 y el 90 % del total de pigmentos de la carne, dependiendo de la especie y del tipo de músculo (Warris, 2003). Los valores de a^* del magro de cerdo dependen principalmente de la concentración inicial de Mb y no del estado que presente la misma (Rosmini, 1997; Fernández-López *et al.*, 2000; Onyango *et al.*, 2001). La precipitación de la Mb provocada por el descenso del pH, debido a la adición del ácido, disminuye los valores de la coordenada a^* (Swatland, 1995), efecto que puede apreciarse visualmente tras la incorporación del ácido (Fernández-López, 1998).

La interacción ácido láctico*pimentón resultó significativa ($P < 0,05$, tabla 16). La gráfica 7 representa dicha interacción y muestra las diferentes pendientes de las curvas de los tratamientos estudiados, lo cual justifica la misma.

En la gráfica se puede observar, además, que en las pastas sin pimentón el valor de la coordenada a^* fue menor ($P < 0,01$) cuando se agregó 1,0 % de ácido láctico, respecto de las pastas con 0,5 % y sin ácido. Estos resultados coinciden con lo descrito para el efecto simple del ácido láctico.

Por otra parte, al incorporar un 1,5 % de pimentón se produjo un incremento de la coordenada a* (P < 0,01) para todos los valores de ácido estudiados, no resultando significativas las diferencias (P > 0,05) entre los valores de a* de dichas pastas. El fenómeno se repite de igual forma al incorporar un 3,0 % de la especia.

El aporte de componentes rojos a las pastas, por parte del pimentón, produce un efecto sobre la coordenada a* (incremento) que supera al del ácido láctico (disminución), incluso hace perder las diferencias existentes con los distintos tratamientos con ácido y sin pimentón. La no existencia de esas diferencias en los valores de a* estaría corroborando, una vez más, que el ácido no afectó a los componentes rojos de los pigmentos del pimentón y que todo su efecto, evidenciado por la disminución de los valores de la coordenada a* (efecto simple con 1,0 % de ácido láctico), se produjo sobre los pigmentos del magro de la carne.



Gráfica 7: Representación gráfica de la interacción ácido láctico*pimentón para la coordenada rojo-verde (a*).

La interacción ácido láctico*tiempo no resultó significativa ($P > 0,05$, tabla 17). Esto confirma que el efecto del ácido sobre los valores de dicha coordenada se produjeron en el mismo momento de su adición a las pastas, y no evolucionó con el tiempo.

Cloruro de sodio

La adición de sal (cloruro de sodio) modificó los valores de la coordenada rojo-verde (a^*) de las pastas cárnicas ($P < 0,01$, tabla 16), registrándose una disminución de a^* conforme aumentó la concentración de sal desde un valor promedio de $a^* = 14,44$ (0 %), a 13,68 (1,5 %) y hasta 13,44 (3,0 % de sal). Al realizar el test de Tukey se encontró que las diferencias resultaron significativas ($P < 0,01$) entre las pastas sin sal (0 %) y las tratadas con sal (1,5 % y 3,0 %), pero no entre éstas últimas ($P > 0,05$).

El efecto de la sal sobre la coordenada a^* del magro de las pastas cárnicas ha sido reportado en varios trabajos con tendencias diferentes. Así, se ha informado de un incremento de la coordenada en el jamón curado y el lomo embuchado (Forcén *et al.*, 1993; Pérez-Álvarez *et al.*, 1997), mientras que no se han observado modificaciones cuando el salado del magro se realiza mediante inmersión en salmuera a saturación y se aplica vacío (deshidratación osmótica) (Iriarte, 1993) y, por otra parte, se observó un efecto variable en función de la concentración de sal, en embutidos crudo curados, representado por un descenso de la coordenada cuando la sal está por encima del 4,5 % y un incremento cuando es inferior (Alesón-Carbonell, 2002).

La coordenada a^* disminuye tras la oxidación de la mioglobina, mientras que la oxigenación incrementa los valores de dicha coordenada (Pérez-Álvarez *et al.*, 1998). Si el hierro (Fe) se halla en estado ferroso (II) la mioglobina puede experimentar oxigenación y cumplir su función. Por el contrario, si el hierro se oxida a férrico (III) el

grupo hemo se convierte en hematina y la mioglobina en metamioglobina, incapaz de almacenar oxígeno (Blanco, 2000). La producción de este pigmento, color marrón, es acelerada a bajas presiones parciales de oxígeno, aunque ciertas enzimas reductoras presentes en la carne son capaces de reducir la metamioglobina formando nuevamente mioglobina (MRA: actividad reductora de la metamioglobina propia del tejido muscular). De esto se puede deducir que, debido al metabolismo residual del tejido y al desarrollo de microorganismos presentes, la tensión parcial de oxígeno se reduce y el color rojo brillante típico de la MbO se va perdiendo por formación de la MetMb marrón (Cheftel *et al.*, 1989).

A partir de estos conceptos se puede afirmar que el color de la carne fresca depende en gran medida de la relación existente entre las concentraciones de OMB, Mb y MetMb (Johansson *et al.*, 1991), incluso se considera que la carne deja de estar “fresca” cuando la concentración de MetMb alcanza el 20 % del total de la Mb (Beriaín *et al.*, 1995). Si bien la intensidad del color depende de la concentración de Mb presente en el músculo, su tono en cambio dependerá del estado químico en que se halle. Por ejemplo la MbO proporciona mayor contribución de tonos rojos y amarillos que la Mb (Johansson *et al.*, 1991; Kropf, 1993).

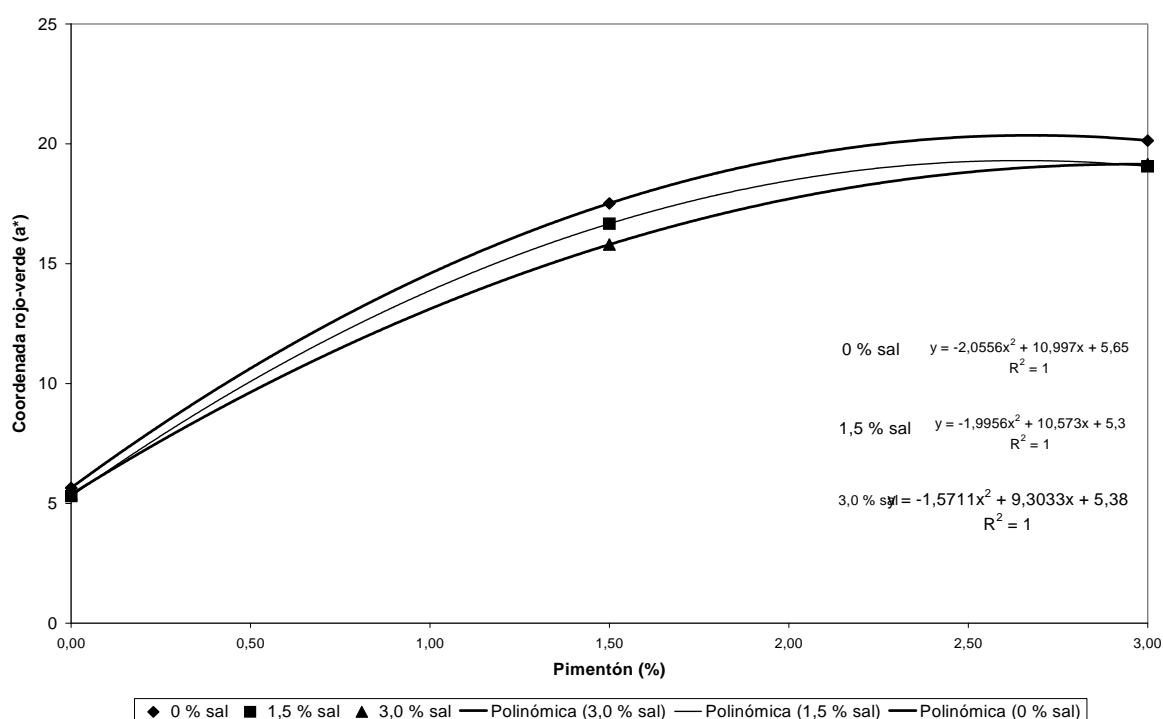
La incorporación de sal a la carne provoca la degradación del color y el enranciamiento de las grasas a partir de las impurezas que contiene (iones metálicos como el hierro y el cobre) y de su efecto oxidante (Torres *et al.*, 1988; Hultin, 1993; Price, 1994b; Rust, 1994; Townsend & Olson, 1994). La formación de metamioglobina está relacionada con la oxidación de los lípidos, incluso dicho pigmento actuaría como catalizador del deterioro de las grasas (Monahan *et al.*, 1994).

La interacción tiempo*sal no resultó significativa ($P > 0,05$, tabla 17). Esto indicaría que las modificaciones ocasionadas por acción de la sal se produjeron en el

momento de su incorporación a las pastas cárnicas y no se registró una evolución de la coordenada a lo largo del período estudiado.

La interacción sal*pimentón resultó significativa ($P < 0,05$, tabla 16) y se representa en la gráfica 8, en la cual pueden observarse las diferentes pendientes de las curvas que unen los valores promedios de los tratamientos estudiados, hecho que justifica la interacción.

En la gráfica se observa que a mayor cantidad de pimentón incorporada le correspondió mayores valores de a^* , mientras que al incorporar la sal el efecto fue contrario, lo cual evidencia el efecto antagónico de la sal y del pimentón.



Gráfica 8: Representación gráfica de la interacción sal*pimentón para la coordenada rojo-verde (a^*).

Esto está poniendo en evidencia el aporte de componentes rojos del pimentón, el cual ya fue analizado al tratar su efecto simple y, al mismo tiempo, parecería evidenciar que la incorporación de mayores cantidades de la especia a las pastas no producirían valores superiores de a^* .

Al incorporar 1,5 % de pimentón a las pastas, el valor de a^* resultó superior ($P < 0,01$, test de Tukey) respecto de los valores obtenidos en las pastas sin la especia, independientemente de la cantidad de sal agregada. Este incremento se repitió al incorporar un 3,0 % de pimentón ($P < 0,01$, test de Tukey), no obstante, en este caso no resultaron significativas ($P > 0,05$) las diferencias entre las pastas con sal, permitiendo suponer que el efecto de sal es el mismo para ambas concentraciones (1,5 y 3,0 %).

Tripolifosfato de sodio

El tripolifosfato de sodio modificó los valores de la coordenada rojo-verde ($P < 0,01$, tabla 16). Los valores promedios de a^* aumentaron desde 13,27 (0 % de fosfato), a 13,93 (0,15 % de fosfato) y a 14,37 (0,30 % de fosfato). El test de Tukey señaló que las diferencias en la a^* fueron significativas ($P < 0,01$) entre las pastas sin fosfato (0 %) y las con fosfato (0,15 % y 0,30 %), pero no entre éstas últimas ($P > 0,05$).

Los polifosfatos básicos tienen capacidad para mejorar el sabor de la carne puesto que provocan la retención de los jugos, reducen la autooxidación de las grasas, disminuyen la intensidad del sabor a recalentado de la carne (WOF), favorecen la retención del color y poseen actividad antimicrobiana (Townsend & Olson, 1994).

En condiciones normales la metamioglobina (marrón) es reducida a mioglobina (roja) por medio la actividad reductora de la metamioglobina (MRA) propia del tejido muscular, no obstante, este complejo es inhibido por los pH ácidos (Fox, 1994).

Los fosfatos alcalinos, como el tripolifosfato de sodio, aumentan el pH de la carne y, por lo tanto, favorecerían el accionar de la MRA, la transformación de los pigmentos marrones a rojos y, consecuentemente, el aumento de la coordenada a^* .

Por otra parte, el efecto antes mencionado se vería potenciado por el aumento de la CRA por acción del propio aditivo, el cual estaría sustrayendo el agua de la superficie de la carne (Strökki, 1995), principalmente la incorporada (5 %) como vehículo de disolución y, por lo tanto, concentrando los componentes rojos a nivel superficial que contribuyen al valor de dicha coordenada.

La interacción tiempo*fosfato no resultó significativa ($P > 0,05$, tabla 17). Esto evidencia que la acción del tripolifosfato de sodio se produjo en el mismo momento de su incorporación a las pastas cárnicas, no registrándose modificaciones durante la etapa de amasado-reposo.

Picado

El picado afectó los valores de la coordenada rojo-verde ($P < 0,05$, tabla 16). Los valores promedios de a^* para el picado fino fueron de 14,19 y para los picados con placa 13,67 y 13,70 (10 y 20 mm respectivamente). Al realizar el test de Tukey se observó que las diferencias eran significativas ($P < 0,05$) entre el picado fino y los restantes niveles de picado estudiados (10 mm y 20 mm) pero no entre estos últimos.

Estudios realizados por Cartagena (1997) con sistemas de carnes grasas (panceta, tocino y papada) señalan este mismo comportamiento, es decir valores superiores de a^* en las pastas finamente picadas. Otros autores (Iriarte *et al.*, 1993; Cervera, 1995; Perlo, 1997) observaron una gran variabilidad de esta coordenada para distintos músculos de la paleta de cerdo, hígado y papada de cerdo escaldada, de manera

que el proceso de picado sería una operación que, además, homogenizaría los valores de a^* .

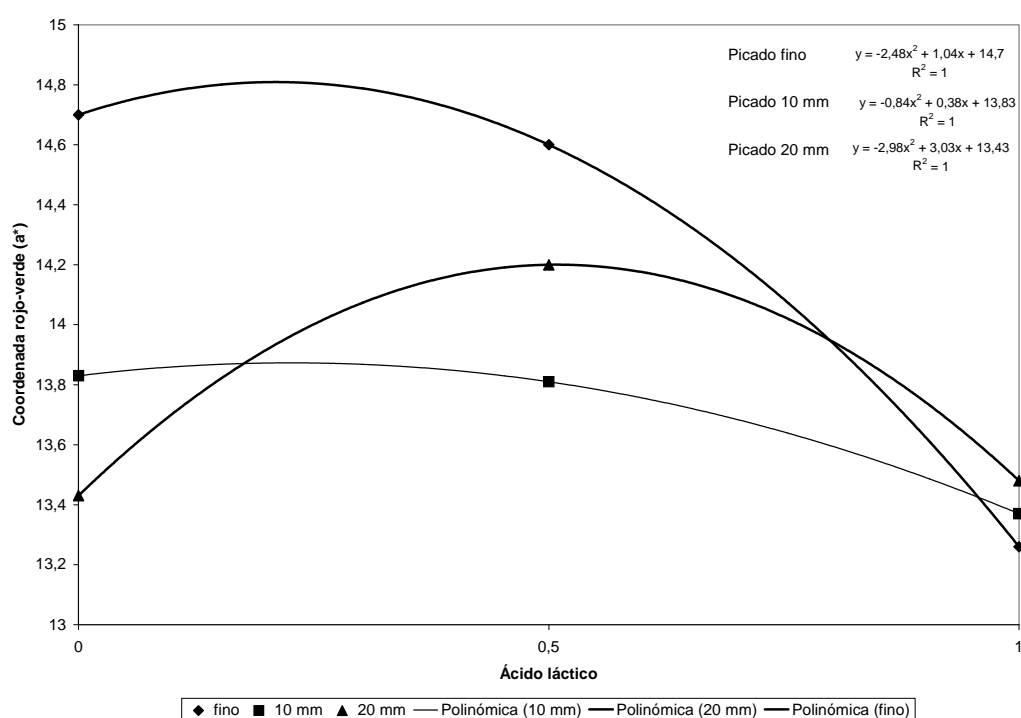
La destrucción de los tejidos por efecto del picado produce la liberación de los líquidos intra e intercelulares, arrastrando con ellos los componentes sarcoplasmáticos y acumulándose en la superficie del magro (Judge *et al.*, 1989; Rosmini & Schneider, 2000). Cuanto más intenso es el picado mayor es la superficie de exposición, mayor es la cantidad de oxígeno incorporado y, paralelamente, más cantidad de Mb se libera a partir del interior de la estructura tisular.

La coordenada a^* está relacionada con el contenido de Mb (Johansson *et al.*, 1991) y con su oxigenación (Fernández-López, 1998), la liberación del pigmento por efecto del picado, así como la formación de OMb por el contacto con el oxígeno serían los responsables del mayor valor de esta coordenada.

La interacción picado*ácido láctico resultó significativa ($P < 0,05$, tabla 16) y se representa en la gráfica 10, donde pueden observarse las diferentes pendientes que presentan las curvas que unen los valores, lo cual justifica la interacción.

En la gráfica se observa, además, que en las pastas no tratadas con ácido láctico se mantienen las diferencias entre el picado fino y los picados con grillas de 10 y 20 mm, fenómeno que fue descrito para el efecto simple del picado. Estas diferencias se pierden ($P > 0,05$, test de Tukey) al agregar el ácido láctico, independientemente de la concentración utilizada. Por otra parte, se puede ver en la gráfica que el efecto del ácido es más evidente en las pastas en las que se realizó el picado fino. En estas pastas las diferencias resultaron significativas ($P < 0,01$) cuando se incorporó un 1,0 % de ácido láctico, observándose la disminución de los valores de a^* , seguramente debido a la pérdida de los componentes rojos.

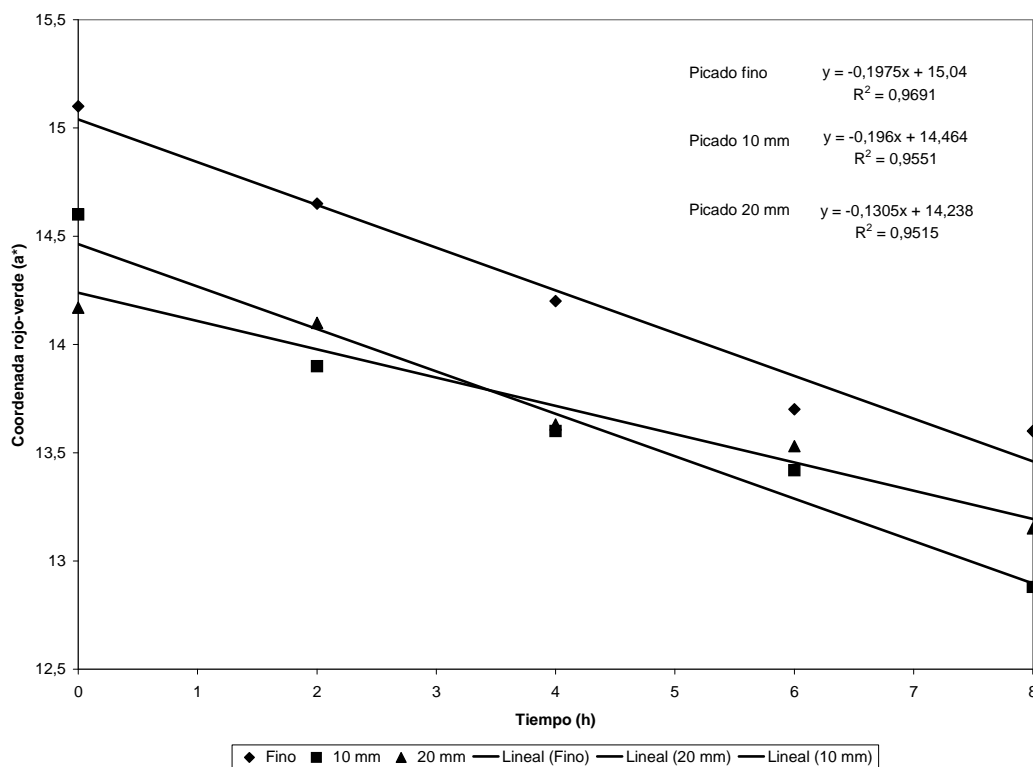
Ya fue comentada, al tratar el efecto simple, la acción desnaturalizante del ácido láctico sobre las proteínas del magro. La destrucción de la estructura proteica y, en consecuencia, la mayor concentración superficial de la Mb producida por el picado fino, facilitarían la acción del ácido. Al mismo tiempo, se favorecería la formación de MetMb y, consecuentemente, una mayor pérdida de los componentes rojos, por la inhibición de la MRA al descender el pH (Fox, 1994) por la incorporación del ácido.



Gráfica 10: Interacción picado*ácido láctico para la coordenada rojo-verde (a*).

La interacción tiempo*picado resultó significativa ($P < 0,05$, tabla 17) y se representa en la gráfica 11. En ella se observa que para los tres tipos de picado estudiados (fino, 10 mm y 20 mm) el ajuste lineal resultó significativo ($P < 0,01$ para picado fino y $P < 0,05$ para los picados con placa). Esto, junto con la tendencia de la curva de ajuste, está corroborando que existió una pérdida de los componentes rojos a lo largo de la etapa de amasado-reposo, independientemente del tipo de picado utilizado.

Por otra parte, se observa que los valores de a^* para el picado fino fueron superiores a los encontrados en los picados con placa, efecto que se describió anteriormente y que estaría relacionado con una mayor liberación de los componentes rojos de la carne.



Gráfica 11: Interacción tiempo*picado para la coordenada rojo-verde (a^*).

V.2.3- Análisis de la Coordenada amarillo-azul (b^*)

En la tabla 18 se presentan los resultados del Análisis Multivariante (MANOVA) realizado para evaluar el efecto de los diferentes tratamientos sobre la coordenada b^* de las pastas cárnicas estudiadas. Se observa que resultaron significativos ($P < 0,01$) los efectos simples del pimentón, ácido láctico, sal, fosfato y picado, así como las interacciones ácido láctico*pimentón, sal*pimentón, sal*ácido

láctico y picado*ácido láctico. También resultaron significativos ($P < 0,05$) las interacciones fosfato*ácido láctico, fosfato*sal, sal*ácido láctico*pimentón, fosfato*sal* pimentón y fosfato*sal*ácido láctico.

En la tabla 19 se presentan los resultados del Análisis Multivariante (MANOVA) realizado para evaluar el efecto del tiempo sobre la coordenada amarillo-azul (b^*) de las pastas cárnicas. Se observa que resultaron significativos el efecto simple del tiempo ($P < 0,01$) y las interacciones tiempo*ácido láctico y tiempo*sal ($P > 0,05$).

La gráfica 12 representa la evolución de la coordenada b^* a lo largo de la etapa de amasado-reposo, y muestra una disminución de la variable en estudio, lo cual evidencia que existió una pérdida de los componentes amarillos. La forma cuadrática del ajuste indica que el descenso fue más importante en las primeras horas del estudio. Por otra parte, la gráfica está construida considerando el efecto de todos los tratamientos realizados en promedio. No obstante, al no resultar significativa la interacción pimentón*tiempo permite suponer que los componentes amarillos que se perdieron pertenecían al magro y no al pimentón.

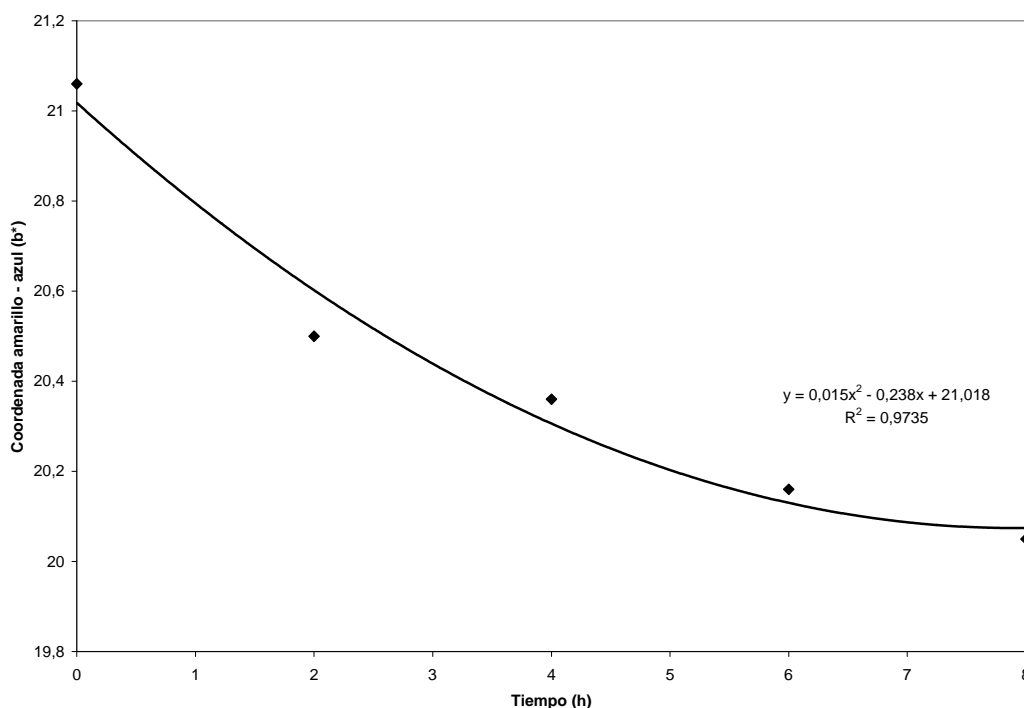
Tabla 18.- Resultados significativos del MANOVA realizado para la coordenada amarillo-azul (b*) considerando los factores pimentón (3 niveles), picado (3 niveles), ácido láctico (3 niveles), sal (3 niveles), fosfato (3 niveles) y sus interacciones.

Factor	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	Valor F	Probabilidad Pr > F
pimentón	37096,8808	2	18548,4404	2000,13	< 0,0001
ácido láctico	2610,9144	2	1305,4572	140,77	< 0,0001
sal	1303,4635	2	651,7317	70,28	< 0,0001
fosfato	127,0187	2	63,5093	6,85	0,0016
picado	2363,7072	2	1181,8536	127,44	< 0,0001
ác.láct* pimentón	360,0668	4	90,0167	9,71	< 0,0001
sal*pimentón	210,7645	4	52,6911	5,68	0,0003
sal*ác.láctico	331,4163	4	82,8541	8,93	< 0,0001
ffto*ác.láctico	127,6456	4	31,9114	3,44	0,0110
fosfato*sal	122,8599	4	30,7150	3,31	0,0134
picado*ác.láctico	265,3368	4	66,3342	7,15	< 0,0001
sal*ác.láct*pim	160,9787	8	20,1223	2,17	0,0355
ffto*sal*pim	166,1737	8	20,7717	2,24	0,0300
ffto*sal*ác.láct	176,8080	8	22,1010	2,38	0,0211
Residual	983,0035	106	9,2736		

A diferencia de lo observado para la coordenada a*, en la cual la pérdida de los componentes rojos fue constante a lo largo de la etapa amasado reposo (ajuste lineal), la evolución de la coordenada b* estaría indicando que la pérdida de los componentes amarillos fue importante en las primeras horas y tendió a estabilizarse hacia la mitad del estudio.

Por otra parte, el índice de decoloración (ID, R_{650}/R_{570}) de las pastas estudiadas disminuyó ($P < 0,01$) a lo largo de la etapa de amasado-reposo (gráfica 13). Este índice permite estimar la proporción de pigmentos Fe^{+2} y pigmentos Fe^{+3} de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$ID = [(Mb + NOMb) / MetMb]$$



Gráfica 12: Evolución de la coordenada amarillo-azul (b*) durante la etapa de amasado-reposo

Teniendo en cuenta que no se adicionó nitrito, y que en los diferentes tratamientos empleados en este estudio la Mb puede estar presente sólo en tres estados, la ecuación anterior puede ordenarse de la siguiente forma:

$$ID = [(Mb+OMb)/MetMb]$$

A partir de esto, una disminución del índice implica un aumento de la proporción de MetMb respecto de la Mb y OMb a lo largo de la etapa de amasado-reposo (gráfica 13).

Por otra parte, a 630 nm hay un porcentaje de reflectancia máximo para la OMb y uno mínimo para la MetMb; por el contrario, a 580 nm se invierten y el máximo porcentaje de reflectancia le corresponde a la MetMb (Van den Oord & Wesdorp, 1971a). Al analizar la evolución del ITP (R630/R580) y de la diferencia R630-R580 durante la etapa de estudio, se observó la disminución de ambos ($P < 0,01$) y en una forma idéntica a la descrita anteriormente para la coordenada el ID. Esto está

corroborando que se desequilibra la proporción de MetMb y de OMb a favor de la primera.

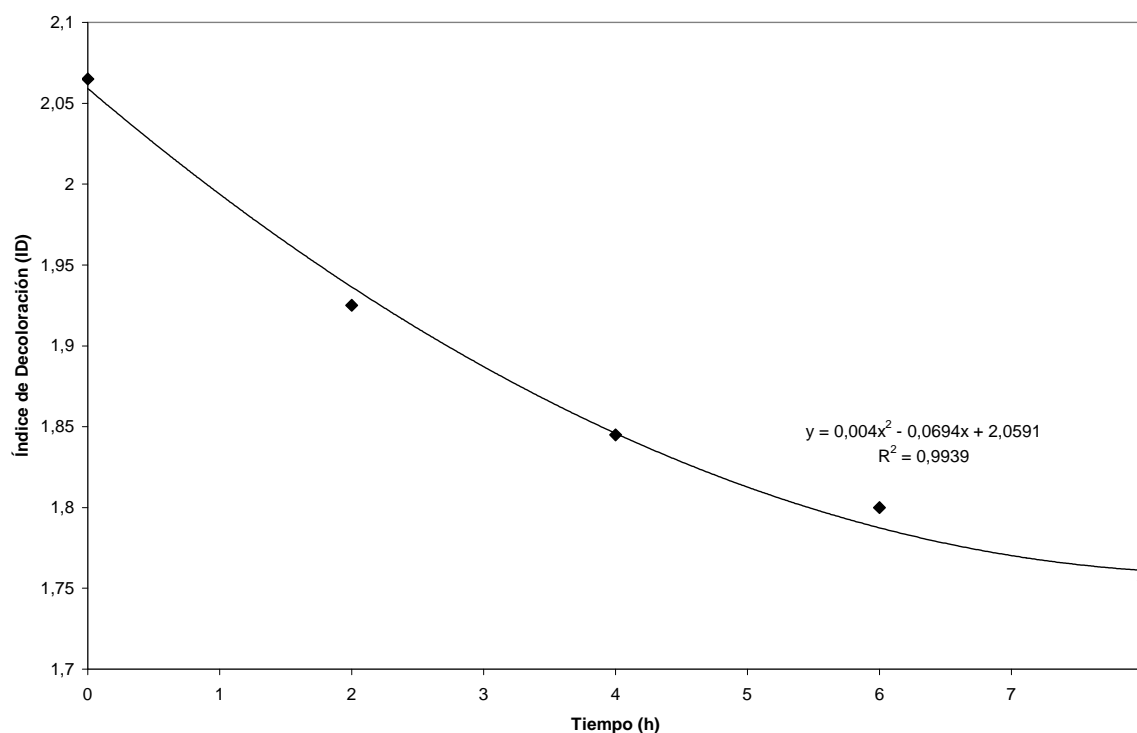
Mientras que la coordenada a^* está relacionada con el contenido de Mb (Johansson *et al.*, 1991), por su parte, la coordenada b^* dependería más de los diferentes estados en que ese pigmento se encuentra (Pérez Álvarez *et al.*, 1998), que para este estudio serían OMb y MetMb.

Los productos elaborados a base de carne presentan una mezcla de colores que se forma a partir de los diferentes estados de la Mb y las proporciones en las que se encuentran presentes. Así, el color del producto dependerá, en gran medida, de la concentración de MetMb en el pigmento total. Cuando dicha proporción está entre el 50 y el 60 % el color es rojo amarronado, cuando pasa al 60 – 70 % es marrón rojizo y por encima del 70 % es gris marrón (Wirth, 1990).

El mayor descenso de la coordenada b^* durante la primera mitad del estudio estaría relacionado con la formación de MetMb (color marrón) a expensas de la pérdida de OMb (color rojo brillante). En la segunda mitad del estudio, la forma cuadrática de la evolución mostraría una tendencia al equilibrio de los estados del pigmento de los cuales depende la coordenada b^* .

Tabla 19.- Resultados significativos del MANOVA realizado para la coordenada amarillo*azul (b^*) considerando el factor tiempo (5 niveles: 0-2-4-6-8 h) y sus interacciones con los demás tratamientos estudiados.

Factor	Valor	Valor F	Grados de Libertad Numerador	Grados de Libertad Denominador	Estadístico Wilk's Lambda (Pr > F)
Tiempo	0,6805	12.09	4	103	< 0,0001
tiempo*ác.láct	0,8596	2.02	8	206	0.0451
tiempo*sal	0,8615	1,99	8	206	0,0490



Gráfica 13: Evolución del índice de decoloración (ID) a lo largo de la etapa de amasado-reposo.

Pimentón

La coordenada amarillo-azul (b^*) se vio afectada tras la incorporación de pimentón ($P < 0,01$, tabla 18) resultando significativas ($P < 0,01$, test de Tukey) las diferencias entre todas las concentraciones ensayadas (0 %, 1,5 % y 3,0 %). El valor

promedio de las pastas cárnicas sin pimentón fue de 12,70, aumentando a 23,29 al agregar 1,5 % y a 25,29 cuando se utilizó un 3,0 % de la especia.

La interacción tiempo*pimentón no resultó significativa ($P > 0,05$, tabla 19), lo cual evidencia un efecto de esta especia, sobre la coordenada b^* , se produjo en el mismo momento de su incorporación a las pastas, no verificándose una evolución a lo largo de la etapa de amasado-reposo.

El pimentón posee una elevada proporción de pigmentos que aportan componentes amarillos criptoxanteno y zeoxanteno (xantófilas amarillas) (Farrel, 1990; Locey & Guzinski, 2000), que serían los responsables del aumento de la coordenada b^* en las pastas adicionadas con esta especia.

Ácido láctico

La coordenada b^* se modificó tras la adición de ácido láctico ($P < 0,01$, tabla 18). Las diferencias encontradas resultaron significativas ($P < 0,01$, test de Tukey) entre las tres concentraciones (0 %, 0,5 % y 1,0 %) del ácido estudiadas. Los valores promedios determinados variaron desde $b^* = 18,54$ para las pastas sin ácido, a 20,61 (0,5 %) y 22,12 (1,0 %) para las tratadas con ácido.

Estos resultados coinciden con las observaciones realizadas por Cartagena (1997) durante la elaboración de Güeña (producto cárnico español) y por Fernández-López (1998) al estudiar pastas cárnicas de embutidos crudo-curados.

Los bajos valores de pH reducen la constante de estabilidad del 5° ligando del hierro del grupo hemo (Livingston & Brown, 1981) y tienen una fuerte influencia sobre la Mb. Inicialmente se desestabiliza, desnaturalizándose a pH inferiores a 5 y, posteriormente, se incrementa la formación de MetMb por mecanismos de autooxidación (Wong, 1995; Varnam & Sutherland, 1998).

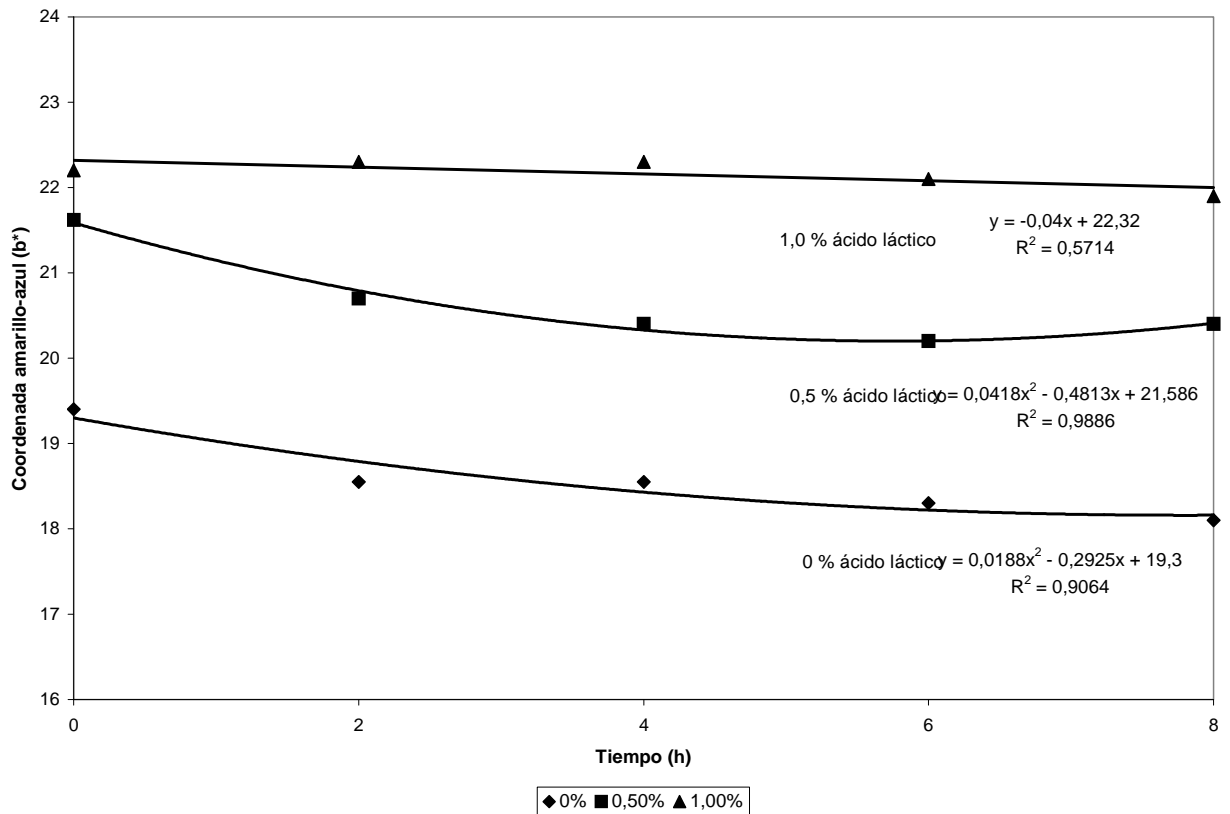
La disminución del pH de las pastas tras la adición de las distintas concentraciones del ácido (5,65 - 5,16 - 4,88 para 0,0 % - 0,5 % - 1,0 % respectivamente), favorecería la formación de MetMb y, con ello, el aumento de la coordenada b*.

La interacción tiempo*ácido láctico resultó significativa ($P < 0,05$, tabla 19), lo cual demuestra un efecto del ácido láctico sobre los valores de b* durante el tiempo que implica a la etapa de amasado-reposo.

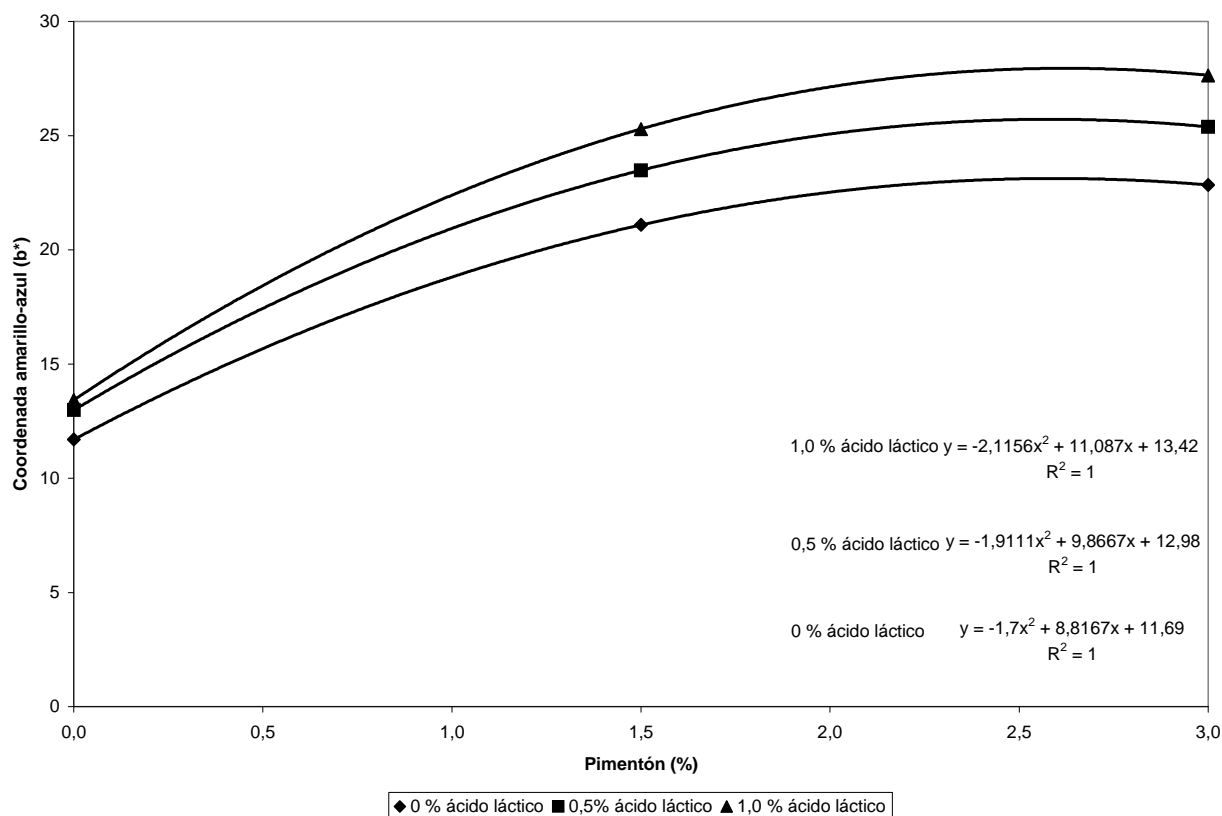
En la gráfica 14 se representa la interacción tiempo*ácido láctico. En dicha gráfica se observa que las pendientes de las líneas de tendencia de los tres niveles de ácido láctico estudiados son diferentes, lo cual estaría explicando la interacción. Por otra parte, el ajuste de las pendientes resultó significativo para la forma cuadrática en las pastas tratadas con 0,5 % de ácido láctico ($P < 0,01$) y las no tratadas con el ácido ($P < 0,05$). Se observa, además, que los mayores valores de b* se registraron en las pastas tratadas con 1,0 % de ácido láctico y, los menores, en aquellas que no fueron tratadas con el ácido, lo cual coincide con la observación realizada al analizar el efecto simple del ácido láctico. Al no modificarse durante la etapa de amasado reposo ($P > 0,05$) el valor de la coordenada b* de las pastas tratadas con 1 % ácido, evidencia que la mezcla de los colores resultantes de las distintas formas del pigmento se alcanzó en el mismo momento de incorporar el ácido.

La interacción ácido láctico*pimentón resultó significativa ($P < 0,01$, tabla 18). En las pastas sin pimentón se mantuvieron las diferencias descritas al analizar el efecto simple del ácido láctico. Cuando se les agregó 1,5 % de pimentón, los valores de la coordenada b* se incrementaron ($P < 0,01$, test de Tukey) al igual que al adicionar el

3,0 % de la especia ($P < 0,01$, test de Tukey), manteniéndose en ambos casos los efectos simples del pimentón y del ácido láctico. Estos resultados están evidenciando que los efectos simples se producen de igual forma cuando se combinan ambos tratamientos.



Gráfica 14: Interacción tiempo*ácido láctico para la coordenada amarillo-azul (b*).



Gráfica 15: Interacción ácido láctico*pimentón para la coordenada amarillo-azul (b*).

Cloruro de sodio:

La coordenada b^* se modificó por el efecto simple del cloruro de sodio (sal) ($P < 0,01$, tabla 18). Las diferencias encontradas resultaron significativas ($P < 0,01$, test de Tukey) entre las tres concentraciones estudiadas (0 %, 0,5 % y 1,0 %), observándose una disminución de la coordenada al incrementar la concentración de sal. Los valores promedios encontrados variaron desde $b^* = 21,81$ para las pastas sin sal, a 20,15 (1,5 %) y 19,31 (3,0 %) para las tratadas con sal.

La sal tiene dos mecanismos principales para promover la oxidación de la Mb. En primer lugar disminuye el pH de cualquier buffers presente en la carne, oxidando de esta forma la Mb a MetMb (Cross *et. al*, 1986). Dicha acción se produce sobre el Fe^{+2} del grupo hemo que pasa a Fe^{+3} (Judge *et. al*, 1989; Knipe, 1993), efecto debido

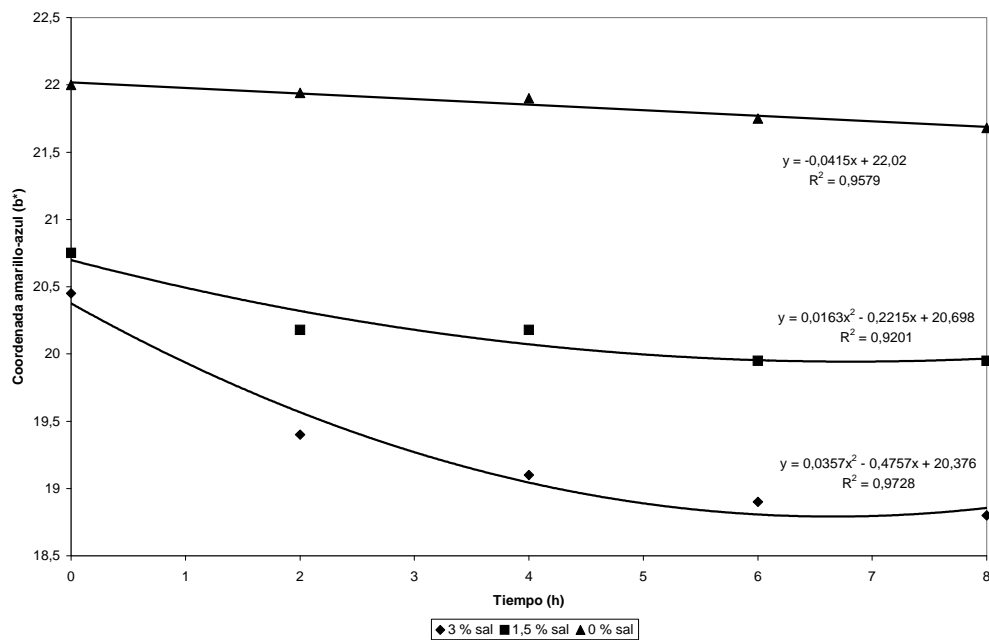
principalmente a la acción del ión Cl^- (Wettasinghe & Shahidi, 1996), produciendo el típico color que domina los productos cárnicos que han sido elaborados sólo con sal (Wirth, 1990). En segundo lugar, disminuye la solubilidad del oxígeno en la carne provocando una reducción del potencial redox, lo cual favorece aun más la oxidación de la Mb (Cross *et. al*, 1986).

Por otra parte, cuando la superficie de la carne tiene un alto porcentaje de OMb se observa de color rojo brillante, mientras que si predomina a este nivel el pigmento MetMb, el color resulta amarillo-oscuro a marrón (Strange *et. al*, 1974).

El descenso de la coordenada b^* registrado en el presente estudio, tras la adición de sal, estaría relacionado con la formación de MetMb a expensas de la Mb y de la OMb presente en la carne, fenómeno que se incrementaría frente a mayores concentraciones de sal. No obstante, como consecuencia de este fenómeno se forma una mezcla de colores en la pasta de carne que resulta de las distintas proporciones de los colores correspondientes a las diferentes formas del pigmento. En dicha mezcla existiría una menor proporción de componentes amarillos, lo cual determinaría los menores valores de la coordenada b^* .

Por otra parte, al evaluar los resultados obtenidos a partir de la diferencia R630-R580, la cual determina la concentración de Mb y la proporción de OMb y MetMb (Van den Oord & Wesdorp, 1971b), se observó que dicho índice disminuyó ($P < 0,01$, test de Tukey) conforme se incrementó la concentración de sal. Partiendo de valores R630-R580 = 11,20 para las pastas sin sal, el índice disminuyó a 10,06 (1,5 %) y 9,40 (3 %) en las pastas tratadas con sal. Tomando en cuenta la dificultad antes mencionada para la oxigenación de la Mb en presencia de sal, se puede suponer que el índice se ve modificado por el aumento de la MetMb, incremento que se estaría produciendo a expensas de la Mb y de a OMb por acción directa de la sal.

La gráfica 16 representa la interacción tiempo*sal. ($P < 0,05$, tabla 19) para la coordenada b^* . Las diferentes pendientes resultantes de los ajustes realizados para cada una de las tres concentraciones de sal estudiadas justifica la interacción. El ajuste resultó significativo para la forma cuadrática en las pastas con sal ($P < 0,01$ para las tratadas con 3,0 % de sal y $P < 0,05$ para las adicionadas con 1,5 % de sal) y lineal para las pastas sin sal ($P < 0,01$). Esto está demostrando que la disminución de la coordenada b^* , efecto que se produjo en el mismo momento de la incorporación de la sal, continuó a lo largo de la etapa de amasado-reposo.

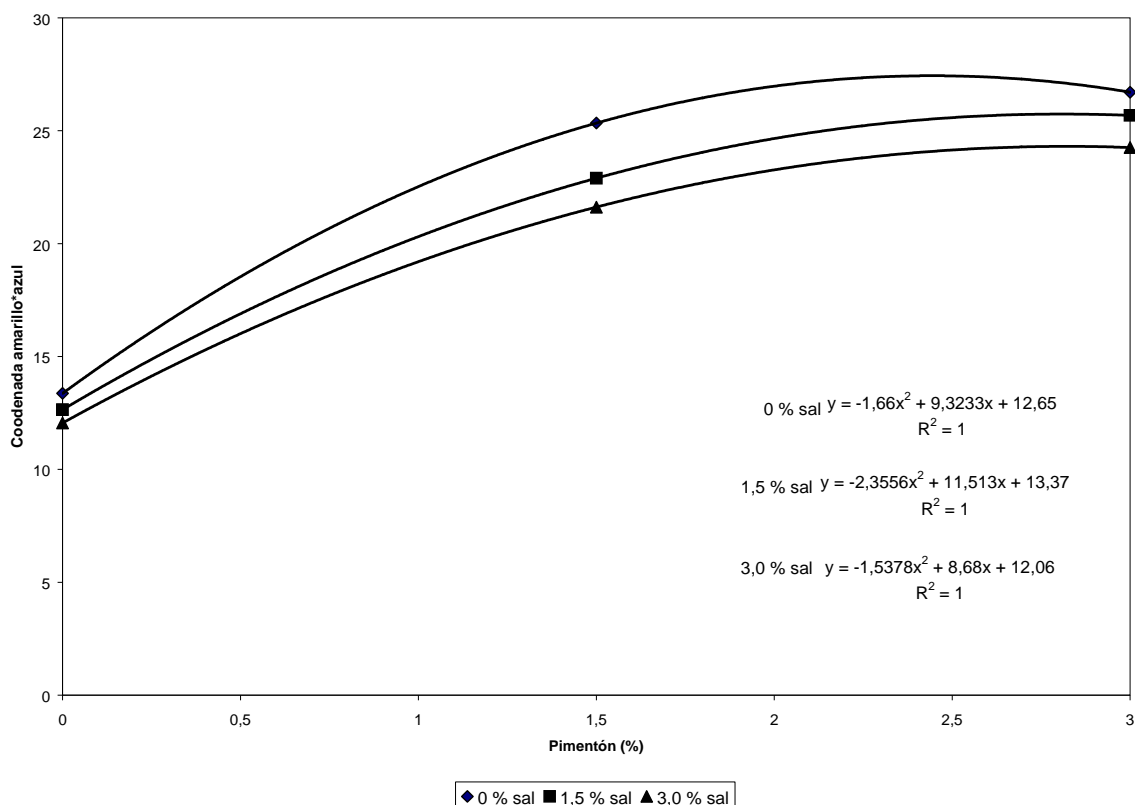


Gráfica 16: Interacción tiempo*sal para la coordenada amarillo-azul (b^*).

Este descenso se produjo tanto en las pastas que fueron tratadas con la sal como en las sin sal. Por otra parte, el ajuste cuadrático muestra que el efecto fue más importante durante las primeras horas de esa etapa a medida que la concentración de sal se incrementó.

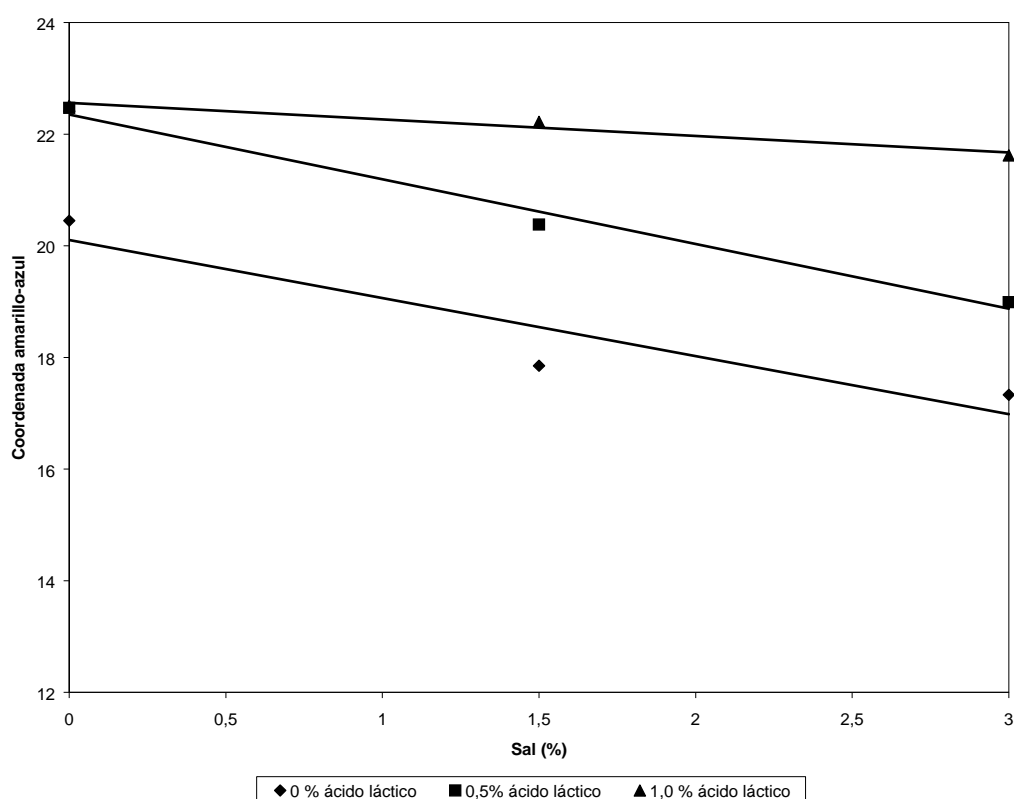
La interacción sal*pimentón resultó significativa ($P < 0,01$, tabla 18), la cual queda representada en la gráfica 17. En la misma se observa que los efectos individuales de la sal (reducción de los valores de b^*) y del pimentón (aumento de los valores de b^*) se mantienen cuando se incorporan conjuntamente a las pastas.

Además, en la gráfica se observa que el agregado de pimentón produjo aumentos significativos ($P < 0,01$, test de Tukey) en los valores de b^* , tanto al incorporar 1,5 % como al agregar 3,0 % de la especia. Estos resultados coinciden con las observaciones realizadas al analizar el efecto simple del pimentón y corresponden al aporte de componentes amarillos por parte de la especia, efecto que resultó predominante sobre el de la sal. El mayor valor de b^* se obtuvo en la pasta sin sal y con la máxima concentración de pimentón ($b^* = 20,71$).



Gráfica 17: Interacción sal*pimentón para la coordenada amarillo-azul (b^*).

La interacción sal*ácido láctico resultó significativa ($P < 0,01$, tabla 18), la cual queda representada en la gráfica 18. En la misma se observa que los efectos individuales de la sal (reducción de los valores de b^*) y del ácido láctico (aumento de los valores de b^*) se mantienen cuando se incorporan conjuntamente a las pastas. Por otra parte, al realizar el test de Tukey, se obtuvieron diferencias significativas ($P < 0,01$) entre las pastas tratadas con 0 % y 0,5 % de ácido láctico independientemente de la concentración de sal adicionada. Por el contrario, la incorporación de 1,0 % de ácido anuló dichas diferencias y desapareció el efecto de la sal. En este caso, si bien el ácido también contribuye a la formación de MetMb a expensa de las otras dos formas del pigmento de la carne, la mezcla de colores resultantes tiene una mayor proporción de componentes amarillos, lo cual se refleja en el aumento de la coordenada b^* .



Gráfica 18: Interacción sal*ácido láctico para la coordenada amarillo-azul (b^*).

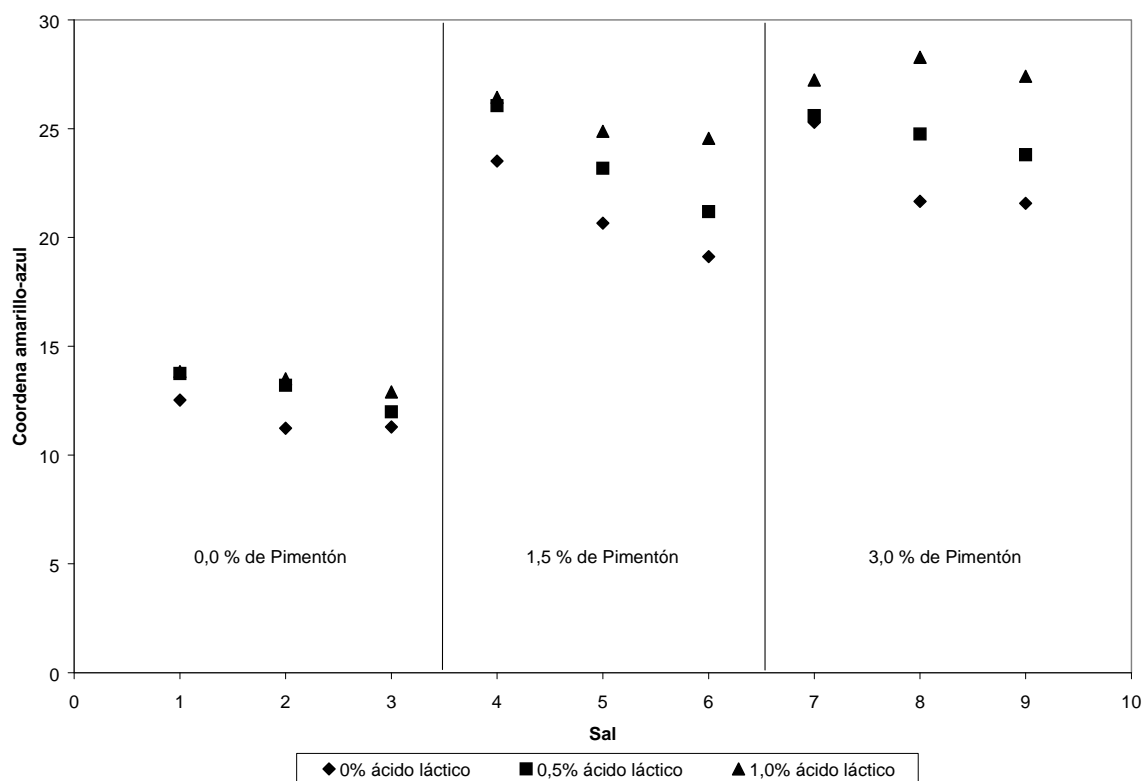
En la tabla 18 se observa que la interacción **sal*ácido láctico*pimentón** resultó significativa ($P < 0,05$), la cual queda representada en la gráfica 19.

En la gráfica se observa que la incorporación de pimentón produjo un aumento de los valores de b^* ($P < 0,01$, test de Tukey), independientemente de la adición de ácido láctico y de sal, para todas las combinaciones realizadas, lo cual coincide con lo descrito para el efecto simple de esta especia. Además, se observa que las pastas se diferenciaron en dos grandes grupos ($P < 0,01$, test de Tukey): las tratadas con pimentón, mostrando valores superiores de b^* y sin diferencias entre ellas ($P > 0,05$) y las carentes de éste, agrupadas en torno a valores inferiores de dicha coordenada. Esto demuestra que el efecto de la especia sobre la coordenada amarillo-azul es superior al de la sal y el ácido láctico.

Por otra parte, en las pastas tratadas con 1,5 % de pimentón se observa que ante la ausencia de la sal no existieron diferencias ($P > 0,05$) entre las pastas con 0,5 y 1 % de ácido láctico, es decir, se confirma lo visto al analizar el efecto simple del ácido. Al incorporar sal a las pastas, los valores de b^* resultaron inferiores ($P < 0,01$), tanto cuando el ácido estaba ausente como cuando estaba en una concentración del 0,5 %, pero no cuando se agregó el 1% ($P > 0,05$). Esto confirma los efectos vistos al tratar los efectos simples de la sal y del ácido láctico y la interacción sal*ácido láctico.

Cuando se utilizó un 3 % pimentón y sin sal no resultaron significativas ($P > 0,05$) las diferencias entre las pastas, independientemente de la concentración de ácido utilizada. Por el contrario, al agregar 1,5 % de sal los valores de b^* resultaron inferiores ($P < 0,01$), pero no se diferenciaron ($P > 0,05$) de los valores alcanzados con 3 % de sal. Cuando se combinaron las máximas concentraciones de sal y pimentón, no resultó significativa la diferencia ($P > 0,05$) entre las pastas sin ácido y las tratadas con 0,5 % de ácido, pero sí lo fue ($P < 0,05$) entre estas y las tratadas con 1,0 % del ácido.

Esto estaría poniendo de manifiesto que cada uno de los 3 componentes de la interacción mantiene su efecto simple sobre la coordenada b^* , prevaleciendo el efecto del pimentón sobre los otros dos. Este fenómeno debe responder a dos causas: por un lado al importante aporte de componentes amarillos que realizó el pimentón a las pastas y, por otra parte, a la variación de las proporciones de los diferentes estados de la Mb por acción del ácido láctico y de la sal, tal como fue descrito al considerar los efectos simples de cada uno de esos componentes o sus interacciones.



Gráfica 19: Interacción sal*ácido láctico*pimentón para la coordenada amarillo-azul (b^*) (1, 4 y 7: 0,0% sal; 2, 5 y 8: 1,5% sal y 3, 6 y 9: 3,0% sal).

Tripolifosfato de sodio

La coordenada amarillo-azul (b^*) se vio afectada por la incorporación del tripolifosfato de sodio ($P < 0,01$, tabla 18). Al analizar los valores de b^* se observó que

no resultaron significativas ($P > 0,05$, test de Tukey) las diferencias entre las pastas sin fosfato y las tratadas con el aditivo (0,15 % y 0,30 %), pero si entre estas últimas ($P < 0,01$). Los valores promedios fueron: 20,41 (0 %), 20,04 (0,15 %) y 20,83 (0,30 % de fosfato). A pesar de la significación estadística de las diferencias mencionadas, las magnitudes carecen de valor desde el punto de vista práctico para el estudio del color.

Los polifosfatos tiene la capacidad de incrementar la fuerza iónica del medio y aumentan y estabilizan el pH, mejorando la CRA (Fischer, 1994). Sólo los fosfatos alcalinos, como el tripolifosfato de sodio, son eficaces para incrementar la capacidad de retención de agua (CRA) por un doble mecanismo: aumentar el pH de la carne y solubilizar las proteínas musculares (Townsend & Olson, 1994).

Por otra parte, el pH ($P < 0,01$, test de Tukey), de las pastas aumentó desde un valor promedio de 5,14 para las pastas sin fosfato a 5,24 y 5,30 para las con fosfato (0,15 % y 0,30 % respectivamente).

Tanto el tripolifosfato de sodio como otras sales causan la eliminación parcial de los iones metálicos alcalino-térreos fuertemente unidos a los filamentos de actina y miosina, disociando, en consecuencia, el complejo actomiosina. Esto, junto a la acción que ejercen sobre la fuerza iónica y el pH del medio, causan la disrupción de la estructura de la carne y un incremento en la solubilidad proteica (Schmidt, 1994).

El aumento de la coordenada b^* registrado para las muestras tratadas con la máxima concentración de fosfato estudiada (0,30 %), podría deberse tanto al aumento del pH de la carne como a la capacidad de este aditivo para formar complejos con iones metálicos (principalmente Ca^{+2}), con la consiguiente pérdida de la estructura tisular. Ambos efectos aumentan la solubilidad de las proteínas cárnicas, lo cual incrementaría la proporción de la formas del pigmento que contribuyen al valor de esta coordenada.

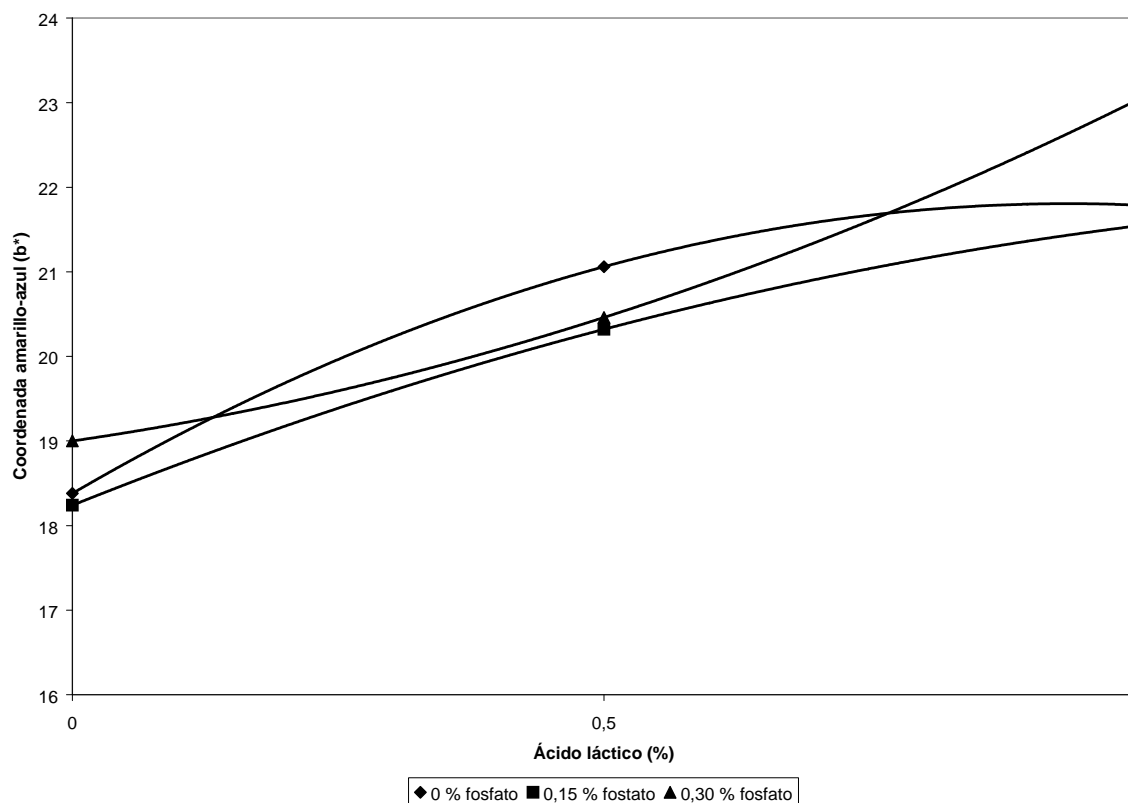
En sistemas modelos con magro de cerdo, el efecto óptimo del fosfato sobre la textura, es decir, sobre la estructura tisular, se produce a partir de concentraciones de 0,2 % (Nielsen *et al.*, 1995), lo que podría explicar la no existencia de diferencias significativas para la coordenada b^* en los tratamientos con 0,15 %.

Tanto el índice de decoloración (ID) como la diferencia de R630/R580 aumentaron tras la adición de fosfato mostrando diferencias significativas entre las pastas sin fosfato y las tratadas con el aditivo ($P < 0,01$, test de Tukey). Esto estaría indicando que las proporciones de las diversas formas del pigmento de la carne resultan en un aumento de la coordenada b^* tras la adición de este aditivo.

A pesar de la existencia de las diferencias mencionadas y de su significación estadística, debe observarse que se trata, en términos absolutos, de valores inferiores a la unidad, lo cual desde el punto de vista práctico y en términos de diferencia color resulta en un nivel de percepción “pequeña” al ojo humano (Schmidhofer, 1994).

La interacción tiempo*fosfato de sodio no resultó significativa ($P > 0,05$, tabla 19), lo cual evidencia un efecto del aditivo sobre la coordenada b^* se produjo en el mismo momento de su incorporación a las pastas, no verificándose evolución a lo largo de la etapa de amasado-reposo.

En la tabla 18 se observa que la interacción fosfato*ácido láctico resultó significativa ($P < 0,05$), la cual queda representada en la gráfica 20.



Gráfica 20: Interacción fosfato*ácido láctico para la coordenada amarillo-azul (b*).

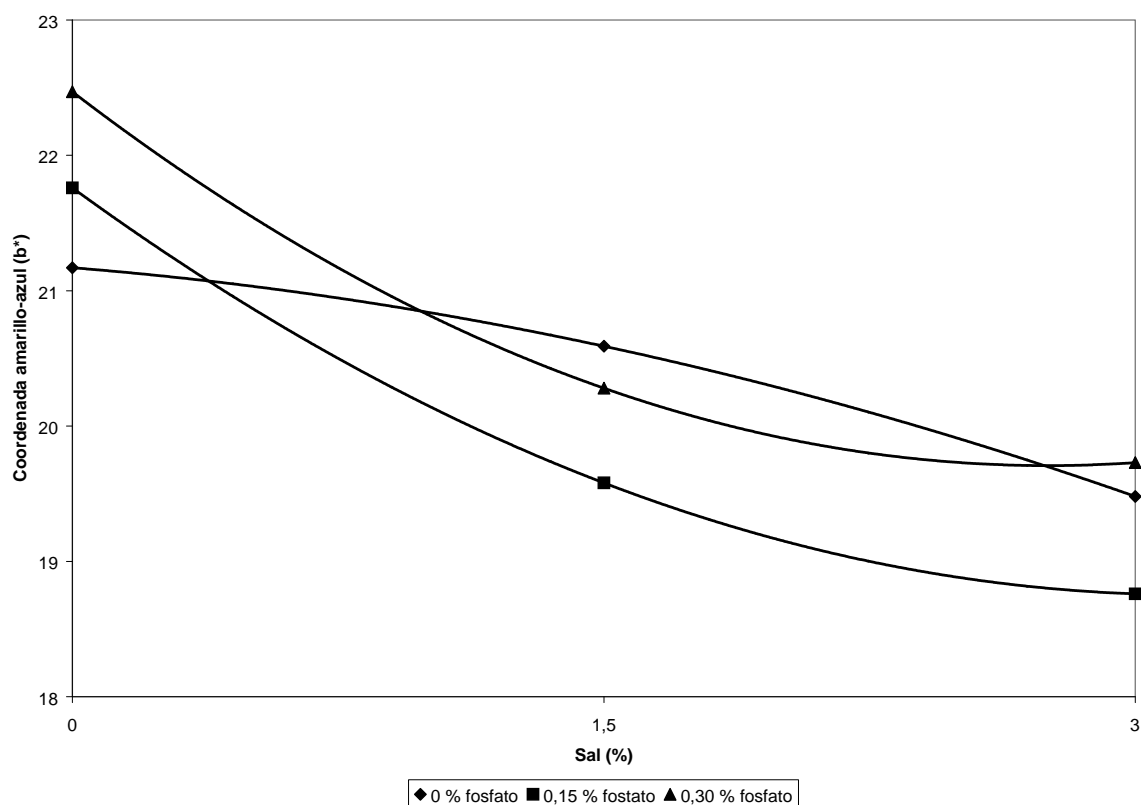
Por otra parte, en la gráfica se puede observar que el efecto del ácido láctico sobre la b^* es idéntico al descrito para el efecto simple, es decir, aumenta el valor de la coordenada al agregar el ácido conforme aumenta su concentración ($P < 0,01$, test de Tuckey). Además, se observa que al incorporar 1,0 % del ácido junto con la máxima concentración de fosfato (0,30 %) se produjo un efecto combinado, resultando significativo ($P < 0,01$) el incremento de b^* respecto de los tratamiento sin fosfato y el que sólo contenía 0,15 % del aditivo. Esto confirma que el efecto del fosfato sobre la coordenada b^* se produce a concentraciones superiores de 0,15 % del aditivo.

La interacción fosfato*sal resultó significativa ($P < 0,05$, tabla 18). En la gráfica 21 se observan los ajustes realizados sobre los valores promedios de las pastas tratadas con las diferentes combinaciones de fosfato y sal.

En la gráfica puede apreciarse que en las pastas sin sal se mantuvieron las diferencias descritas para el efecto simple del fosfato observándose un aumento de la b^* al agregar el aditivo. Al adicionar 1,5 % de sal los valores de b^* disminuyeron ($P < 0,01$, test de Tukey), desapareciendo las diferencias entre los distintos tratamientos con fosfato ($P > 0,05$, test de Tukey) y, por lo tanto, el efecto del aditivo. Al agregar el 3,0 % de sal el descenso de la coordenada b^* , respecto de las pastas tratadas con 1,5 %, no resultó significativo ($P > 0,05$, test de Tukey).

Así mismo, el pH de las pastas tratadas con fosfato disminuyó al adicionar 0,5 % y 3,0 % de sal (pH = 5,35 para las pastas sin sal y con el máximo de fosfato, a 5,31 y 5,20 para las tratadas con 1,5 % y 3,0 % de sal respectivamente, con la misma combinación del aditivo) haciendo desaparecer las diferencias entre los distintos tratamientos con fosfato ($P < 0,01$, test de Tukey) para la máxima concentración de sal (3,0 %). Esto estaría indicando que el efecto del fosfato sobre la coordenada b^* es anulado por el descenso del pH provocado por la sal.

La diferencia R630/R580 para las pastas tratadas con fosfato disminuyó tras la adición de sal a dichas pastas, aunque se mantuvieron las diferencias significativas entre las pastas con y sin fosfato ($P < 0,01$, test de Tukey). Esto estaría indicando que las proporciones resultantes de las diversas formas del pigmento de la carne con la adición de sal, resultan en una disminución de la coordenada b^* .

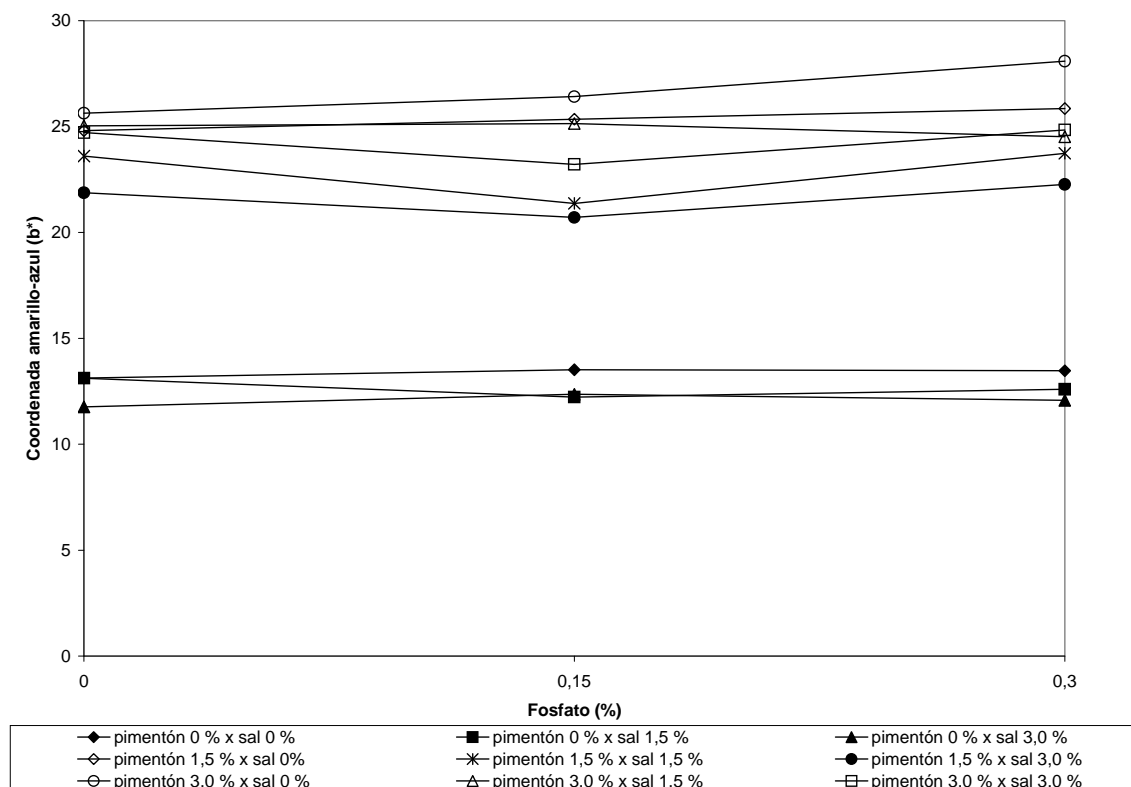


Gráfica 21: Interacción fosfato*sal para la coordenada amarillo-azul (b^*).

En la tabla 18 se observa que la interacción fosfato*sal*pimentón resultó significativa ($P < 0,05$), la cual queda representada en la gráfica 21.

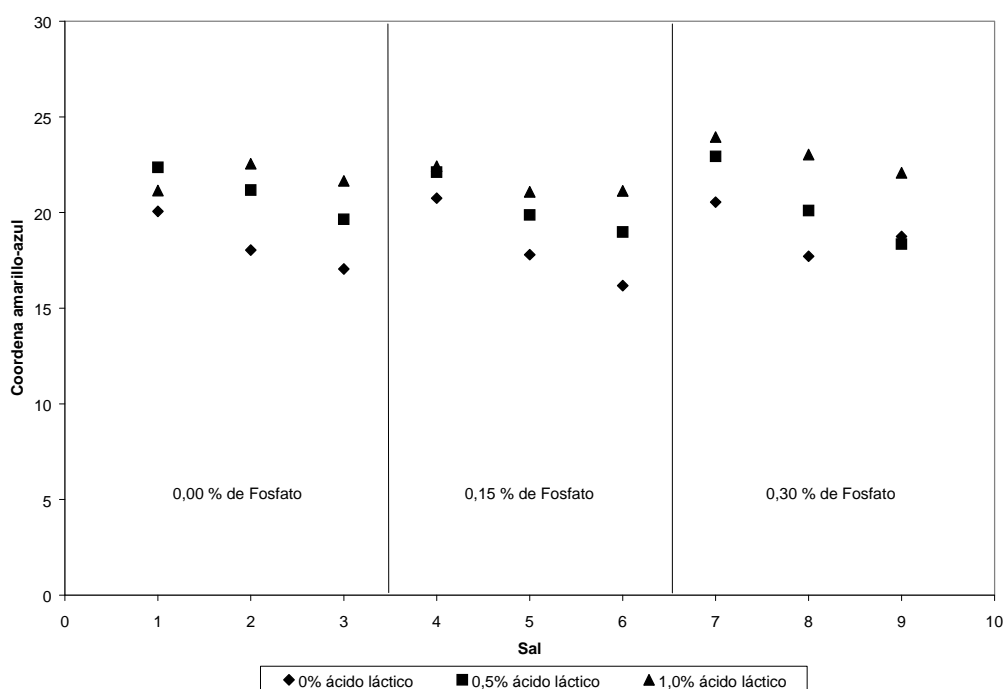
En la gráfica se observa que en ausencia de fosfato y de sal el pimentón produjo un aumento de la coordenada b^* ($P < 0,01$, test de Tukey), lo cual coincide con lo descrito para el efecto simple de esta especia. Por otra parte, se observa que las pastas se diferenciaron en dos grandes grupos ($P < 0,01$, test de Tukey): las tratadas con pimentón, mostrando valores superiores de b^* y las carentes de pimentón, agrupadas en torno a valores inferiores de dicha coordenada. Esto demuestra que el efecto de la especia sobre la b^* es superior al que provocan la sal y el fosfato. Además, en las pastas tratadas con pimentón se observa que los valores de b^* se agruparon sin diferenciarse ($P > 0,05$, test de Tukey) tanto en el tratamiento con 0 fosfato, como en los con sal,

independientemente de las concentraciones utilizadas. Esto estaría indicando que el efecto del pimentón sobresalió respecto de los otros dos factores en estudio.



Gráfica 21: Interacción fosfato*sal*pimentón para la coordenada amarillo-azul (b^*).

En la tabla 18 se observa que la interacción fosfato*sal*ácido láctico resultó significativa ($P < 0,05$), la cual queda representada en la gráfica 22. En dicha gráfica se observa que en ausencia del ácido láctico, el efecto simple de la sal (disminución de la b^*) se mantiene ($P < 0,01$, test de Tukey) independientemente de la concentración de fosfato. En la gráfica también se observa que en las pastas sin sal se produjo un efecto sinérgico del ácido láctico y del fosfato (aumento de la b^*) que resultó significativo ($P < 0,01$) solo para la máxima concentración de ambos aditivos. Por otra parte, al incorporar el 3 % de sal ese efecto sinérgico se mantuvo resultando significativo ($P < 0,01$) en las pastas tratadas con las máximas concentración de fosfato y ácido.



Gráfica 22: Interacción fosfato*sal*ácido láctico para la coordenada amarillo-azul (1, 4 y 7: 0,0% sal; 2, 5 y 8: 1,5% sal y 3, 6 y 9: 3,0% sal).

Esto estaría mostrando que cada uno de los compuestos estudiados mantiene sus efectos simples sobre la coordenada b^* , pero que a las máximas concentraciones utilizadas el ácido láctico y el fosfato poseen un efecto sinérgico, superior y contrario al de la sal y predominan sobre esta.

Picado

La coordenada b^* se vio afectada por el efecto simple del picado ($P < 0,01$, tabla 18), obteniéndose para las pastas picadas finamente un valor promedio de $b^* = 22,40$ y, para las picadas con placa, $b^* = 19,40$ (10 mm) y $b^* = 19,48$ (20 mm). El test de Tukey señaló la existencia de diferencias significativas ($P < 0,01$) entre el picado fino y los picados con placa (10 mm y 20 mm), pero no entre estos últimos ($P > 0,05$).

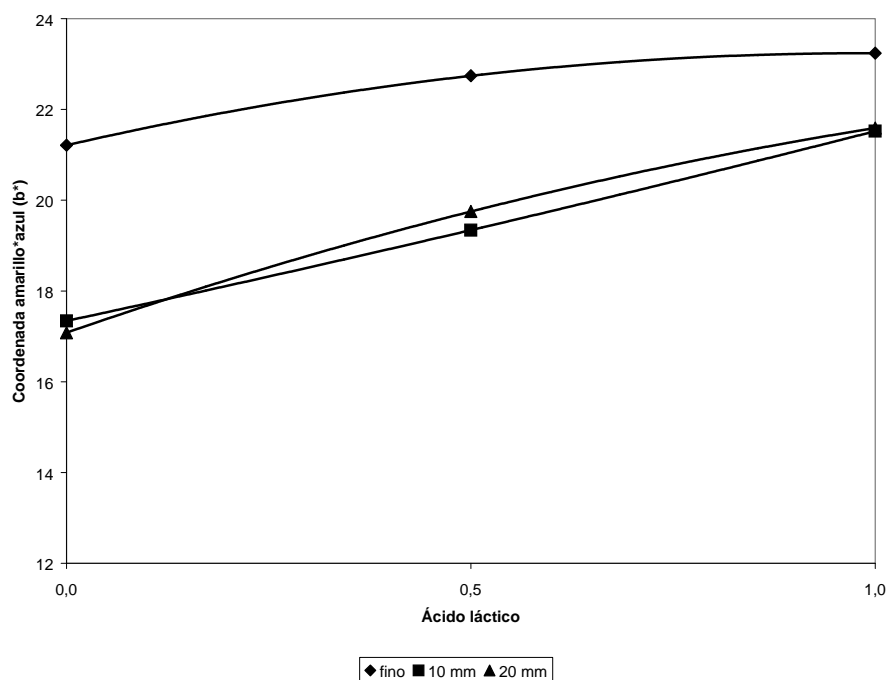
Fernández-López (1998) señaló que el picado, independientemente del tipo, incrementa la componente amarilla del color. Cartagena (1997) señaló un comportamiento similar para otros sistemas cárnicos, tanto grasos (panceta, papada y tocino) como magros (ternera y pollo). Sin embargo, el mismo autor señaló que para las vísceras (corazón y pulmón) el comportamiento frente al picado fue inverso.

La coordenada amarillo-azul en la carne fresca está relacionada con la proporción de las diferentes formas en que se encuentra el pigmento de la carne (Mb-OMb-MetMb) (Johansson *et al.*, 1991). Los procesos de picado destruyen la estructura muscular (Judge *et al.*, 1988), liberando las proteínas sarcoplasmáticas y facilitando a su vez la incorporación de aire a los tejidos. Cuanto más intenso es el picado, la destrucción de la estructura muscular resultará mayor y facilitará la exposición de los pigmentos en la superficie. Un valor de la coordenada b^* superior por efecto del picado fino estaría evidenciando el aumento de la proporción de las formas amarillas del pigmento (MetMb) y su exposición en la superficie del magro.

La interacción picado*ácido láctico resultó significativa ($P < 0,01$, tabla 18) y se representa en la gráfica 23.

En la gráfica puede observarse que en las pastas no tratadas con ácido se mantienen las diferencias ($P < 0,01$, test de Tukey) entre el picado fino y los picados con placa (10 y 20 mm), lo cual coincide con lo ya analizado en el efecto simple del picado. Dichas diferencias persisten en las pastas tratadas con ácido, independientemente de la concentración adicionada.

Además, el efecto simple del ácido láctico (aumento de la coordenada b^*) se mantiene independientemente del picado utilizado, resultando evidente el aumento de la coordenada b^* al agregar el ácido en las dos concentraciones estudiadas ($P < 0,01$, test de Tukey).



Gráfica 23: Interacción picado*ácido láctico para la coordenada amarillo-azul (b^*).

Estos resultados demuestran un efecto sinérgico entre las concentraciones de ácido láctico utilizadas y el picado fino, el cual queda evidenciado por los mayores valores de b^* alcanzados.

V.2.4- Análisis de la variable índice de rojez (a^*/b^*)

En la tabla 20 se presentan los resultados del Análisis Multivariante (MANOVA) realizado para evaluar el efecto de los distintos tratamientos realizados sobre el índice de rojez (a^*/b^*) de las pastas de carne. Se observa que resultaron significativos ($P < 0,01$) los efectos simples del pimentón, ácido láctico, sal, fosfato y picado, así como la interacción sal*ácido láctico.

Tabla 20.- Resultados significativos del MANOVA realizado para la variable índice de rojez (a*/b*) considerando los factores pimentón (3 niveles), ácido láctico (3 niveles), sal (3 niveles), fosfato (3 niveles) y picado (3 niveles), y sus interacciones.

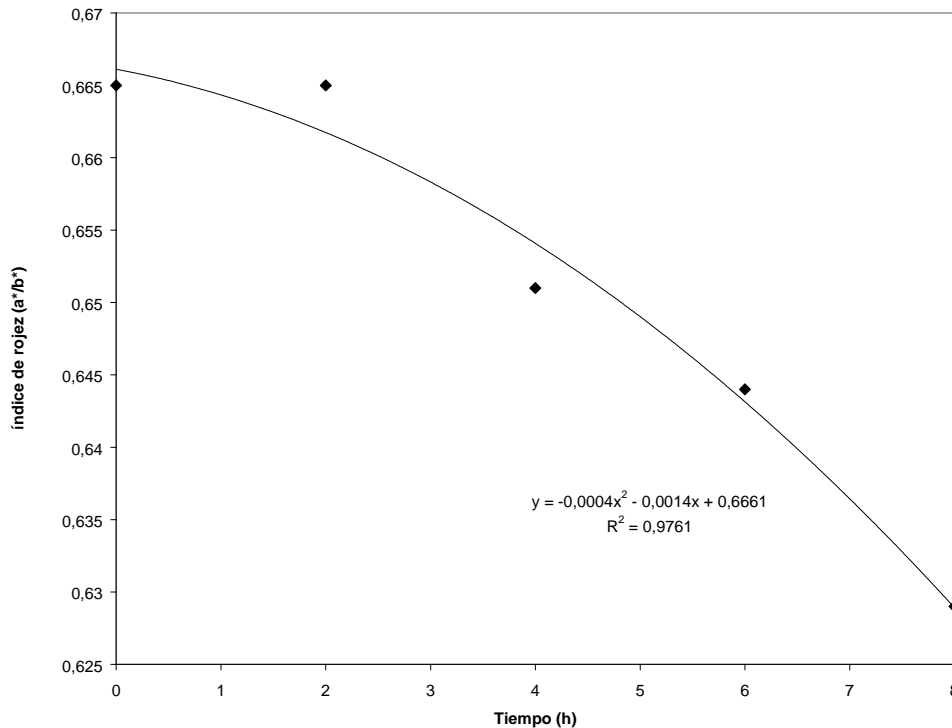
Factor	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	Valor F	Probabilidad Pr > F
pimentón	28,3019	2	14,1510	612,33	< 0,0001
ácido láctico	5,6131	2	2,8065	121,44	< 0,0001
sal	0.3565	2	0.1782	7,71	0,0007
fosfato	0,6760	2	0,3380	14,63	< 0,0001
picado	1,4570	2	0,7285	31,52	< 0,0001
sal*ácido láctico	0,6051	4	0,1513	6,55	< 0,0001
Residual	2,4496	106	0,0231		

En la tabla 21 se presentan los resultados del Análisis Multivariante (MANOVA) realizado para evaluar el efecto del factor tiempo sobre el índice de rojez (a*/b*) de las pastas de carne. Se observa que sólo resultaron significativos ($P < 0,01$) el efecto simple del tiempo y las interacciones tiempo*pimentón y tiempo*ácido láctico.

Tabla 21.- Resultados significativos del MANOVA realizado para el índice de rojez (a^*/b^*), considerando el factor tiempo (5 niveles: 0-2-4-6-8 h) y sus interacciones con los demás factores (tratamientos) estudiados.

Factor	Valor	Valor F	Grados de Libertad Numerador	Grados de Libertad Denominador	Estadístico Wilk's Lambda (Pr > F)
tiempo	0,5869	18,12	4	103	< 0,0001
tiempo*pimentón	0,7980	3,07	8	206	0,0027
tiempo*láctico	0,7191	4,62	8	206	< 0,0001

En la gráfica 24 se representa la evolución del índice de rojez a^*/b^* durante la etapa de amasado-reposo. En ella se puede observar la disminución ($P < 0,01$) de dicha variable en función del tiempo de estudio y la forma cuadrática que adoptó dicho descenso. De acuerdo al diseño experimental planteado, la evolución de esta coordenada en el tiempo se realiza como un promedio de todos los tratamientos estudiados. Una disminución del índice está poniendo de manifiesto la pérdida de los componentes rojos o el aumento de los amarillos. En este estudio se produjo una disminución de la coordenada a^* en forma lineal a lo largo de la etapa de amasado reposo (gráfica 6) y, al mismo tiempo, una disminución de la coordenada b^* en forma cuadrática (gráfica 12), es decir en forma rápida al principio y muy lentamente al promediar la etapa de estudio. Estos resultados demuestran que la pérdida de componentes rojos fue mayor, respecto de la pérdida de los componentes amarillos, como para producir la disminución del índice de rojez.



Gráfica 24: Evolución del índice de rojez (a^*/b^*) durante la etapa de amasado-reposo.

Pimentón

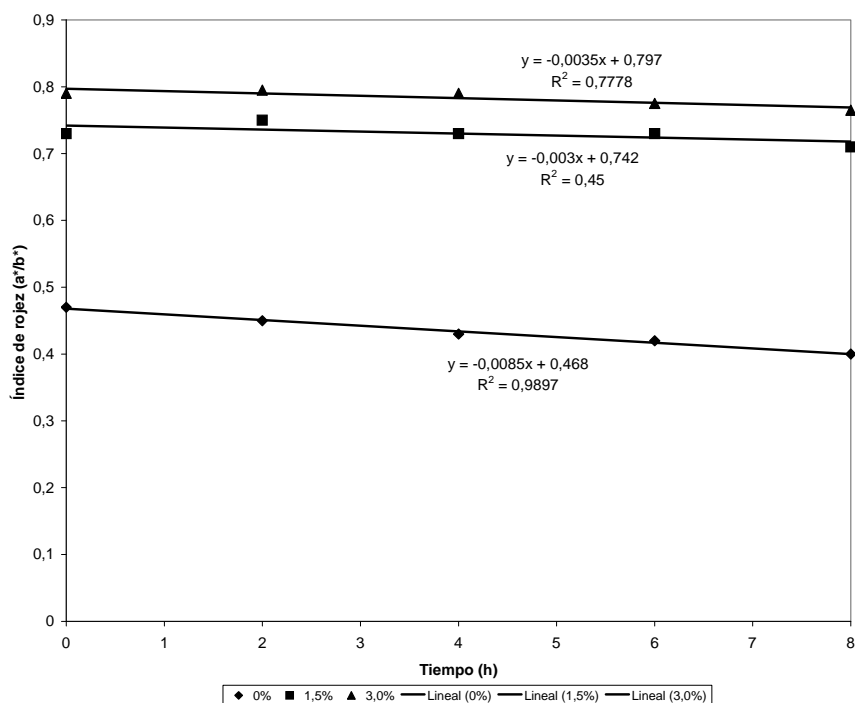
El a^*/b^* de las pastas estudiadas se modificó tras la incorporación de pimentón ($P < 0,01$, tabla 20), hallándose diferencias significativas ($P < 0,01$, test de Tukey) entre las tres concentraciones estudiadas (0 %, 1,5 % y 3,0 %). Para las pastas sin pimentón el valor promedio fue de 0,44, aumentando a 0,73 y 0,78 tras la incorporación de 1,5 % y 3,0 % de la especia respectivamente. Estos resultados coinciden con los obtenidos al analizar el efecto de la incorporación de pimentón sobre las coordenadas a^* y b^* por separado. Los valores de ambas resultaron, en promedio, inferiores para las muestras sin pimentón y más elevados conforme se incrementó la concentración de la especia.

Estos resultados coinciden con las observaciones realizadas por otros autores (Figuerola *et al.*, 1993; Grau, 1996; Fernández-López, 1998) que estudiaron el efecto del pimentón sobre diferentes matrices cárnicas y concluyeron que el pimentón presenta una composición química equilibrada entre los compuestos que contribuyen a las

coordenadas a^* y b^* . Por otra parte, un aumento del índice a^*/b^* está indicando que la contribución de los componentes rojos fue superior a la de los amarillos.

La interacción tiempo*pimentón resultó significativa ($P < 0,01$, tabla 21) y se representa en la gráfica 25. En dicha gráfica se puede observar que el índice no disminuyó en las pastas tratadas con pimentón (ajuste lineal no significativo, $P > 0,05$), pero en las pastas sin pimentón la disminución ($P < 0,01$) fue evidente y respondió a la forma lineal. Estos resultados, sumados a la no significación ($P > 0,05$) de las interacciones pimentón*tiempo para las coordenadas a^* y b^* , tal como se describió al tratarlas en forma individual, confirman que los componentes rojos perdidos durante el amasado reposo pertenecían al magro y no a la especia.

A pesar que el aporte de componentes rojos y amarillos por parte del pimentón enmascararon el color de las pastas, los resultados del índice a^*/b^* fueron capaces de evidenciar que la pérdida de los pigmentos se produjo a nivel del magro.



Gráfica 25: Interacción tiempo*pimentón para el índice de rojez (a^*/b^*) durante la etapa de amasado-reposo.

Ácido láctico

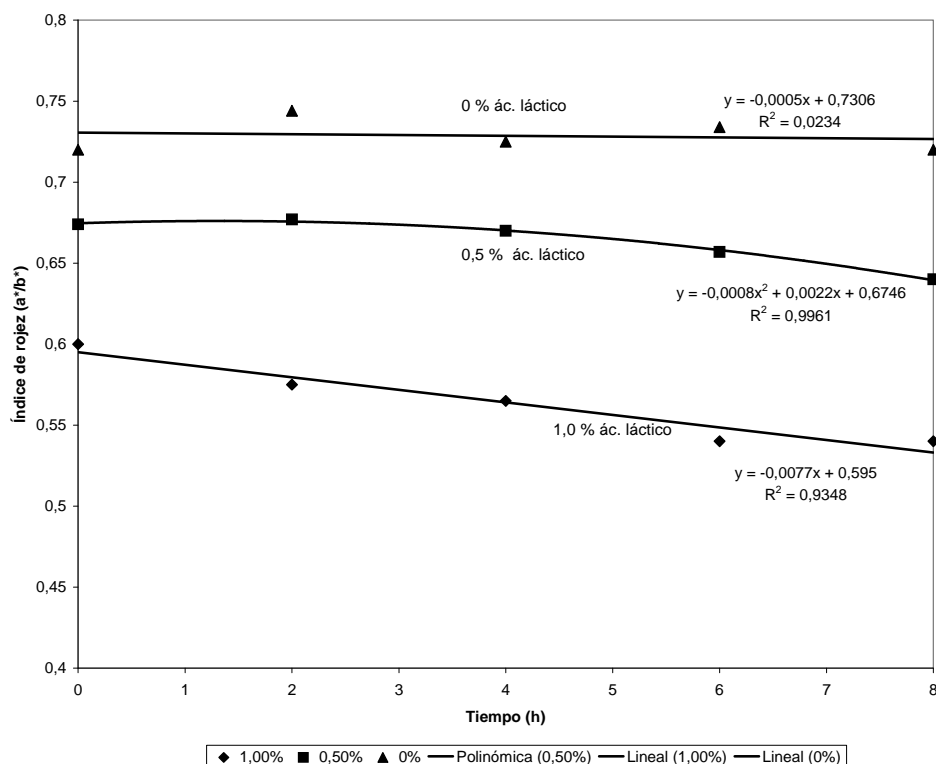
La rojez de las pastas se vio modificada por el efecto simple del ácido láctico (tabla 20, $P < 0,01$), partiendo de un valor promedio de 0,73 para las pastas sin ácido, la rojez descendió a 0,66 y a 0,56 tras la adición de 0,5 % y 1,0 % respectivamente. El test de Tukey demostró la existencia de diferencias significativas ($P < 0,01$) entre las tres concentraciones ensayadas (0 %, 0,5 % y 1,0 %).

El descenso del índice está relacionado, principalmente, con el aumento de la coordenada b^* por el efecto simple del ácido láctico y, además, por la disminución de la coordenada a^* al incorporar el 1 % de este aditivo, tal como se describió al estudiar cada una de dichas coordenadas.

Estos resultados coinciden con las observaciones realizadas por Fernández-López (1998) durante el estudio de pastas modelos de embutidos crudo-curados.

En la tabla 21 se observa que resultó significativa ($P < 0,01$) la interacción tiempo*ácido láctico, esto evidencia el efecto del tratamiento sobre la rojez de las pastas a lo largo de la etapa de amasado- reposo.

En la gráfica 26, la cual presenta dicha interacción, puede observarse que resultaron significativos el ajuste cuadrático ($P < 0,01$) y el ajuste lineal ($P < 0,05$) para el tiempo con 0,5 % y 1,0 % de ácido láctico respectivamente. Al analizar la coordenada a^* y b^* por separado se observó que solo resultó significativa la interacción tiempo*ácido láctico para esta última, lo cual estaría indicando que la evolución registrada en el índice de rojez durante la etapa amasado reposo corresponde a la evolución de la coordenada b^* .



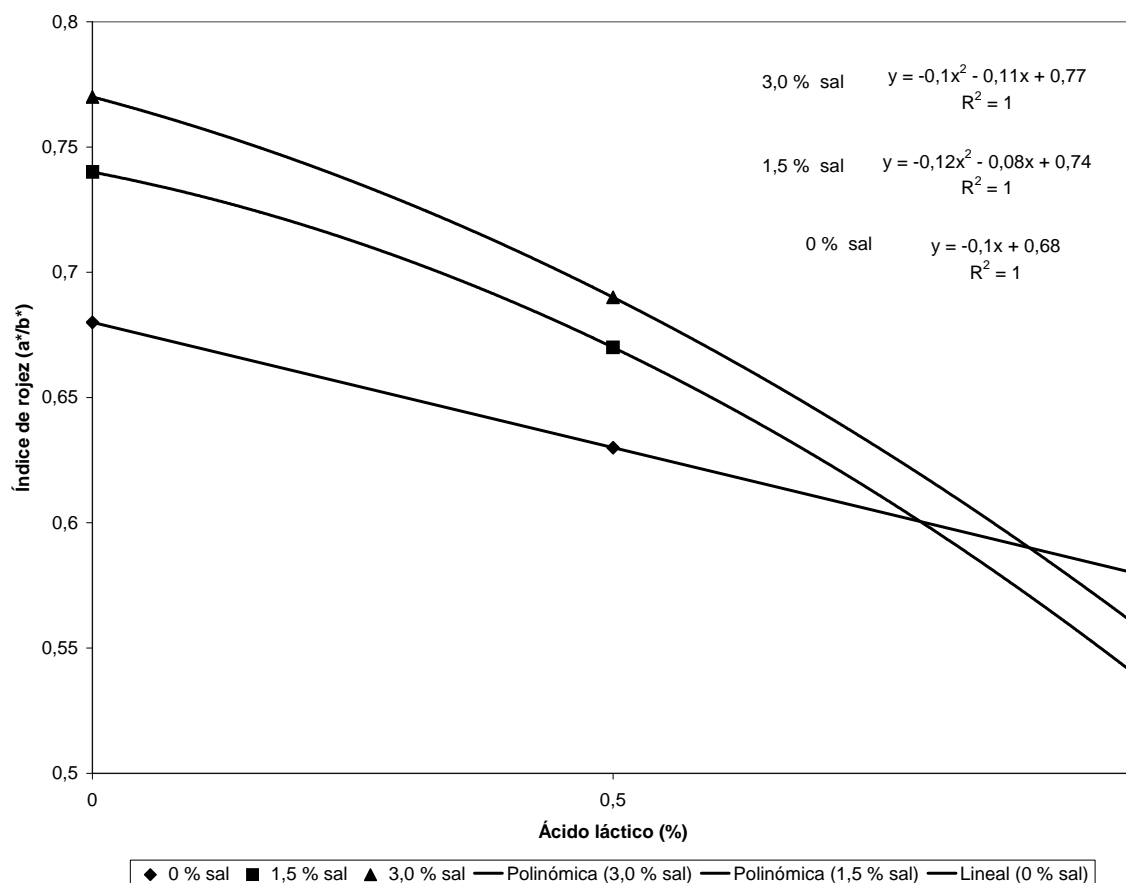
Gráfica 26: Interacción tiempo*ácido láctico para el índice de rojez (a^*/b^*) durante la etapa de amasado-reposo.

Cloruro de sodio

La adición de cloruro de sodio (sal) modificó el a^*/b^* de las pastas cárnicas ($P < 0,01$, tabla 20). Las diferencias encontradas resultaron significativas ($P < 0,01$, test de Tukey) entre las pastas sin sal y las tratadas con la mayor concentración de sal (3,0 %), pero no entre éstas y las adicionadas con 1,5 % de sal. Así, la rojez aumentó desde un valor promedio de 0,63 a 0,65 y a 0,67 para 0 %, 1,5 % y 3,0 % de sal respectivamente.

Al analizar el efecto simple de la sal sobre las coordenadas a^* y b^* se observó que en ambos caso se produjo un disminución conforme se incrementó la concentración adicionada, por lo tanto, el incremento del índice a^*/b^* indica que el efecto de a sal es más importante sobre la coordenada b^* que sobre la a^* .

En la tabla 20 se observa que resultó significativa la interacción sal*ácido láctico ($P < 0,01$), la cual se representa en la gráfica 27. En dicha gráfica se evidencia, que cuando el ácido láctico estuvo ausente la rojez de las pastas fue mayor cuanto mayor concentración de sal se incorporó, no existiendo diferencias ($P > 0,05$) entre los tratamientos con 0,5 y 1 % de sal, esto coincide con lo observado al tratar el efecto simple de la sal sobre el a^*/b^* . Cuando el ácido láctico fue incorporado a las pastas el índice a^*/b^* disminuyó ($P < 0,05$), manteniendo las diferencias antes descritas para las pastas con y sin sal. Los menores valores de a^*/b^* se obtuvieron al agregar el 1 % del ácido, perdiéndose las diferencias ($P > 0,05$) entre las pastas con y sin sal, lo cual demuestra un efecto predominante del ácido sobre la sal. La interacción sal*ácido láctico para la coordenada a^* no resultó significativa, lo cual evidencia que la disminución del índice a^*/b^* al incorporar mayores concentraciones de ácido se debió a su efecto sobre la coordenada b^* .



Gráfica 27: Interacción sal*ácido láctico para el índice de rojez (a^*/b^*).

Tripolifosfato de sodio

El tripolifosfato de sodio modificó los valores del índice de rojez ($P < 0,01$, tabla 20). Los valores promedio fueron desde 0,62 para las pastas sin fosfato, a 0,67 y 0,66 para las tratadas con 0,15 % y 0,30 % de fosfato respectivamente. El test de Tukey señaló que las diferencias en el a^*/b^* fueron significativas ($P < 0,01$) entre las pastas sin fosfato (0 %) y las con fosfato (0,15 % y 0,30 %), pero no entre estas últimas ($P > 0,05$).

Teniendo en cuenta que el efecto simple de este aditivo sobre la coordenada b^* produjo diferencias muy pequeñas, el aumento del índice de rojez de las pastas estaría relacionado con el incremento de la coordenada a^* .

La interacción tiempo*fosfato no resultó significativa ($P > 0,05$, tabla 21). Así, la acción del aditivo se produjo en el momento de su adición a las pastas cárnicas, no registrándose modificaciones en la rojez a lo largo de la etapa de estudio.

Picado

El picado afectó los valores del a^*/b^* de las pastas estudiadas ($P < 0,01$, tabla 20). El valor promedio para el picado fino fue de 0,60 y para los picados con placa (10 mm y 20 mm) de 0,67. Así mismo, el test de Tukey observó diferencias significativas ($P < 0,01$) entre el picado fino y los picados con placa, pero no entre estos últimos ($P > 0,05$).

Al analizar el efecto del picado sobre las coordenadas a^* y b^* se observó que en ambos casos los valores resultaron mayores con el picado fino, por lo tanto, el menor valor de a^*/b^* para dicho picado indica que el efecto fue más importante sobre la coordenada b^* que sobre la a^* .

Pérez-Álvarez (1996) señaló que el índice a^*/b^* es un parámetro de color muy sensible a los cambios provocados en el magro como consecuencia de los tratamientos tecnológicos a los que se somete la carne durante su procesado.

La interacción tiempo*picado no resultó significativa ($P > 0,05$, tabla 21), lo cual evidencia que el efecto del picado se produjo en el mismo momento de realizarlo y no evolucionó durante la etapa de amasado-reposo.

V.2.5- Análisis de la variable Tono (H*)

En la tabla 22 se presentan los resultados del Análisis Multivariante (MANOVA) realizado para evaluar el efecto de los distintos tratamientos realizados sobre la magnitud psicofísica Tono (H*) de las pastas de carne. Se observa que resultaron significativos ($P < 0,01$) los efectos simples del pimentón, ácido láctico, sal, fosfato y picado, así como la interacción sal*ácido láctico. También resultó significativa ($P < 0,05$) la interacción ácido láctico*pimentón.

Tabla 22- Resultados significativos del MANOVA realizado para la magnitud psicofísica Tono (H*) considerando los factores pimentón (3 niveles), picado (3 niveles), ácido láctico (3 niveles), sal (3 niveles), fosfato (3 niveles), y sus interacciones.

Factor	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	Valor F	Probabilidad Pr > F
pimentón	3,0918	2	1,5459	600,67	< 0,0001
ácido láctico	0,5695	2	0,2847	110,64	< 0,0001
sal	0,0337	2	0,0168	6,54	0,0021
fosfato	0,0648	2	0,0324	12,59	< 0,0001
picado	0,1263	2	0,0632	24,54	< 0,0001
ác. láctico*pimentón	0,0353	4	0,0088	3,43	0,0112
sal*ácido láctico	0,0611	4	0,0153	5,93	0,0002
Residual	1,3640	106	0,0129		

En la tabla 23 se presentan los resultados del Análisis Multivariante (MANOVA) realizado para evaluar el efecto del factor tiempo sobre el tono (H*) de las

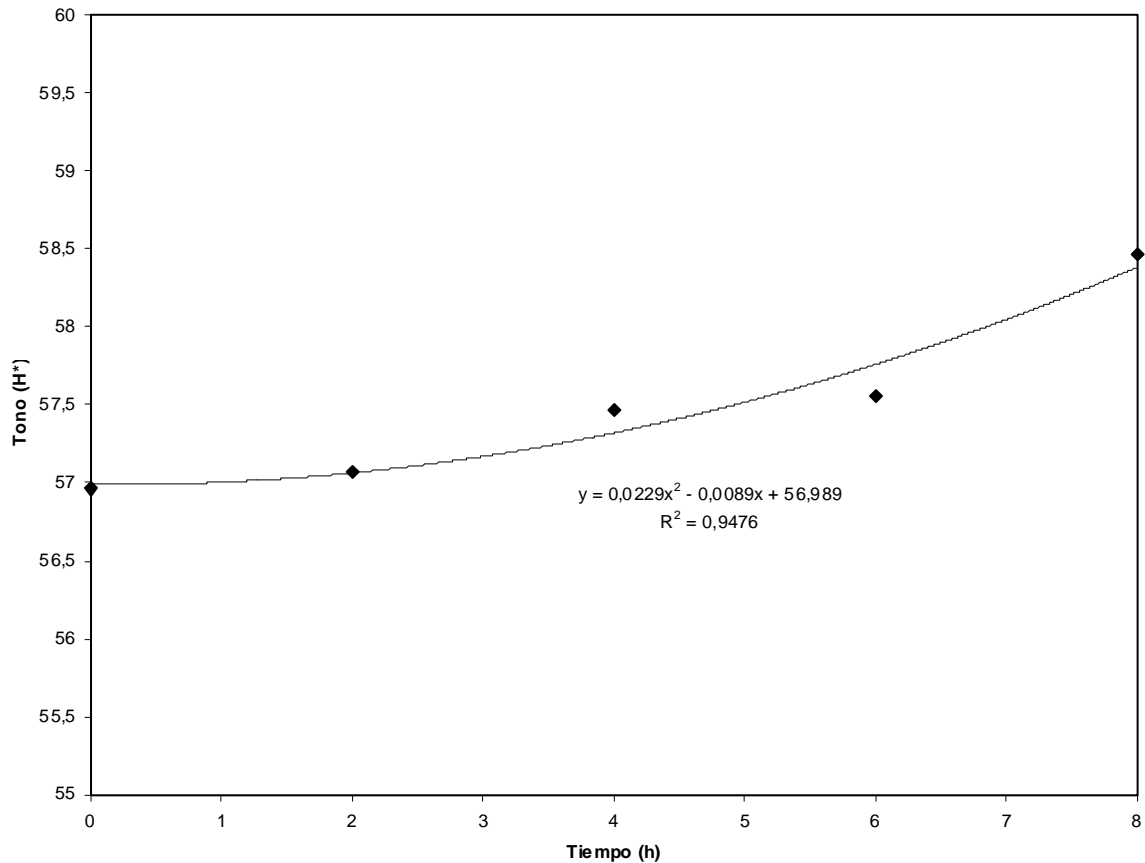
pastas de carne estudiadas. Se observa que sólo resultaron significativos ($P < 0,01$) el efecto simple del tiempo y las interacciones tiempo*pimentón y tiempo*ácido láctico.

Tabla 23- Resultados significativos del MANOVA realizado para la magnitud psicofísica tono (H^*) considerando el factor tiempo (5 niveles: 0-2-4-6-8 h) y sus interacciones con los demás factores (tratamientos) estudiados.

Factor	Valor	Valor F	Grados de Libertad Numerador	Grados de Libertad Denominador	Estadístico Wilk's Lambda (Pr > F)
tiempo	0,5545	20,69	4	103	< 0,0001
tiempo*pimentón	0,7413	4,16	8	208	0,0002
tiempo* ác.láctico	0,6772	5,54	8	206	< 0,0001

En la gráfica 28 se representa la evolución del H^* durante la etapa de amasado-reposo. En ella se puede observar que el aumento ($P < 0,05$) de dicha variable en función del tiempo de estudio presentó una forma cuadrática. De acuerdo al diseño experimental planteado, la evolución de esta coordenada en el tiempo se realiza como un promedio de todos los tratamientos estudiados. A pesar de ser evidente el aumento, en especial a medida que avanzó el estudio, el tono permaneció dentro de los valores del naranja-rojizo durante toda la etapa de amasado-reposo (Instituto Nacional de Racionalización, 1981).

El tono (H^*) está directamente relacionado con la concentración de Mb. Cuando la concentración del hemopigmento aumenta produce una disminución de los valores del H^* indicando ue el color se vuelve más rojo (Pérez-Álvarez *et al.*, 1999b).



Gráfica 28: Evolución de la magnitud psicofísica tono (H*) durante la etapa de amasado-reposo.

Pimentón

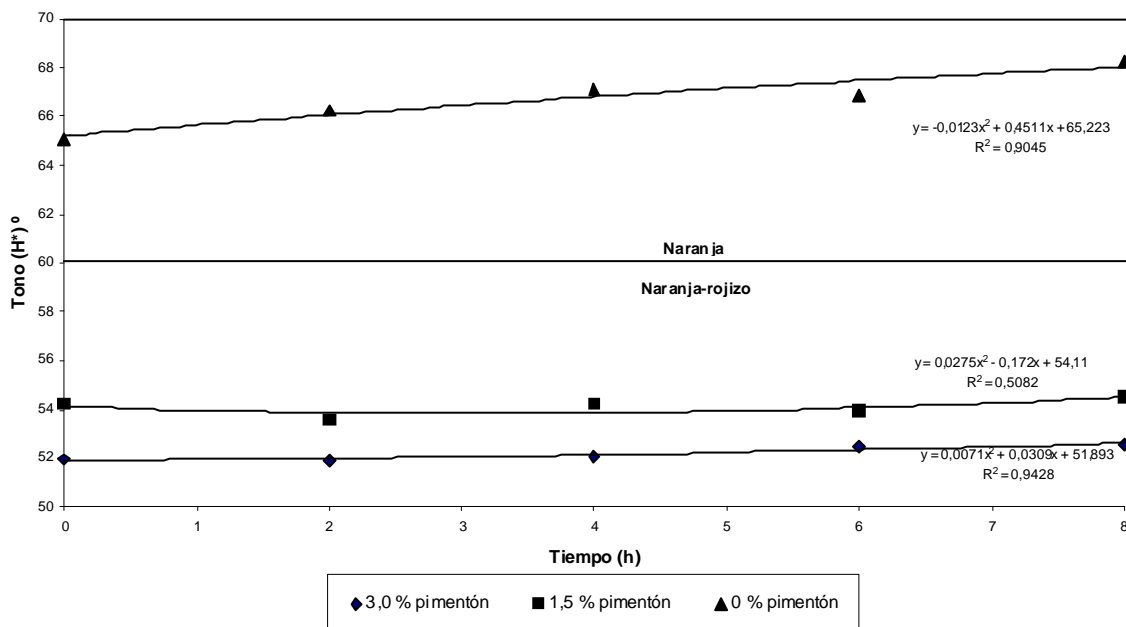
El tono (H*) de las pastas estudiadas se vio afectado por la incorporación del pimentón, encontrándose diferencias significativas (test de Tukey, $P < 0,01$) entre las tres concentraciones estudiadas: $H^* = 65,03$ (0 %), $H^* = 54,12$ (1,5 %) y $H^* = 52,15$ (3,0 %), demostrando un claro descenso del tono de las pastas al aumentar la concentración de la especia incorporada.

En la gráfica 29 se representa la interacción tiempo*pimentón, la cual resultó significativa ($P < 0,01$). En dicha gráfica se puede observar que el tono de las pastas sin pimentón se ubicó dentro del rango de los naranja-amarillento y, a pesar de experimentar un aumento ($P < 0,05$), se mantuvo dentro de este rango durante todo el

período de estudio. Por otra parte, el tono de las pastas adicionadas de pimentón se ubicó en la zona de los naranja-rojizos permaneciendo en esos valores durante todo el estudio, a pesar de que las muestras tratadas con 3,0 % de pimentón mostraron un aumento ($P < 0,05$) de esta magnitud a medida que transcurrió la experiencia.

Estudios realizados en sistemas cárnicos formulados con pastas finas de pescado (Sáez, 1997) mostraron un efecto similar sobre el H^* , provocando un descenso tras la incorporación de 2,5 % de pimentón.

En la gráfica 29 se puede observar que, en este estudio, la incorporación del pimentón disminuyó los valores del tono de las pastas en las dos concentraciones adicionadas (1,5 % y 3 %) desde el rango de los naranja-amarillentos a valores comprendidos en el rango de los naranja-rojizos (Instituto Nacional de Racionalización, 1981).



Gráfica 29: Interacción tiempo*pimentón para la magnitud psicofísica tono (H^*).

Ácido láctico

El tono de las pastas estudiadas fue modificado tras la adición de ácido láctico ($P < 0,01$, tabla 22). El test de Tukey señaló diferencias significativas ($P < 0,01$) entre las tres concentraciones de ácido ensayadas: $H^* = 54,59$ (0 %), $H^* = 56,11$ (0,5 %) y $H^* = 59,31$ (1,0 %), demostrando un claro aumento conforme se utilizaron mayores concentraciones del aditivo.

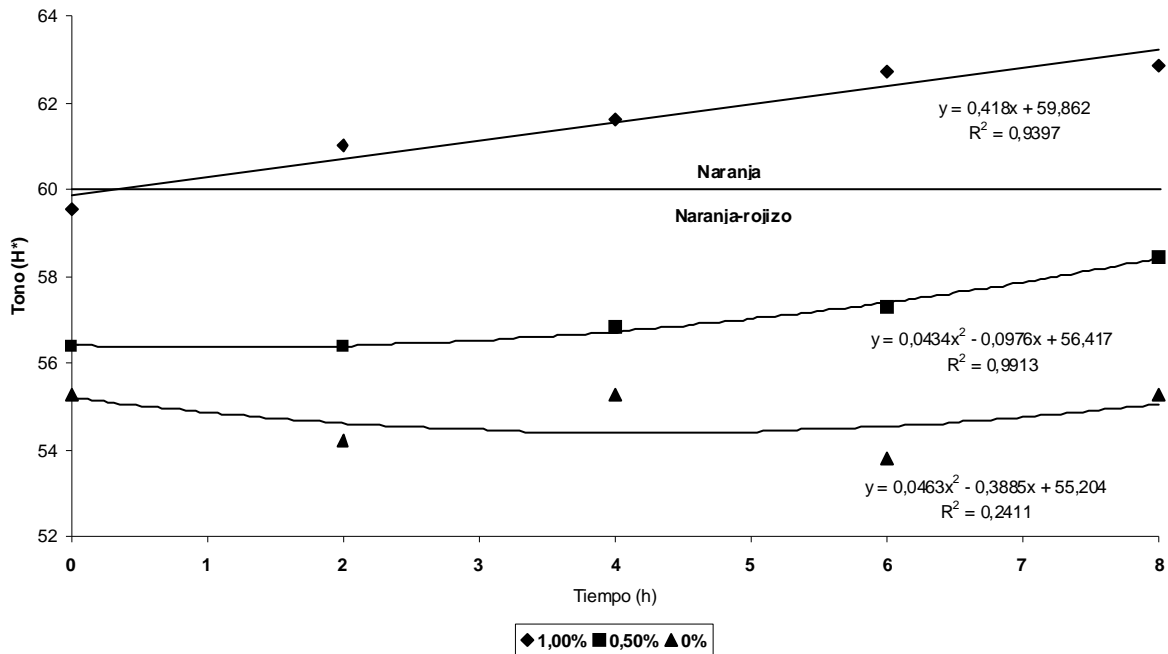
En la gráfica 30 se representa la interacción tiempo*ácido láctico, la cual resultó significativa ($P < 0,01$, tabla 23). Al analizar los valores de H^* a tiempo cero se observa que la incorporación del ácido láctico elevó los mismos, efecto que fue muy marcado al incorporar la máxima cantidad del ácido.

El tono de las pastas sin ácido láctico se ubicó dentro del rango del naranja-rojizo y se mantuvo sin modificación dentro de estos valores ($P > 0,05$). Por otra parte, el tono de las pastas adicionadas con 0,5 % del ácido, si bien se mantuvo durante todo el período de estudio dentro del mismo rango de las anteriores, presentó una tendencia a aumentar ($P < 0,01$), en especial hacia el final de la etapa de amasado reposo. En el caso de las pastas adicionadas con 1,0 % del ácido el aumento respondió a una forma lineal ($P < 0,05$), ubicándose en el rango de los naranja-amarillentos (Instituto Nacional de Racionalización, 1981).

El tono de las pastas en estudio depende de la concentración de Mb (Pérez-Álvarez *et al.*, 1997), del estado de la misma (Johansson *et al.*, 1991) y del pimentón adicionado.

El descenso del pH logrado por la adición de ácido láctico provocó un cambio en las proporciones de los distintos pigmentos que componen el color de las pastas, haciendo que los componentes amarillos adquieran mayor preponderancia que los rojos.

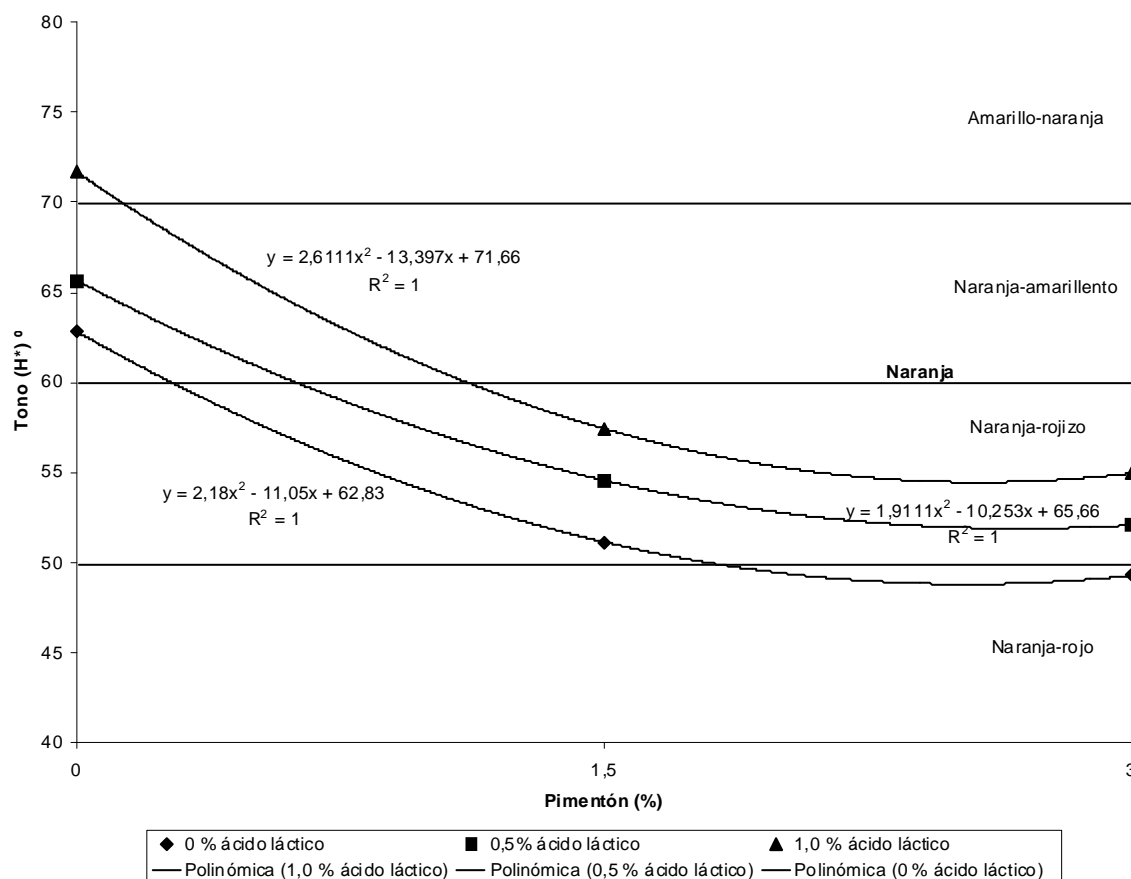
Esto estaría demostrando una acción del ácido en detrimento de los componentes rojos del color de las pastas, tanto del pimentón como del magro.



Gráfica 30: Interacción tiempo*ácido láctico para la magnitud psicofísica tono (H*).

La interacción ácido láctico*pimentón resultó significativa ($P < 0,05$, tabla 22), la cual está representada en la gráfica 31. En ella se observa que en las pastas sin pimentón se produjo un aumento del tono tras la incorporación del ácido láctico, resultando significativas ($P < 0,01$) las diferencias entre las tres concentraciones. El mayor valor se alcanzó con el tratamiento de 1 % ($H^* = 71,71$), en el cual el tono se ubicó en el rango del amarillo-naranja, mientras que con 0,5 % de ácido el tono se mantuvo en el rango del naranja-amarillento ($H^* = 65,54$). Este fenómeno coincide con el análisis anterior y resulta del efecto simple del ácido sobre la proporción de los pigmentos de la carne.

Por otra parte, se observa que existió una disminución ($P < 0,01$) de H^* al incorporar el pimentón en las dos concentraciones estudiadas. Este efecto seguramente es debido al aporte de pigmentos por parte del pimentón y estaría evidenciando un mayor aporte de componentes que amarillos. Estos resultados están demostrando, además, la existencia de un efecto antagónico del ácido frente al del pimentón, el cual es puesto de manifiesto por la interacción y, a las concentraciones estudiadas, el predominio del efecto de la especia sobre el aditivo.



Gráfica 31: Interacción ácido láctico*pimentón para la magnitud psicofísica tono (H^*).

Cloruro de sodio

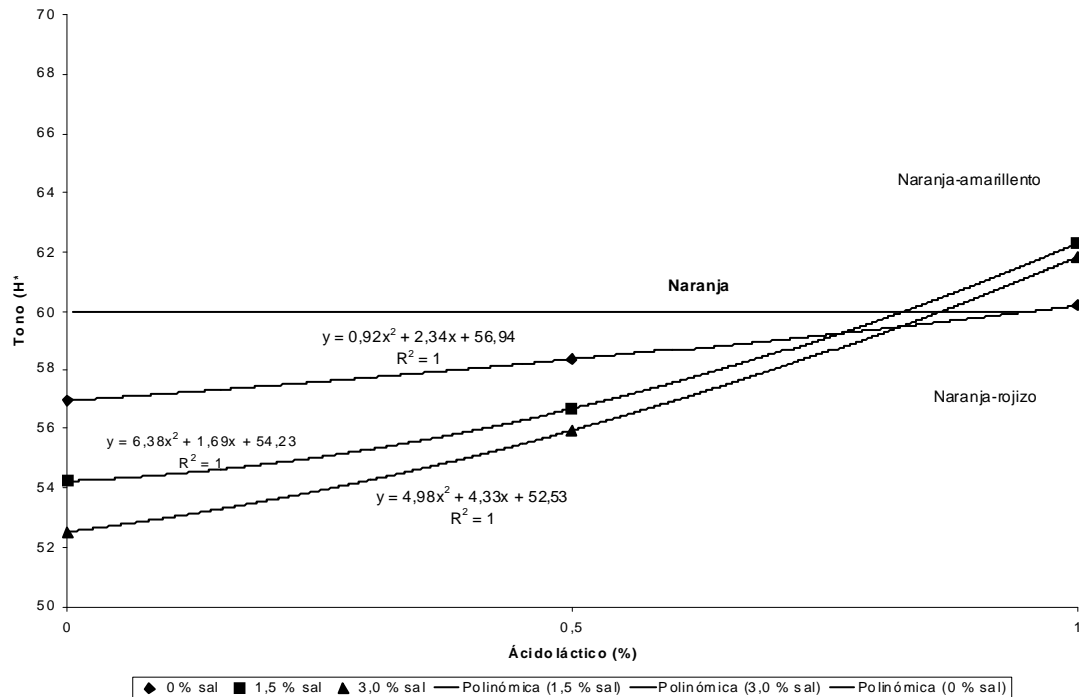
El tono (H^*) de las pastas estudiadas se vio afectado por la incorporación de cloruro de sodio (sal), resultando significativas ($P < 0,01$, tabla 22) las diferencias entre las pastas sin sal ($H^* = 58,44$) y las tratadas con 3,0 % del aditivo ($H^* = 56,80$). Por el contrario, no resultaron significativas ($P > 0,05$) las diferencias entre las pastas tratadas con 1,5 % ($H^* = 57,77$) y 3,0 % de sal.

La interacción tiempo*sal no resultó significativa ($P > 0,05$, tabla 23), lo cual evidencia un efecto de la sal sobre el tono de las pastas en el momento de su incorporación a las mismas, no registrándose cambios a lo largo de la etapa de estudio.

En la gráfica 32 se representa la interacción sal*ácido láctico la cual resultó significativa ($P < 0,01$, tabla 22). Al analizar los valores de H^* de las pastas no tratadas con ácido se observa que la incorporación de la sal disminuyó los valores del tono, pero en todos los casos se mantuvo dentro del rango de los naranja-rojizos. Partiendo de valores de $H^* = 56,54$, el tono de las pastas disminuyó a $H^* = 54,46$ (1,5 % sal) y $H^* = 52,77$ (3,0 % sal). La gráfica muestra, además, que al incorporar el ácido existió una tendencia a incrementar los valores de H^* en todas las pastas, tratadas o no con sal. Dicho aumento resultó significativo ($P < 0,01$) sólo entre las pastas sin ácido y aquellas que fueron adicionadas con el 1,0 % de ácido láctico, independientemente de la incorporación o no de sal.

Por otra parte, se evidencia el efecto antagónico de la sal y del ácido láctico sobre esta variable. Mientras que el tono de las pastas tratadas solo con sal se mantuvo en el rango de los naranja-rojizos, la adición de 1,0 % de ácido determinó que el tono de las pastas alcanzara valores correspondientes a la zona de los naranja-amarillentos. Esto estaría demostrando, nuevamente, una acción del ácido sobre la proporción de los

pigmentos rojos de las pastas, probablemente como consecuencia de un deterioro de los mismos.



Gráfica 32: Interacción sal*ácido láctico para la magnitud psicofísica tono (H^*).

Tripolifosfato de sodio

El tono (H^*) de las pastas estudiadas se vio afectado ($P < 0,01$, tabla 22) por la incorporación del tripolifosfato de sodio, resultando significativas ($P < 0,01$, test de Tukey) las diferencias entre las pastas sin fosfato ($H^* = 58,98$) y las tratadas con el aditivo ($H^* = 56,86$ para 0,15 % y $H^* = 57,16$ para 0,30 %), pero no entre estas últimas ($P > 0,05$).

A pesar de resultar significativas esas diferencias el tono de las pastas se mantuvo siempre dentro de los valores correspondientes al rango de los naranjas-rojizos.

La interacción tiempo*fosfato no resultó significativa ($P > 0,05$, tabla 23), lo cual pone de manifiesto una acción del aditivo sobre el tono de las pastas en el momento de su incorporación, no verificándose una evolución a lo largo de la etapa de amasado-reposo.

Picado

El tono (H^*) de las pastas estudiadas se vio afectado por el factor picado, resultando significativas ($P < 0,01$, tabla 22) las diferencias entre el picado fino ($H^*=59,52$) y los picados con placa ($H^*=56,80$ para 10 mm y $H^*=56,69$ para 20 mm), pero no entre estos últimos ($P > 0,05$).

A pesar de resultar significativas las diferencias antes mencionadas, el H^* de las pastas se ubicó en el rango de los naranjas-rojizos, independientemente del nivel de picado aplicado (Instituto Nacional de Racionalización, 1981).

Un comportamiento similar al descrito se observó al estudiar el tono del magro durante la operación de picado de magros de ternera y pollo (Cartagena, 1997; Pérez-Álvarez *et al.*, 1997).

La interacción tiempo*picado no resultó significativa ($P > 0,05$, tabla 23), lo cual indica que la H^* de las pastas no se modificó durante la etapa de amasado reposo por efecto del tipo de picado utilizado.

V.2.6- Análisis de la magnitud psicofísica croma (C^*)

En la tabla 24 se presentan los resultados del Análisis Multivariante (MANOVA) realizado para evaluar el efecto de los distintos tratamientos realizados sobre la magnitud psicofísica croma (C^*) de las pastas cárnicas. Se observa que

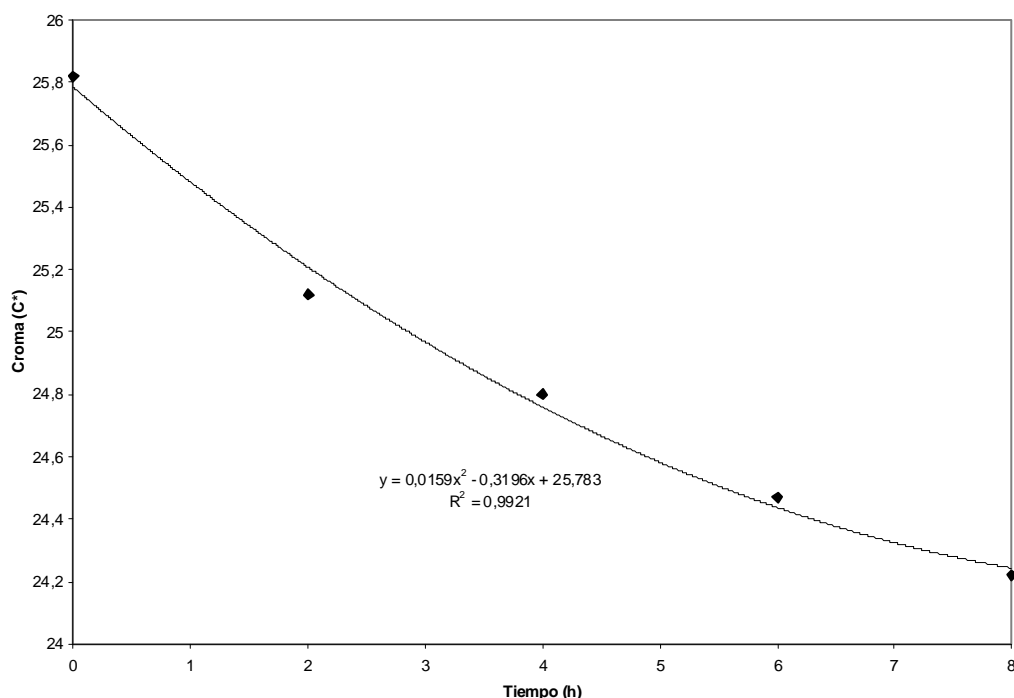
resultaron significativos ($P < 0,01$) los efectos simples del pimentón, ácido láctico, sal, fosfato y picado, así como las interacciones ácido láctico*pimentón, sal*pimentón, sal*ácido láctico, y picado*ácido láctico. También resultaron significativas ($P < 0,05$) las interacciones fosfato*ácido láctico y fosfato*sal*pimentón.

Tabla 24.- Resultados significativos del MANOVA realizado para la magnitud psicofísica croma (C*) considerando los factores pimentón (3 niveles), picado (3 niveles), ácido láctico (3 niveles), sal (3 niveles), fosfato (3 niveles), y sus interacciones.

Factor	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	Valor F	Probabilidad Pr > F
pimentón	74938,0731	2	37469,0365	3055,02	< 0,0001
ác. láctico	1480,9301	2	740,4650	60,37	< 0,0001
sal	1420,9104	2	710,4552	57,93	< 0,0001
fosfato	218,0176	2	109,0088	8,89	0,0003
picado	1970,9483	2	985,4741	80,35	< 0,0001
ác. láctico*pimentón	303,0071	4	75,7518	6,18	0,0002
sal*pimentón	264,2083	4	66,0521	5,39	0,0005
sal*ácido láctico	242,8872	4	60,7218	4,95	0,0011
fosfato*ác. láctico	166,3250	4	41,5813	3,39	0,0119
picado*ác. láctico	322,3668	4	80,5917	6,57	< 0,0001
fosfato*sal*pimentón	219,6722	8	27,4590	2,24	0,0300
Residual	1300,0638	106	12,2647		

Al realizar el Análisis Multivariante (MANOVA) para evaluar el efecto del factor tiempo sobre la magnitud psicofísica croma (C^*) de las pastas cárnicas, se observó que sólo resultó significativo ($P < 0,01$) el efecto simple del tiempo.

En la gráfica 33 se representa la evolución de la magnitud psicofísica C^* durante la etapa de amasado-reposo. En ella se puede observar la disminución ($P < 0,01$) de la variable en estudio lo que demuestra el aumento de la componente gris de las pastas a lo largo del período de estudio. La forma cuadrática del ajuste pone en evidencia que el descenso fue más importante en las primeras horas del estudio.



Gráfica 33: Evolución de la magnitud psicofísica Croma (C^*) a lo largo de la etapa de amasado-reposo.

El Croma en los productos cárnicos está asociado normalmente al comportamiento de la componente rojo-verde (a^*) o de la componente amarillo-azul (b^*); se considera a^* ó b^* dependiente, es decir, que su evolución dependerá de los factores que condicionan el comportamiento de dichas coordenadas (Pérez-Álvarez, 1999b; Fernández-Gines, 2001; Alesón-Carbonell, 2002).

En este estudio, el comportamiento del croma durante la etapa de amasado reposo resultó muy similar al observado para la coordenada b^* . Esta magnitud depende tanto de la saturación del magro como de la del pimentón. De esta forma su evolución debe estar relacionada directamente con la concentración de Mb presente en el músculo o pieza anatómica (Johansson *et al.*, 1991), el estado de la Mb, y la concentración y tipo de pigmentos del pimentón. La disminución del valor de esta magnitud psicofísica se produce cuando se incrementa la proporción de MetMb (Pérez-Álvarez *et al.*, 1997) y cuando disminuye la saturación del pimentón por alteración de los pigmentos que aporta dicha especia. Teniendo en cuenta que la interacción tiempo*pimentón para la coordenada b^* no resultó significativa (tabla 19), se puede asumir que el descenso de la magnitud psicofísica C^* de las pastas durante la etapa de amasado reposo estaría relacionada con un aumento de la proporción de la MetMb del magro, situación que fue contemplada al analizar el efecto simple de la coordenada b^* .

Pimentón

La magnitud psicofísica C^* de las pastas estudiadas se modificó tras la incorporación de pimentón ($P < 0,01$, tabla 24), observándose diferencias significativas ($P < 0,01$, test de Tukey) entre las tres concentraciones estudiadas: (0 %, 1,5 % y 3,0 %).

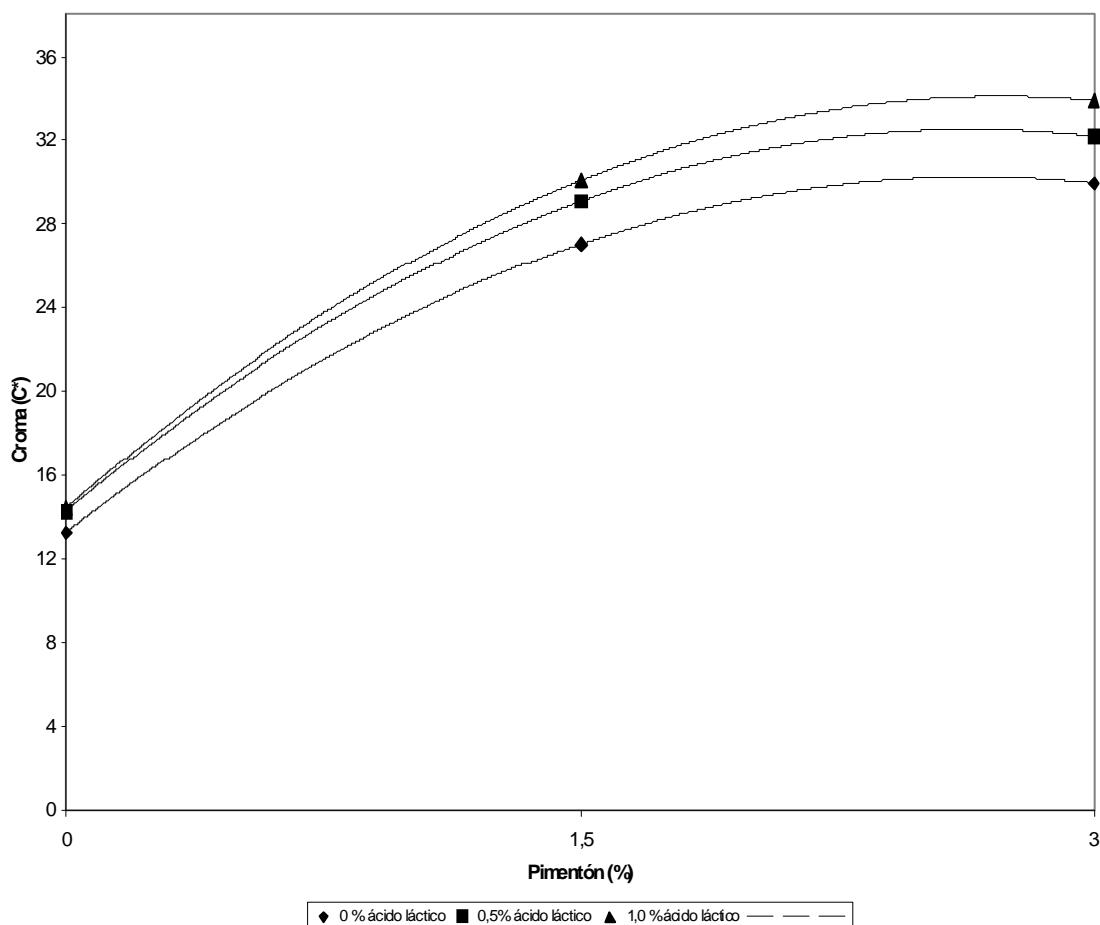
El valor de C^* para las pastas sin pimentón fue de 13,93 y de 28,72 y 31,98 para las pastas tratadas con 1,5 y 3,0 % de la especia, respectivamente. El aumento del C^* tras la incorporación de pimentón fue muy notable y evidencia un incremento en la saturación de las pastas tras la incorporación de la especia, independientemente de la concentración utilizada.

Ácido láctico

El Croma (C*) de las pastas estudiadas se vio modificado por el ácido láctico incorporado ($P < 0,01$, tabla 24). El test de Tukey demostró la existencia de diferencias significativas entre el valor de C* de las pastas no tratadas con ácido y las adicionadas con 0,5 % y 1,0 % del aditivo.

En la gráfica 34 se representa la interacción ácido láctico*pimentón, la cual resultó significativa ($P < 0,01$, tabla 24). Se puede observar que en las pastas sin pimentón el croma aumentó ($P < 0,01$) al incorporar el ácido, pero no resultaron significativas ($P > 0,05$) las diferencias entre las pastas tratadas con 0,5 % y 1,0 % de dicho aditivo. Esto está poniendo en evidencia que el ácido láctico aumenta la saturación de las pastas y el efecto resulta similar con las dos concentraciones estudiadas.

Al incorporar 1,5 % de pimentón a las pastas se incrementaron ($P < 0,01$) los valores de C*, independientemente de que las pastas estuvieran o no tratadas con ácido láctico. Esto demuestra que el pimentón aumenta, al igual que el ácido, la saturación de las pastas estudiadas. En este caso mantuvieron las diferencias ($P < 0,01$) entre las pastas no tratadas con ácido y las adicionadas con el aditivo, de igual forma que cuando estuvo ausente el pimentón. Por otra parte, el incremento de C* al incorporar un 3,0 % de pimentón a las pastas no resultó significativo ($P > 0,05$) respecto de aquellas que fueron tratadas con 1,5 % de la especia, independientemente del tratamiento o no con ácido láctico.



Gráfica 34: Interacción ácido láctico*pimentón para la magnitud psicofísica croma (C*).

Tanto el aditivo como la especia aumentaron la saturación de las pastas. Sin embargo, el incremento de esta magnitud con el aumento de los niveles de ácido es pequeño, comparado con el producido por la sola adición de pimentón. Este efecto podría deberse al aporte de componentes rojos y amarillos que la especia realiza a las pastas estudiadas.

Cloruro de sodio

La magnitud psicofísica C* de las pastas estudiadas se modificó tras la incorporación de cloruro de sodio (sal) ($P < 0,01$, tabla 24), observándose diferencias

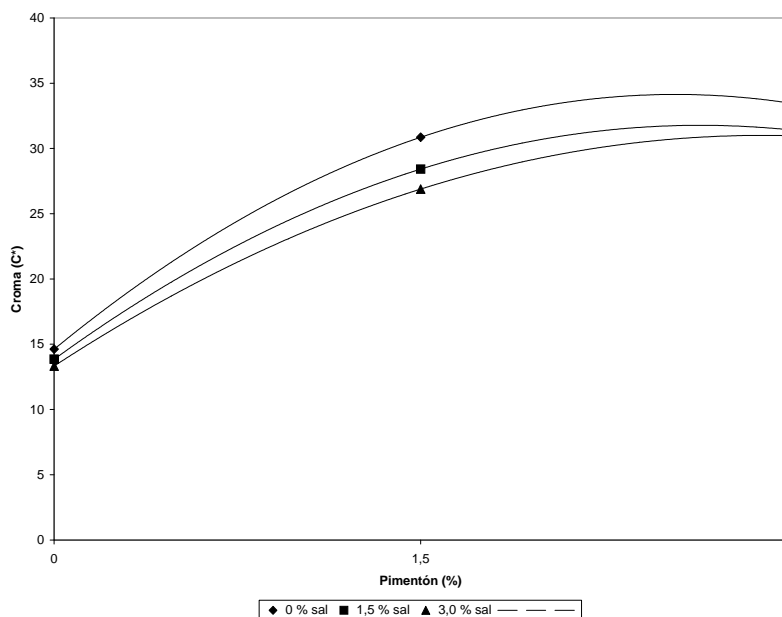
significativas ($P < 0,01$, test de Tukey) entre las pastas sin sal (0 %) y las tratadas con el aditivo (1,5 % y 3,0 %), pero no resultaron significativas las diferencias entre estas últimas. En promedio, resultaron superiores los valores de C^* en las muestras sin sal y disminuyeron conforme se incrementó la concentración de la misma (gráfica 35). Esto pone de manifiesto que la adición de sal disminuyó la saturación de las pastas, es decir, que aumentó la componente gris del color.

Alesón-Carbonell (2002) encontró que la saturación de los productos cárnicos crudo curado disminuía a lo largo del proceso de elaboración cuando se agregaba la sal, fenómeno que también fue descrito en otros productos cárnicos (Pagán *et al.*, 1992; Rosmini, 1997).

La Mb presente en el magro contribuye al valor de la magnitud C^* y, en teoría, su concentración permaneció constante durante toda la experiencia realizada. Por lo tanto, los cambios observados en C^* por efecto de la sal dependerían, principalmente, de las proporciones relativas de las tres formas de la Mb (Mb, OMb y MetMb), las cuales se estarían modificando por la incorporación de la misma (Fernández-López, 1998).

En la gráfica 35 se representa la interacción sal*pimentón para el C^* de las pastas de magro, la cual resultó significativa ($P < 0,01$, tabla 24). En la gráfica se observa que se mantuvieron los efectos simples y antagónicos tanto de la sal como del pimentón. Mientras la sal disminuyó la saturación, el pimentón la aumentó.

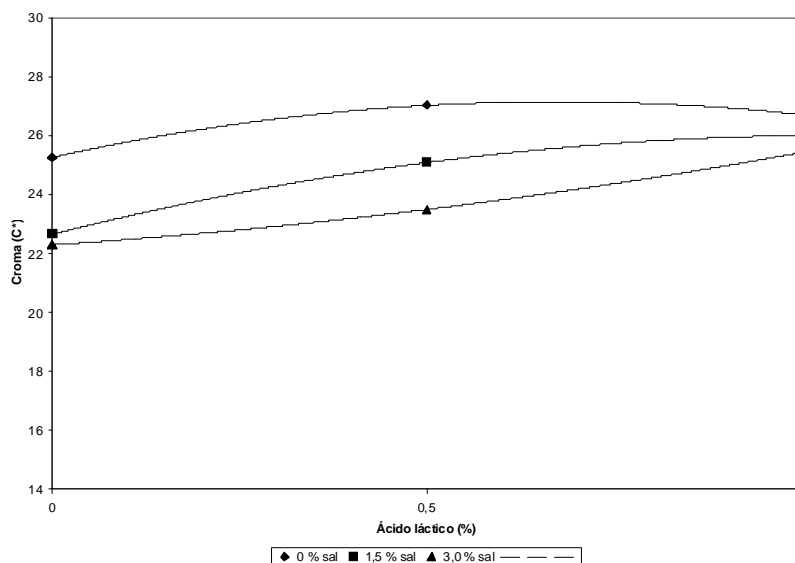
Cabe destacar que la incorporación de sal provocó variaciones del croma pequeñas si se comparan con las efectuadas por el agregado de pimentón. Los mayores valores de C^* se observaron en los tratamientos con la máxima concentración de pimentón y sin sal, no resultando significativas las diferencias ($P > 0,05$) entre las pastas tratadas 1,5 % y 3 % de sal y la máxima concentración de la especia.



Gráfica 35: Interacción sal*pimentón para la magnitud psicofísica cromina (C^*).

En la gráfica 36 se representa la interacción sal*ácido láctico para el C^* de las pastas de magro, la cual resultó significativa ($P < 0,01$, tabla 24). En la gráfica se observa que se mantuvieron los efectos simples y antagónicos, tanto de la sal como del ácido. Mientras la sal disminuyó la saturación, el ácido la aumentó a expensas de los componentes grises del color.

Puede observarse, además, que para la máxima concentración del ácido desaparecieron las diferencias significativas que se registraban entre las distintas concentraciones de sal. Esto estaría relacionado con el efecto desnaturizante del ácido sobre los pigmentos del magro.



Gráfica 36: Interacción sal*ácido láctico para la magnitud psicofísica croma (C*).

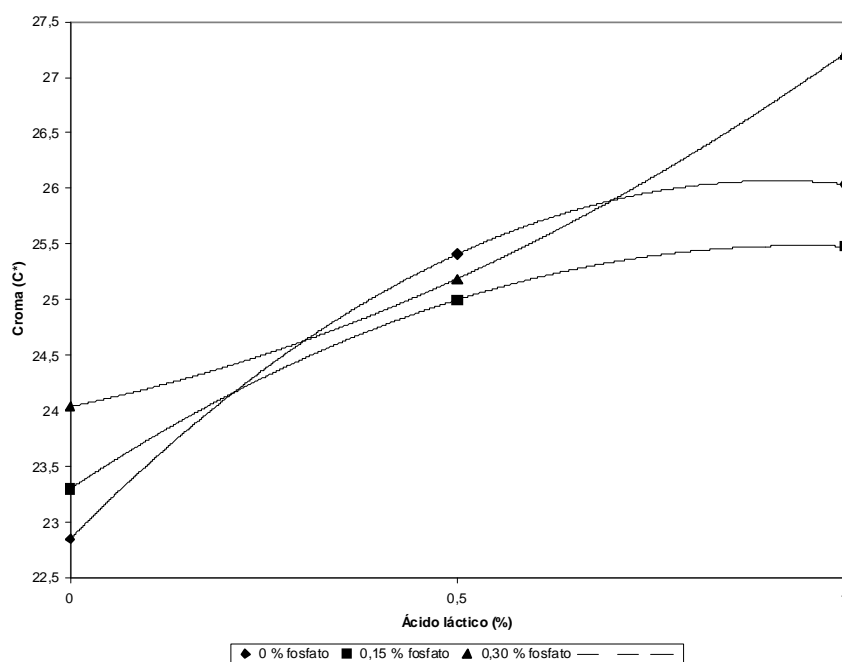
Tripolifosfato de sodio

La magnitud psicofísica C* de las pastas estudiadas aumentó tras la incorporación de tripolifosfato de sodio ($P < 0,01$, tabla 24). Las diferencias entre los valores del croma de las pastas estudiadas resultaron significativas ($P < 0,01$, test de Tukey) sólo cuando en los tratamientos se utilizó 0,30 % del aditivo. No fueron significativas ($P > 0,05$) las diferencias entre las pastas sin fosfato y con 0,15 % del aditivo.

Este efecto estaría demostrando que el aumento de la saturación de las muestras (disminución de la componente gris del color) con la adición de este aditivo, depende más de su concentración que de su presencia.

En la gráfica 37 se representa la interacción fosfato*ácido láctico para el C* de las pastas de magro estudiadas, la cual resultó significativa ($P < 0,05$, tabla 24). En dicha gráfica se observa que en ausencia de ácido láctico el fosfato aumentó el croma tal como se describió al analizar su efecto simple. Los valores de C* de las pastas

adicionadas con un 0,5 % de ácido láctico se incrementaron significativamente ($P < 0,01$, test de Tukey) respecto de los valores obtenidos en las pastas sin ácido. No obstante, con 0,5 % de ácido no resultaron significativas las diferencias ($P > 0,05$) entre los valores de C^* de las pastas estudiadas, independientemente de la concentración de fosfato utilizada. Al incorporar 1,0 % de ácido láctico el croma aumentó ($P < 0,01$, test de Tukey) sólo en la pasta tratada con la máxima concentración de fosfato (0,30 %). Este resultado está reforzando la observación que el efecto de este aditivo se manifiesta de forma especial cuando su concentración alcanza ciertos valores.

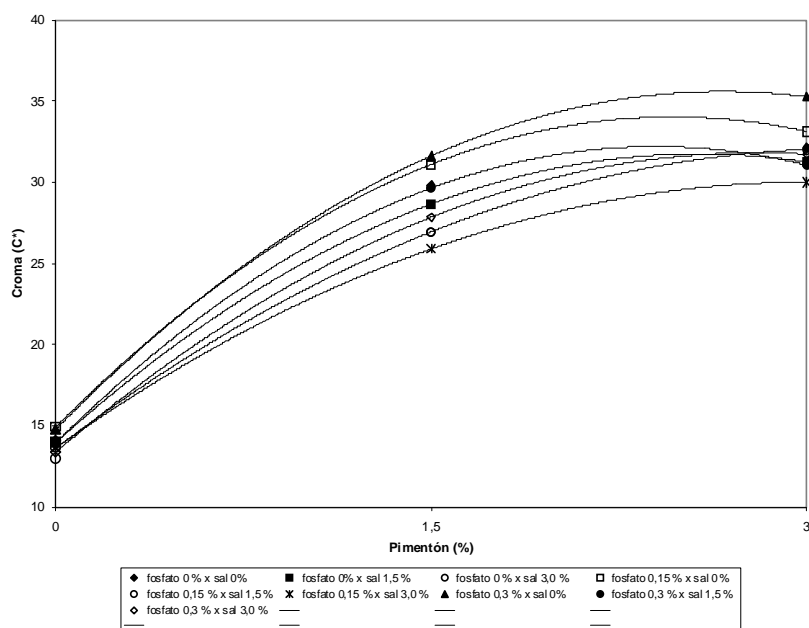


Gráfica 37: Interacción fosfato*ácido láctico para la magnitud psicofísica croma (C^*).

En la gráfica 38 se representa la interacción fosfato*sal*pimentón, la cual resultó significativa ($P < 0,05$, tabla 24). En ella puede observarse que no resultaron significativas ($P > 0,05$) las diferencias entre los distintos tratamientos aplicados a las pastas sin pimentón. Además, el C^* de las pastas aumentó ($P < 0,01$) conforme se

incrementó la concentración de la especia adicionada, independientemente del resto de los tratamientos estudiados.

Se puede observar, además, que los mayores valores de C^* se alcanzaron cuando se combinaron las máximas concentraciones de fosfato y pimentón, pero en ausencia de sal. Por el contrario, los menores valores de C^* se obtuvieron en las tratamiento en los cuales la sal estaba en sus máximas concentraciones, independientemente de las cantidades de pimentón y fosfato utilizado. Este comportamiento está coincidiendo con las observaciones que se realizaron al estudiar los efectos simples de cada uno de los ingredientes mencionados.



Picado

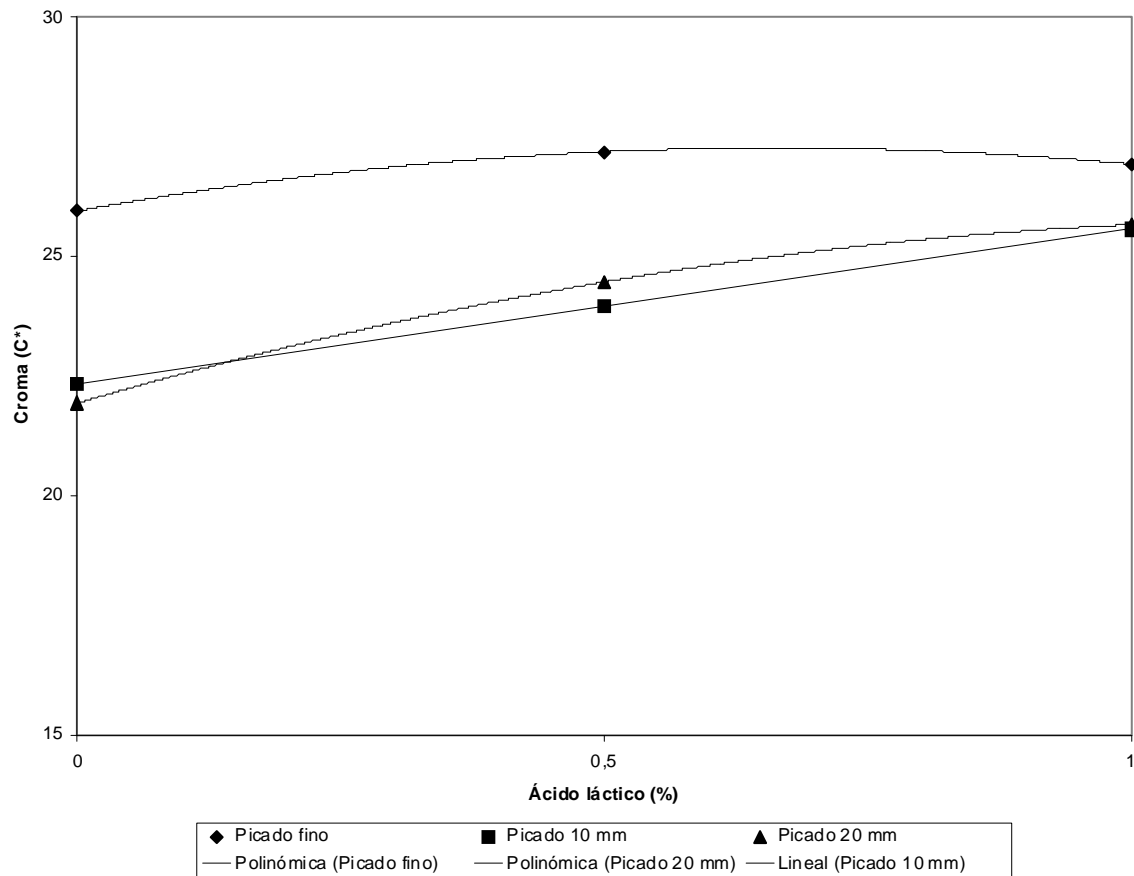
El picado modificó los valores de la magnitud psicofísica C^* de las pastas estudiadas ($P < 0,01$, tabla 24). Las diferencias entre los valores del croma de las pastas estudiadas resultaron significativas ($P < 0,01$, test de Tukey) entre el picado fino

(gráfica 39) y los picado con placa (10 mm y 20 mm), pero no entre éstas últimas ($P > 0,05$).

En estudios sobre el color del magro y vísceras de cerdo utilizadas en la elaboración de diferentes productos cárnicos se ha informado un aumento del croma por efecto del picado (Cartagena, 1997; Pérez- Álvarez *et al.*, 1997; Perlo, 1997). Esto podría estar en relación a la influencia que tienen sobre el croma tanto el tipo de picado como el tiempo que dura la acción mecánica (Garrido, 1997). En todos los casos, al igual que en el presente trabajo, se informó un aumento de la saturación de las pastas al aumentar la intensidad del picado, lo cual podría estar relacionado con la liberación de los pigmentos naturales a partir de la matriz de los tejidos por efecto de la destrucción mecánica y su posterior ubicación en una posición más superficial.

La interacción picado*ácido láctico resultó significativa ($P < 0,01$, tabla 24) y se representa en la gráfica 39. Puede observarse en la misma que en las pastas no tratadas con ácido láctico se mantuvieron las diferencias entre el picado fino y los picado con placa (10 y 20 mm) ($P < 0,01$, test de Tukey), coincidiendo con lo ya descrito para el efecto simple del picado. Las mismas diferencias persisten en las pastas tratadas con ácido al 0,5 %, pero desaparecen al adicionar 1,0 % del mismo ($P > 0,05$).

Los valores máximos del croma se registraron para las pastas picadas finamente, pero no resultaron significativas las diferencias ($P > 0,05$) entre los pastas tratadas con y sin ácido láctico. Por otra parte no resultaron significativas ($P > 0,05$) las diferencias entre los valores de croma de las pastas picadas con placas de 10 y 20 mm, independientemente de las concentraciones de ácido ensayadas (0 %, 0,5 % y 1,0 %).



Gráfica 39: Interacción picado*ácido láctico para la magnitud psicofísica croma (C*).

V.- CONCLUSIONES

- 1- La luminosidad (L^*) de la carne depende de su pH el cual afecta a la CRA y al estado de las proteínas miofibrilares.
- 2- Los tratamientos individuales con pimentón y ácido láctico afectan drásticamente los valores de L^* de las pastas de magro porcino, aunque los efectos de la especia resultan superiores a los provocados por el ácido.
- 3- El picado, específicamente el picado fino, afecta el valor de L^* por aumento de la disponibilidad de agua a nivel superficial (aumento del a_w).
- 4- El valor de la coordenada rojo-verde (a^*) en la carne sin tratamientos depende principalmente de la concentración de los diferentes hemopigmentos presentes, especialmente de la mioglobina (Mb). Por el contrario, en las pastas tratadas con pimentón, la coordenada depende principalmente de los componentes rojos aportados por la especia.
- 5- La coordenada amarillo-azul (b^*) depende de los diferentes estados del pigmento Mb, lo cual se corrobora en los tratamientos individuales que se realizan sobre las pastas cárnicas con ácido láctico y cloruro de sodio.
- 6- Los valores del índice de rojez (a^*/b^*) permiten diferenciar los tipos de picado estudiados en el presente trabajo: placa (10 y 20 mm) y fino.
- 7- La magnitud psicofísica tono (H^*) de las pastas de magro porcino sin tratar depende tanto de la concentración como del estado de las diferentes formas del pigmento Mb. Por el contrario, la adición de pimentón modifica los valores del H^* hacia el rango de los naranja-rojizos (disminuye el H^*) y el ácido láctico hacia los naranja-amarillentos (eleva el H^*).
- 8- El Cromo (C^*), durante la etapa de amasado-reposo, resultó muy similar al observado para la coordenada b^* . Puesto que el comportamiento de esta magnitud psicofísica depende tanto de la saturación del magro (concentración de Mb y sus diferentes estados) como de la del pimentón (concentración y tipo de pigmentos de la especia), el descenso observado durante la etapa de amasado-reposo se debe a un aumento de la proporción de la MetMb del magro.
- 9- El factor pimentón influye en forma predominante sobre todos los valores de las variables de color y de las magnitudes psicofísicas tal como lo demuestra el presente trabajo cuyo diseño experimental considera a los demás tratamientos en promedio.
- 10- El tratamiento con pimentón aumenta notablemente los valores de las coordenadas a^* , b^* , a^*/b^* y C^* en el mismo momento de su adición a las pastas de magro porcino. El incremento de la rojez (a^*/b^*) demuestra que la contribución de los componentes rojos de la especie es más elevado que la de los componentes amarillos. Por el contrario, el pimentón reduce la L^* y el H^* de las pastas estudiadas.

- 11- El tratamiento con ácido láctico aumenta los valores de L^* , b^* , H^* y C^* tras su adición debido a su efecto directo sobre el pH de las pastas estudiadas. Por el contrario, disminuye la a^* en mayor proporción y, consecuentemente a^*/b^* .
- 12- La incorporación máxima de cloruro de sodio utilizada en este estudio (3,00 %) reduce todas las variables de color de las pastas estudiadas en el momento de su adición, a excepción de la rojez (a^*/b^*). Esto evidencia que la sal tienen mayor influencia sobre los componentes amarillos que sobre los componentes rojos y ubica el H^* de las pastas en el rango de los naranja-rojizos.
- 13- La incorporación de tripolifosfato de sodio a las pastas de magro porcino aumenta las coordenadas a^* , b^* , a^*/b^* y C^* . Por el contrario, disminuye la L^* y el H^* en el momento de su adición, manteniéndose éste último en el rango de los naranja-rojizos.
- 14- El picado fino aumenta los valores de L^* , a^* , b^* , a^*/b^* y C^* respecto de los picados con placa (10 y 20 mm) y ubica el tono de las mismas en la zona de los amarillo-naranja. Por el contrario, los picados con placa lo hacen en la zona de los naranja-rojizos.
- 15- Durante la etapa de amasado-reposo, los valores de las coordenadas a^* , b^* y a^*/b^* disminuyen independientemente del tipo de picado, lo cual demuestra una mayor degradación de los componentes rojos frente a los amarillos. Por el contrario, L^* y H^* se incrementan en esta etapa, permaneciendo el H^* en la zona de los naranja-rojizos.
- 16- El índice de decoloración (ID, R_{650}/R_{570}), el índice de transformación de pigmentos (ITP, R_{630}/R_{580}) y la diferencia $R_{630}-R_{580}$ disminuyen durante la etapa de amasado-reposo. Esto se traduce en un aumento de la proporción de MetMb respecto de la Mb y OMb de las pastas estudiadas.
- 17- La disminución del pH de las pastas por efecto del ácido láctico provoca la modificación de las propiedades de reflexión y refracción de la luz de las fibras musculares con el consecuente aumento de la birrefringencia. Esto demuestra que la formación del color en estos productos constituye un fenómeno basado en mecanismos bioquímicos relacionados con las características de la carne cruda, aditivos y especias utilizados, así como de la tecnología aplicada durante las etapas mencionadas.

VII- BIBLIOGRAFÍA

- ACTON, J.C. (1972). "The effect of meat particle size on extractable protein, cooking loss and binding strength in chicken loaves". *J. Food Sci.*, **37**, p. 240-243.
- AGUILERA, J.M. (1997). "Temas en Tecnología de Alimentos". México, CYTED (Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el desarrollo) Instituto Politécnico Nacional.
- AGUIRREZABAL, M.M. (1993). "Influencia de diversos ingredientes en el proceso madurativo del chorizo". Tesis doctoral. Departamento de Tecnología de Alimentos. Facultad de Veterinaria. Universidad de León. León, España.
- ALEIXANDRE, J.L. (1996). "Procesos de elaboración de alimentos". Servicio de Publicaciones de la Universidad Politécnica de Valencia (SPUPV), Valencia, España.
- ALESON-CARBONELL, L.F. (2002). "Aplicación de fibra de origen cítrico en la elaboración de productos cárnicos crudo-curados". Trabajo fin de Carrera de Ingeniero Agrónomo. Escuela Politécnica Superior de Orihuela de la Universidad Miguel Hernández. Orihuela, España.
- AMORÓS-ILLÁN, N.(2002) Contribución al estudio de colorantes naturales. Trabajo fin de carrera Ingeniero Agrónomo. Escuela Politécnica Superior de Orihuela de la Universidad Miguel Hernández. Orihuela, España.
- ANDERSON, M.R. (1992). "Microbiología alimentaria: Metodología analítica para alimentos y bebidas". Madrid, Díaz de Santos, S.A. Cap. 34, p. 275-282.
- ANÓNIMO (1991). "Collecting data on the evaluated colour of meat with the CR-200". *Application News*, **12**, N° C003. Japan, Minolta.
- ANÓNIMO (1992). "Utilizing CM-1000 to analyze meat". *Application News*, **4**, N° C004. Japan, Minolta.

- ANÓNIMO (2000). <http://www.comarcadelavera.com/Pimenton/default.htm>
- BACUS, J.N. (1984). "Utilisation of microorganisms in Meat Processing". Letchworth, Research Studies Press Ltd.
- BACUS, J.N. (1994). "Embutidos fermentados secos y semisecos: prácticas generales y tecnologías innovadoras". *Manual del Vº Cursillo Teórico-Práctico de Tecnología Cárnica*. Ames (Iowa), Iowa State University and Protein Technologies International.
- BADUÍ, S. (1981). "Química de los alimentos". México, Alhambra Mexicana.
- BERIAIN, M.J.; LIZASO, G.; HERNÁNDEZ, B.; HORCADA, A. & RURROY, A. (1995). "Changes in meat colour from *Pirenaica calves* during air exposure". *Proc. 41th International Congress of Meat Science and Technology*. San Antonio, Texas, C87, p. 412-413.
- BIACS, P.A.; DAOOD, H.G.; PADISA, A. & HADJU, F. (1989). "Studies on the carotenoid pigments of paprika (*Capsicum annum L. var. Sz-20*)". *J. Food Chem.*, **37**, p. 350-353.
- BILLMEYER, F.W.; SALTZMAN, M. (1981). "Principles of Colour Technology". New York, John Wiley & Sons.
- BLANCO, A. (2000). "Química Biológica". 7e. Bs. As., El Ateneo. Cap.3, p. 45-52.
- BOHINSKI, R.C. (1978). "Bioquímica". México, Fondo Educativo Interamericano.
- BRUSCO, J. (1989). "¿Qué debemos comer?". Bs. As., Lidium. 2e. Cap. 3, p. 92-99.
- CAMBERO, M.; ORDOÑEZ, J.; PEREIRA, C.; COBOS, A. & DE LA HOZ, L. (1994). "Perspectivas en la fabricación de productos cárnicos hiposódicos". *Alim. Equip. Tecnol.*, **I-II**, p. 111-116.
- CAMPBELL-PLATT, G. (1995). Fermented meats – a world perspective. En Campbell-Platt, G. & Cook, P.E. *Fermented meats*. London, Chapman & Hall.

- CAMPO, A.; PÉREZ-ÁLVAREZ, J.A.; SAYAS, M.E. & ARANDA, V. (1991). Caracterización física y físico química del jamón curado: influencia sobre el color en la etapa de maduración. En Fito P., Serra J.A., Hernández E. & Vidal D. Anales de investigación del Master en Ciencia e Ingeniería de Alimentos. Valencia, Reproval. Vol. 1, p. 921-937.
- CARTAGENA, R. (1997). "Caracterización física y físico química de productos cárnicos elaborados en la Comarca del medio Vinalopó (Elda-Petrer)". Proyecto fin de Carrera. Orihuela, E.P.S.O., Universidad Politécnica de Valencia.
- CASSENS, R.G.; DEMEYER, D.; EIDELNBOOM, G.; HONIKEL, K.O.; JOHANSSON, G.; NIELSEN, T.; RENERRE, M.; RICHARDSON, &. & SAKATA, R. (1995). "Recommendation of reference method for assessment of meat colour". *Proc. 41th International Congress of Meat Science and Technology*. San Antonio (Texas), C86, p. 410-411.
- CERVERA, R. (1995). "Estudio de la evolución del color en el proceso de elaboración del paté". Proyecto fin de Carrera, E.U.IT.A., Universidad Politécnica de Valencia.
- CHAN, W.; BROWN, J.; LEE, S.M. & BUSS, D.H. (1995) *Meat, poultry and game*. London, The Royal Society of Chemistry and the Ministry of Agriculture, Fisheries and Food.
- CIE (1986). "Colorimetry". N° 15.2. Vienna, Publication of Commission Internationales de l'Eclairage.
- CORETTI, K. (1986). "Embutidos: elaboración y defectos". Zaragoza, Acribia.
- COSTA, J.C. (1991). "Pimiento para pimentón. Estado actual sobre la selección de variedades para cultivo tradicional y para recolección mecánica. La innovación

- en la horticultura”. 10º Aniversario de la S.E.C.H. Valencia, Promociones LAU. S.A.
- CROSS, H.R., DURLAND, P.R. & SEIDEMAN, S.C. (1986). “Sensory qualities of meat”. En: Bechtel, P.J. (Ed.) *Muscle As Food*. New York, Academic Press. Pp. 279-320.
- CUNHA DA SILVA, E.M.; MOSS, B.W. & GAULT, N.F.S. (1994). “Stability of dried salted lamb stored under tropical conditions”. *Proc. 40th International Congress of Meat Science and Technology*. The Hague (The Netherlands), S-IIA.21.
- CHEFTEL, J.C.; CHEFTEL, H. & BESANÇON, P. (1989). “Introducción a la Bioquímica y Tecnología de Alimentos”. Vol. II. Zaragoza, Acribia.
- DAOOD, H.G.; VINKLER, M.; MARKUS, F.; HEBSHIJ, E.A. & BIACS, P.A. (1996). “Antioxidant vitamin contents of spice red pepper (paprika) as affected by technological and varietal factors”. *Food Chem.*, **55**, p. 365-372.
- DEMASI, T.W.; GRIMES, L.W.; DICK, R.L. & ACTON, J.C. (1989). “Nitrosoheme pigment formation and light effects on colour properties of Semidry, nonfermented and fermented sausages”. *J. Food Protec.*, **52**, p. 189-193.
- DURAND, P. (1984). “Aditivos de Productos Cárnicos”. *Noticiteca*, **14** (85/86), p. 268-279.
- EAKES, B.D.; BLUMER, T.N. & MONROE, R.J. (1975). “Effect of nitrate on colour and flavor of country-stylehams”. *J. Food Sci.*, **40** p. 973-976.
- EDER, R. (1996). “Physical characterization and nutrient analysis”. En Nollet, L.M. (Ed.) *Handbook of food analysis*. New York, Marcel Dekker INC. Vol. I, Cap. 23, p. 996-1000.
- EFFENBERGER, E. (1980). “Tripas artificiales”. Zaragoza, Acribia.

- ERICHSEN, Y. (1983). "Fermented fish and meat products: The present position and future possibilities". En Roberts, T.A. & Skinner, F.A. (Ed.) *Food Microbiology: Advances and prospects*. London, Academic Press. P. 271-286.
- FARRELL, K.T. (1990). "Spice, condiments and seasonings". 2e. New York, Avi Book by Nostrand Reinhold.
- FEHLHABER, K. & JANETSCHKE, P. (1995). "Higiene veterinaria de los alimentos". Zaragoza, Acribia.
- FENNEMA, O. (1993). "Química de los Alimentos". Zaragoza, Acribia.
- FERNANDEZ-GINES, J.M. (2001). "Contribución al estudio objetivo del color en una pasta fina elaborada con albedo". Trabajo fin de Carrera de Ingeniero Agrónomo. Escuela Politécnica Superior de Orihuela de la Universidad Miguel Hernández. Orihuela, España.
- FERNÁNDEZ-LÓPEZ, J. (1998). "Estudio del color por métodos objetivos en sistemas modelo de pastas de embutidos crudo-curados". Tesis doctoral. Departamento de Producción Animal, Universidad de Murcia, España.
- FERNÁNDEZ-LÓPEZ, J; PÉREZ-ÁLVAREZ, J.A. & ARANDA, V. (1994). "Contribución al estudio del jamón curado: Influencia del pH y temperatura de salado sobre las propiedades de color". En Fito P., Serra J.A., Hernández, E. & Vidal, D. *Anales de Investigación del Master en Ciencia e Ingeniería de alimentos*. Valencia, Reproval. Vol III, p. 169-184.
- FERNÁNDEZ-LÓPEZ, J.; ROSMINI, M.R. & PÉREZ-ÁLVAREZ, J.A. (1998). "El color como propiedad física en el control de calidad de la carne y productos cárnicos". Curso de posgrado. Facultad de Veterinaria, Dpto de Salud Pública Veterinaria. UNL, Esperanza. Argentina. Pág. 8-30.

- FERNANDEZ-LOPEZ, J.; PEREZ-ALVAREZ, J.A.; SAYAS-BARBERÁ, M.E.;
LOPEZ-SANTOVEÑA, F.; ARANDA-CATALA, V.(2000). “Characterization of different states of myoglobin in pork using color parameters and reflectance ratios”. *J. Muscle Food* , **11**(3): 157-167.
- FERNÁNDEZ-LÓPEZ, J.; PÉREZ-ÁLVAREZ, J.A.; SAYAS-BARBERÁ, E. & LÓPEZ-SANTOVEÑA, F. (2002). “Effect of paprika (*Capsicum annum L.*) on color of spanish-type sausages during the resting stage”. *J. Food Sci.*, **67**(6), p. 2410-2414.
- FIGUEROA, M.V.; ARANDA, V.; PAGÁN, M.J. & PÉREZ ÁLVAREZ, J.A. (1993). “Efecto del tocoferol sobre la estabilidad del pimentón (*Capsicum annum L.*) a la luz ultravioleta y temperatura”. En Fito, P; Serra, J.A.; Hernández, E. & Vidal, D. Anales de investigación del Master en Ciencia e Ingeniería de Alimentos. Valencia, Reproval. Vol. III, p. 169-184.
- FISCHER, A. (1994). “Tecnología de la producción y elaboración de los productos cárnicos”. En Prändl, O., Fischer, A., Schmidhofer, T. & Sinell, H.J. *Tecnología e higiene de la carne*. Zaragoza, Acribia. Parte B, p. 511-625.
- FLORES, J. & BERMELL, S. (1995). “Curado de embutidos. Consecuencias de la acidificación y factores que la afectan “. *Fleishwirtsch. español*, **2**, p. 22-24.
- FORCÉN, R.; PÉREZ-ÁLVAREZ, J.A.; GAGO, M.A. & ARANDA, V. (1993). “Evolución del color en los períodos de salado y postsalado en la elaboración del jamón curado”. En Fito P., Serra J.A., Hernández, E. & Vidal, D. *Anales de Investigación del Master en Ciencia e Ingeniería de Alimentos*. Valencia, Reprobal. Vol. III, p. 545-562.

- FORREST, J.C.; ABERLE, E.D.; HEDRICK, H.B.; JUDGE, M.D. & MERCKEL, R.A. (1979). "Fundamentos de Ciencia de la carne". Zaragoza, Acribia.
- FOX, J.B. (1966). "The Chemistry of meat pigments". *J. Agric. Food Chem.*, **14**, p. 207-209.
- FOX, J.B. (1967). "Cured colour development during frankfurter processing". *Food Technol.*, **21**, p. 386-389.
- FOX, J.B. (1994). "Los pigmentos de la carne". En Price, J.F. & Schweigert, P.S. *Ciencia de la carne y de los productos cárnicos*. 2e. Zaragoza, Acribia. Cap. 5, p. 175-198.
- FOX, J.B. & ACKERMAN, S.A. (1968). "Formation of nitric oxide myoglobin: mechanisms of the reaction with various reductans". *J. Food Sci.*, **33**, p.364-366.
- FRANCIS, F.J. (1975). "The origin of $\tan^{-1} a/b$ ". *J. Food Sci.*, **40**, p. 412.
- FRANCIS, J.C. & CLYDESDALE, F.M. (1975). "Food colorimetry: Theory and applications". Westport (Connecticut), AVI Publishing Co.
- FRENTZ, J. (1982). "L'enciclopedia de la charcuterie". Orly, Saussane.
- FREY, W. (1988). "Embutidos crudos consistentes". *Noticiteca*, **18**(1-2), p. 45-51.
- GACULA, M.C. JR. & SINGH, J. (1984). "Statistical methods in food and consumer research". Orlando (USA), Academic Press.
- GARCÍA-MARCOS, M.; ROSMINI, M.R.; PÉREZ-ÁLVAREZ, J.A.; GAGO, M.A.; LÓPEZ-SANTOVEÑA, F. & ARANDA, V. (1996). "Curing agents effects in a dry-cured sausage model system during the mixing-resting stage". En Hildrum, K.L. *Meat for the consumer*. Proceedings of 42nd. *International Congress of Meat Science and Technology*. Lillehammer (Norway), matforsk, Norwegian Food Research Institute, L-11, p. 481-482.

- GARRIDO, C. (1997). "Influencia del tiempo de picado sobre la evolución del color en pastas de anguila". Proyecto Fin de Carrera. Valencia, E.U.IT.A., Universidad Politécnica de Valencia.
- GERHARDT, U. (1975). "Especias y condimentos". Zaragoza, Acribia.
- GERHARDT, U. (1980). "Aditivos e ingredientes". Zaragoza, Acribia.
- GIDDEY, C. (1966). "The change in meat pigments in sausage making processes". *J. Sci. Food Agric.*, **17**, p. 14-17.
- GIESE, J. (1995). "Measuring physical properties of food". *Food Technol.*, **49**(2), 54-63.
- GIFFEE, J.W.; URBIN, M.C.; FOX, J.B.; LANDMANN, W.A.; SIEDLER, A.J. & SLIWINSKI, R.A. (1960). "Chemistry of animal tissues. Proteins". En Gillespie, E.L. (Ed.) *The Science of meat and meat products*. San Francisco, W.H. Freeman. Cap. 3, p. 56-150.
- GILABERT, E.J. (1992). "Medida del color". Valencia, Servicio de Publicaciones de la Universidad Politécnica de Valencia. SPUPV-92.684.
- GIMÉNEZ, J.L. (2000). "El pimentón: aspectos generales, proceso de elaboración, control de calidad y métodos de esterilización". En Pérez Alvarez. J.A.; Fernández López, J.; Sayas Barbera, E. & Martínez Sánchez, F. (Eds.) *La Industria cárnica: aspectos económicos, científicos y tecnológicos*. Elche, Universidad Miguel Hernández.
- GIRARD, J.P.; DENOYER, C. & MAILLARD, T. (1991). "El picado grosero. La reestructuración de las pastas finas". En Girard, J.P. *Tecnología de la carne y de los productos cárnicos*. Zaragoza, Acribia. Cap. VII, p. 231-300.

- GÓMEZ, K.A. & GÓMEZ, A.A. (1976). "Statistical procedures for agricultural research". Los Baños (Laguna-Filipinas), The International Rice Research Institute.
- GOUTEFONGEA, R. (1991). "La salazón". En Girard, J.P. *Tecnología de la carne y de los productos cárnicos*. Zaragoza, Acribia. Cap. 4, p. 125-149.
- GOUTEFONGEA, R. & DUMONT, J.P. (1990). "Developments in low-fat meat and meat products". En Wood J.D. & Fischer, A.V. *Reducing fat in meat animals*. Londres, Elsevier Applied Science, p. 398-435.
- GRAU, R. (1996). "Estandarización de un método objetivo para determinar la estabilidad del color en el pimentón (*Capsicum annum L.*)". Proyecto fin de Carrera. Valencia, E.U.I.T.A., Universidad Politécnica de Valencia.
- GRZES, B.; POSPIECH, E. & STEFANSKA, D. (1996a). "Comparison of water retention and colour of meat treated with various salts at different pH value". *Proc. 42nd International Congress of Meat Science and Technology*. Norway, p. 357-358.
- GRZES, B.; POSPIECH, E.; GREASER, M.L.; MOZDIK, P.E. & SOSNICKI, D. (1996b). "Effect of various salts on appearance of myosin and α -actinin in centrifugaldrip of meat". *Proc. 42nd International Congress of Meat Science and Technology*. Norway, p. 388-389.
- GUERRERO, I. & ARTEAGA, M. (1990). "Tecnología de carnes: Elaboración y preservación de productos cárnicos". México, Trillas, S.A.
- GUERRERO, I. (1998). "Curso de postgrado en Tecnología e Higiene de carnes". Facultad de Agronomía y Veterinaria, Departamento de Salud Pública Veterinaria - UNL. Esperanza, Argentina.

- HAMM, R. (1960). "Biochemistry of meat hidration". En Chichester, C.O.; Mark, E.M. & Stewart, G.F. *Advances in Food Research*. New York, Academic Press, p. 355-463.
- HAMMER, G. (1992). "Sustancias aditivas y aditivos". En Wirth, F. *Tecnología de los embutidos escaldados*. Zaragoza, Acribia.
- HEINDRICH, H. (1995). "Análisis de imagen por ordenador". Valencia, Cosellería de Treball y Afers Socials.
- HEREDIA, F.J.; CAMEAN, A.M. & GUZMÁN, M. (1986). "Utilidad de los parámetros cromáticos en la evaluación de la calidad de los vinos tintos". *Rev. Agroq. Tecnol. Alim.* **26**, p. 447-481.
- HISGHSMITH, S. (1976). "Interaction of the actin and nucleotide binding sites on myosin subfragment I". *J. Biol. Chem.*, **251**, p. 6170-6172.
- HULTIN, H.O. (1993). "Características del tejido muscular". En Fennema, O. *Química de los alimentos*. Zaragoza, Acribia. Cap. 4, p. 125-149.
- HUNT, M.C.; SMITH, R.A.; KROPF, D. & TUMA, H.J. (1975). "Factors affecting showcase color stability of frozen lamb in transparent film". *J. Food Sci.*, **40**(3), p. 637-640.
- HUNT, M.C. (1980). "Meat colour measurements". Proc. 33th *Reciprocal Meat Conference*. Purdue, American Meat Science Association y National Live Stock and Meat Board, p. 41-46.
- HUNT, M.C. & KROPF, D. (1985). "Fresh and cured meat colour analyses". Muscle Food Symposium, Institute of Food Technologist Annual Meeting, paper N° 151. Manhattan (Kansas), Kansas State University.
- HUNT, M.C.; ACTON, J.C.; BENEDICT, R.C.; CALKINS, C.R.; CORNFORTH, D.P.; JEREMIAH, L.E.; OLSON, D.P.; SALM, C.P.; SAVELL, J.W. &

- SHIVAS, S.D. (1991). "American meat Science Association, Guidelines for meat colour evaluation". Chicago, National Live Stock and Meat Board.
- HUTCHING, J.B. (1994) "Food Colour and apperance". Glasgow, Blackie Academic L. Professional.
- ICMSF (1983). "Ecología Microbiana de Alimentos". Tomo I. *Factores que afectan la supervivencia de los microorganismos en los alimentos*. Zaragoza, Acribia.
- ICMSF (1985). "Ecología Microbiana de Alimentos". Tomo II. *Productos alimenticios*. Zaragoza, Acribia.
- IGENE, J.; YAMAUCHI, K.; PERSON, A. & GRAY, J. (1985). "Mechanisms by which nitrite inhibits the development of warmed-over-flavor (WOF) in cured meat". *Food Chem.*, **18**, p. 1-18.
- IRIARTE, M.L.; PÉREZ-ÁLVAREZ, J.A.; GAGO, M.A.; FITO, P. & ARANDA, V. (1993). "Introducción al estudio del salado de paleta de cerdo por deshidratación osmótica al vacío". En Fito, P.; Serra, J.; Hernández, E., & Vidal, D. *Anales de investigación del Master en Ciencia e Ingeniería de Alimentos*. Valencia, Reproval. Vol. III, p. 579-593.
- INCZE, K. (1986). "Technologie and Microbiologie der ungarischen Salami". *Fleischwirtsch.*, **66**, p. 1305-1311.
- INSTITUTO NACIONAL DE RACIONALIZACIÓN (1981). "Nomenclatura cromática española". Madrid, INR.
- IRIARTE, M.L.; PÉREZ-ÁLVAREZ, J.A.; GAGO, M.A.; FITO, P. & ARANDA, V. (1993). "Introducción al estudio del salado de paleta de cerdo por deshidratación osmótica a vacío". En Fito, P.; Serra, J.; Hernández, E. & Vidal, D. *Anales de investigación del Master en Ciencia e Ingeniería de Alimentos*. Valencia, Reproval. Vol. 3, p. 579-593.

- ISO (1973). "Meat and meat products. Determination of total fat content". R 1443. Geneva, International Organization for Standardization.
- ISO (1975). "Meat and meat products. Determination of moisture content". R 1442. Geneva, International Organization for Standardization.
- ISO (1978). "Meat and meat products. Determination of nitrogen content". R 937. Geneva, International Organization for Standardization.
- ISO (1985). "Meat and meat products. Determination of ash content". R 936. Geneva, International Organization for Standardization.
- JAY, J. (1994). "Microbiología moderna de los alimentos". 3e. Zaragoza, Acribia.
- JOHANSSON, G.; TORNBERG, E. & LUNDSTRÖN, K. (1991). "Meat colour in loin and ham muscles of normal meat quality from Hampshire, Swedish Landrace and Yorkshire pigs". *Proc. 37th International Congress of Meat Science and Technology*. Kulmbach, Alemania. P. 394-397.
- JONES, J. M. (1992). "Factors influencing Poultry meat quality". En Ledward, D.A.; Johnston, D.E. & Knight, M.K. (Eds.) *The Chemistry of muscle based foods*. Cambridge, The Royal Society of Chemistry. P. 2739.
- JUDGE, M.; ABERLE, E.; FORREST, J.; HEDRICH, H. & MERKEL, R. (1989). "Principles of meat science". Dubuque, Kendall/Hunt Publishing Co., p. 135-178.
- KANNER, J. (1994). "Oxidative processes in meat products: Quality implications". *Meat Sci.*, **36**, 169-189.
- KATSARAS, K.; PEETZ, P. & GEYER, S. (1991). "Meat pigments determination by a simple and non-toxic alkaline haematin method (an alternative to Hornsey and the cyanometamyoglobin methods)". *Meat Sci.*, **29**, p. 17-24.

- KLETTNER, P.G. & RÖDEL, W. (1979). "Die Bedeutung der Temperatur bei der Rohwurstreifung". *Fleischerei.*, **30**, p. 907-908.
- KNIPE, C.; OLSON, D. & RUST, R. (1988). "Effects of inorganic phosphates and sodium hydroxide on cooked cured colour, pH and emulsion stability of reduced-sodium and conventional meat emulsions". *J. Food Sci.*, **53**, p. 1305-1308.
- KNIPE, L. (1993). "Basic science of meat processing". In *Cured meat short course*. Session I. Iowa, Iowa State University. April 27.
- KROPF, D. H; OLSON, D.G. & WEST, R.L. (1984). "Objective measures of meat colour". *Proc. 37th Annual Reciprocal Meat Conference*. Lubbock (Texas), American Meat Association and National Live Stock and Meat Board. P. 24-32.
- KROPF, D.H. (1993). "Colour stability. Factors affecting the colour of fresh meat". *Meat Focus*, **2**, p. 269-275.
- KUHNE, D. (1984). "Zusammensetzung der Fette bei verschiedenen Tierarten". *Mitteilungsblatt der BAFF*, Nr.84 vom 01.06, S. 5959.
- LAGUNA, J. & PIÑA, E. (1981). "Bioquímica". México, La Prensa Médica Mexicana.
- LANARI, M.C. & CASSENS, R.G. (1991). "Mitochondrial activity and beef muscle color stability". *J. Food Sci.*, **56**, p. 1476-1479.
- LAVELLE, C.L.; HUNT, M.C. & KROPF, D.H. (1995). "Expressible juice and internal cooked colour of ground beef patties from vitamin E-supplemented". *Proc. 41th International Congress of Meat Science and Technology*. San Antonio (Texas), American Meat Science Association. C79, p. 396-397.
- LEHNINGER, L. (1994). "Bioquímica, las bases moleculares de la estructura y función celular". Barcelona, Omega S.A.

- LEISTNER, L. (1987). "Perspectives of fermented meat". *Proc. 33rd International Congress of Meat Science and Technology*. Helsinki (Finland), American Meat Science Association. Session 7, vol. II, p. 323-326.
- LEISTNER, L. (1995). "Stable and safe fermented sausages world-wide". En Campbell-Platt, G. & Cook, P.E. *Fermented meats*. London, Blackie Academic Professional. Cap. 7, p. 160-175.
- LEVY, A.; HAREL, S.; PALEVITCH, D.; AKIRI, B.; MENAGEM, E. & KANNER, J. (1995). "Carotenoid pigments and β -carotene in paprika fruits (*Capsicum*, spp) with different genotypes". *J. Agric. Food Chem.*, **43**, p. 362-366.
- LITTLE, A.C. (1975). "Of on a tangent". *J. Food Sci.*, **40**, p. 410-411.
- LIU, H.; SEBRANEK, J.; GALLOWAY, D. & LIND, K. (1992). "Effect of sodium erythorbate and packaging conditions on colour stability of sliced bologna". *J. Food Sci.*, **45**, p. 115-118, 121.
- LIVINGSTON, D.J. & BROWN, W.D. (1981). "The chemistry of myoglobin and its reactions". *Food Technol.*, **35**(5), p. 244-252.
- LOCEY, C.L. & GUZINSKI, J.A. (2000). Paprika. En Lauro, G.J. & Francis, F.J. (Eds.) *Natural food colorants*. New York, Marcel Dekker Inc. P. 97-113.
- LÓPEZ DE TORRE, G. & CARBALLO-GARCÍA, B.M. (1991). "Manual de bioquímica y tecnología de la carne". Madrid, Martín Vicente Ediciones.
- LOZANO, R. D. (1978). "El color y su medición". Buenos Aires, Americalee S.R.L.
- LÜCKE, F.K. (1987). "Procesos microbiológicos en la elaboración de embutidos secos y jamones crudos". *Fleischwirtsch. español.*, **2**, p. 39-46.

- MABON, J.T. (1993). "Colour measurements of food". *Cereal Foods World.*, **38**(1), p. 21-25.
- MACDOUGALL, D.B., (1982). "Changes in the colour and opacity of meat". *Food Chem.*, **9**, p. 75-88.
- MAGA, J.A. (1975). "Capsicum". *CRC-Critical Reviews Food Science Nutrit.*, **6**, p. 177-199.
- MARCOS, D. (1991). "Embutidos crudo-curados españoles". Madrid, Ediciones Ayala, S.L.
- MARTÍN, I. (1998). "El color de la carne y la vitamina E". *Carnetec*, **1**, p. 20-23.
- MATLOCK, R.; TERREL, R.; SAVELL, J.; RHEE, K. & DUTSON, T. (1984). "Factors effecting properties of precooked-frozen pork sausage patties made with various NaCl/Phosphate combinations". *J. Food Sci.*, **49**, p. 1372-1375.
- McLAREN, K. (1984). "Food colorimetry". En Walford, J. (Ed.) *Developments in food colours*. London, Elsevier Applied Science. Vol. I.
- McLEAN, R.A. & ANDERSON, V.L. (1984). "Applied Factorial & Fractional Designs. Statistics: Textbooks y monographs". New York, Marcel Dekker Inc. Vol. 55.
- MEAT PACKERS COUNCIL (1979). "Aditivos para curado. Ácido ascórbico, ascorbatos y eritorbatos". *Noticiteca*, **57**, p. 2-4.
- MILLAR, S.; WILSON, R.; MOSS, B.W. & LEDWARD, D.A. (1994). "Oxymyoglobin formation in meat and poultry". *Meat Sci.*, **36**, p. 397-406.
- MILLER, R.K. (1994). "Quality characteristics". En Kidnsman, D.M.; Kotula, A.W. & Breidnstein, B.C. (Ed.) *Muscle foods. Meat, poultry and seafoods technology*. New York, Chapman y Hall. Cap. 11, p. 296-332.

- MONAHAN, F.J.; ASGHAR, A.; GRAY, J.I.; BUCKLEY, D.J. & MORRISSEY, P.A. (1994). "Effect of oxidized dietary lipid and vitamin E on the colour stability of pork chops". *Meat Sci.*, **37**, p. 205-215.
- MONIN, G. & LABORDE, P. (1985). "Water holding capacity of pig muscle proteins: Interaction between the myofibrillar and sarcoplasmic compounds". *Sci. Aliments*, **5**, p. 341-345.
- MONTES, L.A. (1966). "Bromatología". Tomo I. Buenos Aires, EUDEBA.
- MORRIS, J. G. (1980). "Fisicoquímica para biólogos". Barcelona, Reverté.
- NAVARRO, F. & COSTA, J. (1993). "La oleorresina del pimentón". Universidad de Murcia. Murcia, España.
- NEWSOME, R.L. (1986). "Food Colors". *Food Technol.*, **6**, p. 49-56.
- NIELSEN, G.; PETERSEN, B. & MÖLLER, A. (1995). "Impact of salt, phosphate and temperature on the effect of a transglutaminase (F XIIIa) on the texture of restructured meat". *Meat Sci.*, **41**, p. 293-299.
- NISHINA, A. (1991). "Antioxidant effects of tocoferol and L-ascorbic acid on ethyl eicosapentaenoate and methyl linoleate". *Agric. Biol. Chem.*, **55**, p. 1665-1667.
- NIVEN, C.F. (1994). "Microbiología y parasitología de la carne". Parte 1. En Price, J.F. & Schweigert, B.S. *Ciencia de la carne y de los productos cárnicos*. Zaragoza, Acribia. Cap. 6; p.199-237.
- NUEZ, F.; GIL, R. & COSTA, J. (1996). "El cultivo de pimientos, chiles y ajíes". Madrid, Mundi-Prensa.
- ONYANGO, C.A.; IZUMOTO, M.; KUTIMA, P.M. (1998). "Comparison of some physical and chemical properties selected game meats". *Meat Science*, **49**(1): 117-125.

- PAGÁN, M.J.; PÉREZ-ÁLVAREZ, J.A.; SAYAS, M.E. & ARANDA, V. (1992). “Aportaciones al proceso de elaboración del chorizo: evaluación del color y parámetros físico-químicos”. En Fito, P.; Serra, J; Hernández, E. & Vidal, D. (Ed.) *Anales de Investigación del Master en Ciencia e Ingeniería de Alimentos*. Valencia, Reproval. Vol. I, p. 553-574.
- PALIC, A.; KRIZANEC, D. & DIKANOVIC-LUCAN, Z. (1993). “The antioxidant properties of spices in dry fermented sausages”. *Fleischwirtsch.*, **73**, p. 670-672.
- PALOMBO, R.; VAN ROON, P.S.; WIJNGAARDS, G. & PRINS, A. (1989). “Kinetic analysis of changes in lightness attribute of colour during the processing of comminuted meat product”. Proc. 35th *International Congress of Meat Science and Technology*. Copenhagen, p. 624-631.
- PEARSON, A.M. & TAUBER, F.W. (1984). “Processed meats”. 2e. Westport (Connecticut), AVI Publishing Company, Inc.
- PEARSON, A.M. (1994). “La función muscular y los cambios postmortem”. En Price, J.F. & Schweigert P.S. *Ciencia de la carne y de los productos cárneos*. Zaragoza, Acribia. Cap. 1, p. 139-173.
- PÉREZ-ÁLVAREZ, J.A. (1996). “Contribución al estudio objetivo del color en productos cárnicos crudo-curados”. Tesis Doctoral. Departamento de Tecnología de Alimentos. Valencia, Universidad Politécnica de Valencia.
- PÉREZ-ÁLVAREZ, J.A.; SÁNCHEZ, E.; FERNÁNDEZ-LÓPEZ, J., GAGO, M.A.; RUIZ-PELUFFO, C.; ROSMINI, M.R.; PAGÁN, M. J.; LÓPEZ-SANTOVEÑA, F. & ARANDA, V. (1997). “Lomo embuchado: evolution of the physicochemical and colour parameters during the salting seasoning stage” *J. Muscle Food*, **8**(4), 395-411.

- PÉREZ-ÁLVAREZ, J.A.; FERNÁNDEZ-LÓPEZ, J.; SAYAS, M.E. & CARTAGENA-GARCÍA, R. (1999a) “Caracterización de los parámetros de color de diferentes materias primas usadas en la industria cárnica”. *Eurocarne*, VIII(63), 115-122.
- PÉREZ-ÁLVAREZ, J.A.; FERNÁNDEZ-LÓPEZ, J.; ROSMINI, M.R. & SAYAS, M.E. (1999b). “Determinación objetiva del color en los alimentos”. *Technofood*, **11**, 18-28.
- PÉREZ-ÁLVAREZ, J.A.; FERNÁNDEZ LÓPEZ, J. & SAYAS BARBERA, E. (2000). “El Pimentón en la industria cárnica”. En Rosmini, M.R.; Pérez Alvarez, J.A. & Fernández López, J. (Eds.) *Nuevas tendencias en la Tecnología e Higiene de la Industria cárnica*. Elche, Gráficas Limencop S.L. P. 235-252.
- PÉREZ-SISTERNAS, J.A. (1986). “Estudio del color de mostos de *Vitis vinífera*, L. var. bobal de la zona de Utiel-Requena”. Trabajo fin de carrera para optar el grado de Ingeniero Técnico Agrícola. Departamento de Industrias Agrícolas y Alimentarias. Valencia, Universidad Politécnica de Valencia.
- PERLO, F. (1997). “Caracterización física y fisicoquímica de pastas finas: paté”. Tesis doctoral. Valencia. Departamento de Tecnología de Alimentos. Universidad Politécnica de Valencia.
- PINEL, M. (1982). “Aprovechamiento de ingredientes proteínicos de origen animal: problemas generales que presenta el aprovechamiento de esas proteínas”. En Bourgeois, C.M. & Le Roux, P. *Proteínas animales*. México, El Manual Moderno. P. 87-110.
- PRÄNDL, O. (1994a). “Sacrificio de los animales con excepción de las aves”. En Prändl, O., Fischer, A., Schmidhofer, T. & Sinell, H.J. *Tecnología e higiene de la carne*. Zaragoza, Acibia. Parte A, Cap.2, pág. 8-141.

- PRÄNDL, O. (1994b). “Fundamentos de la conservación de la carne”. En Prändl, O., Fischer, A., Schmidhofer, T. & Sinell, H.J. *Tecnología e higiene de la carne*. Zaragoza, Acribia. Parte B, Cap. 2, pág. 236-285.
- RAKOFF, H. & ROSE, N.C. (1980). “Química Orgánica fundamental”. México, Limusa.
- REAL DECRETO 2242 (1984). “Reglamentación Técnico-Sanitaria para la elaboración, circulación y comercio de condimentos y especias”. B.O.E., 22 de diciembre de 1984 y 13 de abril de 1995.
- REEVES, M.J. (1987). “Re-evaluation of Capsicum colour data”. *J. Food Sci.*, **52**, p. 1047-1049.
- RENERRE, M. (1990). “Review: Factors involved in the decoloration of beef meat”. *Int. J. Food Sci. Technol.*, **25**, p. 613-630.
- REUTTER, H (1980). “La tecnología de embutidos en Alemania. Embutidos crudos”. *Fleischwirtsch. Español*, **2**, p. 36-41.
- RÖDEL, W. & STIEBING, A. (1989). “Medición continua del proceso de maduración de embutidos secos”. *Fleischwirtsch español.*, **1**, p. 38-48.
- RODRÍGUEZ-REBOLLO, M. (1996). “Manual de industrias cárnicas: las materias primas para la elaboración de los productos cárnicos”. *Cárnica 2000*, **147**, p. 49-64.
- RONCALES, P. (1988). “Industrias cárnicas”. Departamento de Bromatología y Tecnología de los Alimentos. Zaragoza, Facultad de Veterinaria, Universidad de Zaragoza.

- ROSMINI, M.R. (1997). “Proceso de elaboración de los productos cárnicos fermentados: caracterización objetiva mediante parámetros de color”. Tesis Doctoral. Departamento de Tecnología de Alimentos. Valencia, Universidad Politécnica de Valencia.
- ROSMINI, M.R.; GARCÍA- MARCOS, M.L.; PAGÁN-MORENO, M.J. & GAGO-GAGO, M.A. (1998). “Embutidos crudo-curados: estudio de color en sistemas de magro picado”. *FAVE*, **12** (1), p. 57-72.
- ROSMINI, M.R. & SCHNEIDER, R. (2000). “Elaboración de embutidos: consideraciones higiénicas y tecnológicas”. En Rosmini, M.R.; Pérez Álvarez, J.A. & Fernández López, J. (Ed.) *Nuevas tendencias en higiene y tecnología de carnes*. Elche, Gráficas Limencop S.L. P. 165 - 183.
- RUST, R.E. (1994). “Productos embutidos”. En Price J.F. & Schweigert P.S. *Ciencia de la carne y de los productos cárneos*. Zaragoza, Acribia. Cap. 13, p. 415-439.
- SÁEZ, R. (1997). “Aportaciones al proceso de elaboración de paté de anguila: influencia de diferentes colorantes naturales”. Proyecto fin de Carrera. Valencia, E.U.I.T.A., Universidad Politécnica de Valencia.
- SÁNCHEZ-RODRÍGUEZ, M.E.; PÉREZ-ÁLVAREZ, J.A.; GAGO, M.A.; PERLO F.; RUÍZ-PELUFFO, C.; LÓPEZ-SANTOVEÑA, F. & ARANDA, V. (1994). “Lomo embuchado: colours parameters evolution during process. The Hague (The Netherlands). Proc. of 40th International Congress of Meat Science and Technology, S-VI-A.23.
- SAYAS-BARBERÁ, M.E. & PÉREZ-ÁLVAREZ, J.A. (1989). “Aportaciones al proceso tecnológico de elaboración del jamón curado: Evaluación de los procesos físico-químicos y estructurales durante el período de postsalado”. Tesis

- de Master. Master en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Valencia, Universidad Politécnica de Valencia.
- SCHIFFNER, E. & OPPEL, K. (1978). “Cultivos bacterianos para las industrias cárnicas”. Zaragoza, Acribia.
- SCHIFFNER, E.; OPPEL, K. & LÖRTZING, D. (1996). “Elaboración casera de carne y embutidos”. Zaragoza, Acribia.
- SCHMIDHOFER, T. (1994). “Métodos analíticos”. En Prändl, O., Fischer, A., Schmidhofer, T. & Sinell, H.J. *Tecnología e higiene de la carne*. Zaragoza, Acribia. Parte E, p. 723-803.
- SCHMIDT, G.R. (1994). “Comportamiento funcional de los componentes de la carne durante el procesado”. En Price, J.F. & Schweigert, B.S. *Ciencia de la carne y de los productos cárnicos*. Zaragoza, Acribia. Cap. 11, p. 377-391.
- SCKIADARESSIS, R. & GARRIZ, C. (1981). “Preparación de carnes para elaborar conservas, chacinados, carnes cocidas y carnes de exportación”. Centro de Investigación y Tecnología de Carnes (CITECA) del Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI). Parte III, p. 27-63.
- SEBRANEK, J. (1993). “Functions of non meat ingredients in cured meat products”. In *Cured meat short course*. Session I, April 27. Iowa, Iowa State University.
- SEVERINI, M.; LOSCHI, A.R.; TREVISANI, M.; AGLIETTI, I. & BERTOROTTA, V. (1994). “Muscle fibre type and meat traits of corn-silage-fed buffaloes of different ages”. *Proc. 40th International Congress of Meat Science and Technology*. The Hague (The Netherlands), TNO Meat and Meat Products Research Group. S-IVA 37.

- SHAND, P.J.; SCHMIDT, G.R.; MANDIGO, R.W. & CLAUS, J.R. (1990). "New technology for low-fat meat products". *Proc. 43th Annual Reciprocal Meat Conference*. Mississippi, American Meat Association and National Live Stock and Meat Board. P. 37-52.
- SHULTS, G.W.; RUSSELL, D.R. & WIERBICKI, E. (1972). "Effects of condensed phosphates on pH, swelling and water-holding capacity of beef". *J. Food Sci.*, **37**, p. 860-865.
- SINELL, H.J. (1994). "Microbiología de los productos cárnicos". En Prändl, O., Fischer, A., Schmidhofer, T. & Sinell, H.J. *Tecnología e higiene de la carne*. Zaragoza, Acribia. Parte B, Cap. 6, p. 640-685.
- SKOOG, D.A. & WEST, D.M. (1971). "Análisis instrumental". México, Interamericana.
- SMITH, L.; SIMMONS, S; MCKEITH, F.; BECHTEL, P. & BRADY, P. (1984). "Effects of sodium tripolyphosphate on physical and sensory properties of beef and pork roasts". *J. Food Sci.*, **30**, p. 1636-1642.
- SOFOS, J.N. (1981). "Nitrite, sorbate and pH interaction in cured meat products". *Proc. 34th Annual Reciprocal Meat Conference*. Oregon, American Meat Science Association y National Live Stock and Meat Board. P. 104-120.
- SOFOS, J.N. (1986). "Use of phosphates in low-sodium meat products". *Food Technol.*, **10**, p. 52-56.
- STARR, L.D. (1979). "What's new in the old technologies: cooking, chopping and converting? ". *Proc. Meat Industrial Research Conference*. Arlington (VA), American Meat Institute Foundation. P. 41.
- STAUTON-WEST, E.; TOOD, W.R.; MASON, H.S. & VAN BRUGGEN, J.T. (1969). "Bioquímica Médica". México, Interamericana.

- STIEBING, A. & RÖDEL, W. (1988). “Influencia de la humedad relativa ambiente sobre el desarrollo de la maduración en embutidos secos”. *Fleischwirtsch. Español*, **2**, p. 30-38.
- STRANGE, E.D.; BENEDICT, R.C.; GUGGER, R.E.; METZGER, V.G. & SWIFT, C.E. (1974). “Simplified methodology for measuring meat colour”. *J. Food Sci.*, **39**, p. 988-992.
- STREITWIESER, A. & HEATHCOCK, C.H. (1981). “Química Orgánica”. México, Interamericana.
- STROCKA, D. & BROCKES, A. (1970). “Comparison of the CIE (1931) 2° and the CIE (1964) 10° colorimetric standar observers with individual observers in the assessment of metameric matches”. En Manfred, R. (Ed.) *Colour 69*. Göttingen, Mustershmidt.
- STROKKI, A. (1995). “Additives in finish sausages and other meat products”. *Meat Sci.*, **39**, p. 311-315.
- STRYER, L. (1988). “Bioquímica”. Barcelona, Reverté.
- SUTTIE, J.W. (1979). “Fundamentos de Bioquímica”. México, Interamericana.
- SWATLAND, H.J. (1994). “Optical prediction of water holding capacity”. *Proc. 47th Annual Reciprocal Meat Conference*. Philadelphia (Pennsylvania), American Meat Science Association y National Live Stock and Meat Board.
- SWATLAND, H.J. (1995). “Reversible pH effect on pork paleness in a model system”. *J. Food Sci.*, **60**, p. 988-991.
- SWATLAND, H.J. (2003). “Evaluación de la carne en la cadena de producción”. Zaragoza, Acribia.

- SZCZESNIAK, A.S. (1983). "Physical properties of food: What they are and their relation to other properties?". En Peleg, M. & Bagley E.B. (Eds.) *Physical properties of Food*. Westport (Connecticut), AVI Publishing Co.
- TANDLER, K. (1992). "Elección de la materia prima y composición de los embutidos escaldados". En Wirth, F. *Tecnología de los embutidos escaldados*. Zaragoza, Acribia. Cap. 3, p. 41-51.
- TORNBERG, E.; ANDERSSON, A. & VON SETH, G. (1993). "Water distribution of raw pork muscle (*Longissimus dorsi*) of different meat qualities". *Proc. 39th International Congress of Meat Science and Technology*. Calgary, S4P23, WP.
- TORRES, E.; PEARSON, A.M.; GRAY, J.I.; BOOREM, A.M. & SHIMOKOMAKI, M. "Effect of salt on oxidative changes in pre- and post-rigor ground beef". *Meat Sci.*, **23**, p. 151-163.
- TOWNSEND, W.E. & OLSON, D.G. (1994). "Las carnes curadas y su procesado". En Price, J.F. & Schweigert, B.S. *Ciencia de la carne y de los productos cárnicos*. Zaragoza, Acribia. Cap. 12, p. 393-414.
- TROUT, G. & SCHMIDT, G.R. (1986). "Effect of phosphates on the functional properties of restructured beef rolls: the role of pH, ionic strength, and phosphate type". *J.Food Sci.*, **51**, p. 1416-1419.
- TROUT, G. & DALE, S. (1990). "Prevention of warmed-over flavour in cooked beef: effect of phosphate, phosphate concentration, a lemon juice/phosphate blend, and beef extract". *J. Agric. Food Chem.*, **38**, p. 665-669.
- TROUT, G.R. (1991) "Prevention of colour defects in meat and meat products". *Food Australia*, **43**, p. 52-56.
- UNE (1982a). "Norma Española 72-012: Observador fotométrico UNE 1 (para visión fotópica)". Madrid, Instituto Español de Normalización (IRANOR).

- UNE, (1982b). Norma Española 72-036: “Especificación de diferencias de color psicofísicas”. Madrid, IRANOR
- UNE (1983). Norma Española 72-031: “Magnitudes colorimétricas”. Madrid, IRANOR.
- UNE (1984a). Norma Española 40-080: “Determinación de coordenadas cromáticas CIE”. Madrid, IRANOR.
- UNE (1984b). Norma Española 72-032: “Especificación numérica del color psicofísico de estímulos luminosos”. Madrid, IRANOR.
- URBAIN, W.M. & CAMPBELL, J.F. (1994). “La conservación de la carne”. En Price, J.F. & Schweigert, P.S. *Ciencia de la carne y de los productos cárnicos*. Zaragoza, Acribia. Cap. 10, p. 337-375.
- van den OORD, A.H. & WESDORP, J.J. (1971a). “Colour rating and pigment composition of beef”. *J. Food Technol.*, **6**, p. 15-20.
- van den OORD, A.H. & WESDORP, J.J. (1971b). “Analysis of pigments in intact beef samples”. *J. Food Technol.*, **6**, p. 1-13.
- van LAACK, R.L. & SOLOMON, M.B. (1995). “The effect of postmortem temperature on pork colour and water holding capacity”. *Proc. 41th International Congress of Meat Science and Technology*. San Antonio (Texas), **E54**, p. 650-651.
- VARNAM, A.H. & SUTHERLAND, J.P. (1998). “Carne y productos cárnicos”. Zaragoza, Acribia.
- VENDEUVRE, J.L. (1982). “Elaboración de chacinados secos y salazones”. 1^{ra} Parte. *Noticiteca*, **12**(72), p. 114-125.
- VÖSGEN W. (1993). “Curado: ¿Son necesarios o superfluos el nitrito o nitrato como agentes curantes?”. *Fleishwirtsch español*, **2**, p. 25-30.

- WALDMAN, R.; WESTERBERG, D. & SIMON, S. (1974). "Influence of curing ingredients and storage time on the quality of preblended sausage meats and Frankfurters". *J. Food Sci.*, **39**(4), p. 718-722.
- WARRIS, P.D. (1995). "Métodos para evaluar la calidad de la carne de cerdo". *CarneTec*, **2**, p. 18-24.
- WARRIS, P.D. (2003). "Ciencia de la carne". Zaragoza, Acribia.
- WETTASINGHE, M. & SHAHIDI, F. (1996). "Oxidative stability of cooked comminuted lean pork as affected by alkali-earth halides". *J. Food Sci.*, **61**(6), p. 1160-1164.
- WHITAKER, J.R. (1972). "Principles of enzymology for the food sciences". New York, Marcel Decker.
- WIRTH, F. (1990). "Salado y curado de embutidos cocidos y productos curados cocidos". *Fleishwirtsch español*, **2**, p. 52-57.
- WIRTH, F. (1992). "Fijación de agua, fijación de grasa, formación de la estructura". En Wirth, F. *Tecnología de los embutidos escaldados*. Zaragoza, Acribia. Cap. 4, p. 61-82.
- WISMER-PEDERSEN, J. (1994). "Química de los tejidos animales". En Price, J.F. & Schweigert, B.S. *Ciencia de la carne y de los productos cárnicos*. Zaragoza, Acribia. Parte 5, cap. 3, p. 125-138.
- WONG, D.W.S. (1995). "Química de los alimentos. Mecanismos y teoría". Zaragoza, Acribia.
- ZAIKA, L.A.; ZELL, T.E.; PALUMBO, S.A. & SMITH, J.L. (1978). "Effects of spices and salt on fermentation of Lebanon bologna-type sausage". *J. Food Sci.*, **43**, p. 186-189.

ZALDUA, I. (1997). “Influencia de diferentes aditivos sobre las propiedades de color en pastas de anguila”. Proyecto Fin de Carrera. Valencia, E.U.I.T.A., Universidad Politécnica de Valencia.