

res para producir la sensación que producen.

Factores que lo determinan

Las tres características del color dependen en el caso de la carne de diversos factores que de forma esquemática se podrían resumir:

- Saturación. Cantidad del pigmento. Ligado a factores *ante-mortem* fundamentalmente (especie, raza, sexo, edad, alimentación, etc...).
- Matiz-tono. Estado químico del pigmento. Ligado a factores *post-mortem* fundamentalmente (frescura del corte, transformaciones tecnológicas, etc.), aunque está ligado también a la propia biología del músculo.
- Claridad. Estado físico de la carne, especialmente de su superficie. Ligada al pH y otros factores *post-mortem* que determinen el grado de hidratación y estado de las proteínas musculares.

Cantidad de pigmentos

Los pigmentos de la carne están formados en su mayor parte por proteínas: la hemoglobina que es el pigmento sanguíneo y no tiene, en el animal bien desangrado, una gran importancia sobre el color, y la mioglobina o pigmento muscular que constituye del 80 al 90% del pigmento total. Existen otros pigmentos como la catalasa, citocromos, flavinas, etc., que tienen un papel mucho menor sobre el color, aunque son más importantes para los tejidos vivos.

La mioglobina tiene el papel de almacenar O₂ en el músculo y transferirlo al sistema citocromo-oxidasa intracelular. Es una cromoproteína formada por un grupo proteico, y otro prostético que se compone de un átomo de hierro al que se fija el O₂ y una protoporfirina. El grupo proteico está formado por una proteína globular de peso molecular cercano a los 17.000 dalton.

La mioglobina tiene más afinidad por el O₂ que la hemoglobina, pero menos por el óxido de carbono lo que favorece su actividad fisiológica. Por medio del núcleo de hierro tiene la posibilidad de combinarse con otros compuestos (NO, HCN, CO, OH, SO₄, CN) en los procesos tecnológicos.

Estado químico del pigmento (mioglobina)

En la carne fresca, en condiciones normales, la mioglobina se puede presentar en tres formas básicas. El color variará según la proporción relativa y distribución de estos tres pigmentos.

Tipos de pigmentos

- **Mioglobina reducida o desoximioglobina** (hierro ferroso, Fe⁺⁺), Mb. De color rojo púrpura, se encuentra en el interior de la carne, subsiste tras la muerte por la propia actividad reductora del músculo.
- **Oximioglobina o mioglobina oxigenada** (hierro ferroso, Fe⁺⁺), MbO₂. Formada cuando la Mb se pone en contacto con el aire con la consiguiente oxigenación del pigmento, tiene un color rojo brillante y es el color deseado por el consumidor por lo que habrá que intentar alagar su presencia.
- **Metamioglobina o mioglobina oxidada** (hierro férrico, Fe⁺⁺⁺), MetMb. Se forma por exposición prolongada de la anterior al oxígeno o directamente desde la mioglobina reducida cuando las presiones de oxígeno son bajas (alrededor de 4 mm) como es el caso de utilizar determinado tipo de envoltorios. Es de color marrón-pardo y motivo de rechazo por el consumidor (si supone más del 20% del pigmento total en superficie, según Hood y Riordan, 1973, hay un 50% de rechazo).

Entre estos tres tipos del pigmento se forma un equilibrio más o menos estable (fig. 8).

Existen otros tipos de pigmentos como la sulfomioglobina de color verde por acción de bacterias, carboxi-Mb de color rojo cereza en carnes con-

servadas, nitrosMb de color rojo curado, etc.

Igualmente por procesos tecnológicos y con la globina desnaturalizada (los anteriores con la globina nativa) se forman otros compuestos como el nitrosiohemocromógeno de color rosa curado típico del jamón cocido.

Estabilidad del color

La lentitud en la aparición de MetMb en la superficie muscular se considera como un cualidad deseable, hablándose entonces de estabilidad del color. Los mecanismos de autooxidación, la actividad reductora del músculo (MRA) (aspecto éste de gran interés en las investigaciones actuales) y la velocidad de consumo de oxígeno inciden sobre esta estabilidad¹.

Los mecanismos de reducción de la metaMb están todavía mal estudiados a pesar de que ya en 1957 (Rossi-Fanelli *et al.*) se supuso por primera vez de la existencia de un sistema enzimático (hoy parece que actuarán varios) capaz de reducir a la mioglobina oxidada. Aunque otros autores señalan la existencia de una reducción no enzimática, ésta parece poco importante.

La actividad reductora del sistema enzimático, que se ve favorecida con pHs altos, requiere de la presencia de coenzimas como el NADH, NADPH... procedentes del catabolismo tisular y ciertos agentes intermediarios, ¿quinonas?, no bien conocidos.

Los pHs bajos, las débiles presiones de oxígeno, las temperaturas elevadas junto con una mayor presencia de ácidos grasos insaturados (más fácilmente oxidables y oxidantes) en las membranas intracelulares favorecen la autooxidación. La adición de vitamina E y otros antioxidantes actuarían también a este nivel aumentando la estabilidad del color.

Cuadro XXV

Tono	Color subjetivo	% deseable	% indeseable
Rosa pálido	2	56,0	26,0
	3	82,8	6,1
	4	76,5	8,9
	5	65,8	15,9
	6	65,2	22,5
Rojo oscuro	7	13,3	71,0

Fuente: USDA.

OVINO-CAPRINO

Estado físico de la carne, estructura del músculo

El estado físico de la carne está íntimamente relacionado con el pH, ofreciendo las carnes con pHs altos unas coloraciones más oscuras debido a una mayor absorción de la luz (fibras hinchadas por el agua «retenida») y una coloración más clara por el efecto contrario en las carnes con pHs bajos.

Con pHs altos además aumenta la actividad de la citocromo oxidasa por lo que se reducen las posibilidades de captación de oxígeno y por lo tanto hay un predominio de la Mb de color rojo púrpura.

Los pHs bajos además de favorecer la autooxidación del pigmento producen (caída brusca del pH) una marcada desnaturalización proteica (mioglobina) y por todo ello también carnes más claras.

Es más importante para el color este «estado físico» de las proteínas que la cantidad de pigmento² (cuadro XXVI).

Métodos de medida

Los métodos de medida del color los podemos clasificar en tres grandes grupos: Químicos, subjetivos e instrumentales-físicos.

Métodos químicos

Se basan en la medida del conte-

nido en pigmentos de la carne. Diversos autores desarrollaron en los años 50, fundamentalmente, y en la actualidad Karlsson (1991), metodologías analíticas para el estudio del color por vía química. De todos ellos los métodos de Hornsey (1956), y Wierbicki *et al.* (1955) han sido recomendados a nivel de la CEE (Boccard *et al.*, 1981).

Describimos, ya que es el utilizado por nosotros en ovino, el método de Hornsey:

Sobre una muestra de 5 g de carne finamente picada se añaden 1 cc de H₂O destilada para diluir un poco.

A continuación se mezcla con 20 cc de acetona para extraer el pigmento y se agita para evitar que aglutine.

Posteriormente se adicionan 0,5 cc de CIH que separa el grupo hemo de la globina y se forma clorhidrato de hematina.

De la solución es determinada la absorbancia (DO) en cubetas de 1 cm de lado a una longitud de onda de 513 nm.

Los resultados se pueden expresar en mg de pigmento por g de carne fresca o en ppm de Fe.

$$1 \text{ D.O.} = \frac{29 \times 304}{1000} \text{ mg Mb/g de carne}$$

Métodos subjetivos

Ninguna medida objetiva puede sustituir íntegramente a la percepción

del ojo humano. Problemas como las diversas estructuras y cortes musculares, contenido en pigmentos, cantidad y color de la grasa, presencia de conjunto, además de las lógicas diferencias fisiológicas y psicológicas individuales, hacen que la observación directa no sea sustituible con facilidad, aunque esta medida tenga los esperados problemas de las actividades sensoriales humanas: fatiga, falta de repetibilidad en el espacio y en el tiempo y subjetividad (cuadro XXVII).

Se observa que a igual cantidad de pigmentos en el matadero 1 las carnes son clasificadas más claras que en el matadero 2, que sería penalizado. Es preciso uniformizar las condiciones de lectura: ángulo de visión, luz, temperatura, etc...

Dentro de este grupo de métodos estarían:

- **Jurado.** Que daría una nota global sobre el color o respondería a cuestiones sobre descripción, decoloraciones en superficie y aceptabilidad.
- **Patrones plásticos.** De textura, translucidez y espesor semejante a la carne.
- **Atlas Munsell.**
- **Tintómetro de Lovibond,** tanto éste como el anterior se adaptan mal a la carne.

Métodos instrumentales-físicos

Para la realización de estos métodos está recomendado (Boccard *et al.* 1981) tomar las medidas sobre el músculo L. *dorsi*, desde la octava costilla hasta la 1.^a lumbar. La muestra se almacenará en bandejas individuales, con película permeable al oxígeno (como mínimo 1 hora de exposición), y deberá tener al menos 1,5 cm de espesor. Se recomienda realizar diversas lecturas por muestra para evitar los problemas consiguientes a la dirección de las fibras musculares en superficie y a la heterogeneidad de la misma: grasa de infiltración, variaciones de color, etc...

- **Reflectómetros.** Miden la luz reflejada³ por la carne a distintas longitudes de onda (525, 580, 630), tras la exposición a un iluminante dado. Habría que considerar tres conceptos:

El coeficiente de reflexión o reflectancia (R) está íntimamente ligado a la

Concepto	pH último	Pigmento mg/g	Claridad diferencia
Bovino joven*	<5,7	3,6	0 (referencia)
Bovino joven*	>6,0	3,3	9,5
Bovino adulto*	<5,7	6,3	5,2
Bovino 3 ^{er} día de maduración**	<6	3,32a	42,65 a
	6-6,5	3,46a	36,67b
	>6,5	4,08 a	31,62c

* MacDougall, de Renerre, 1982.

** Sañudo *et al.*, 1990.

Clase de color (subjetivo)	Matadero 1	Matadero 2
Blanco	4,62	2,77
Rosa claro	6,46	4,15
Rosa	7,41	5,16
Rojo	9,92	7,65

Fuente: USDA.

estructura del músculo en superficie y en menor medida a la cantidad de pigmentos.

El coeficiente de absorción (K) expresa la luz absorbida por la muestra, depende en gran medida de la cantidad y estado químico de los pigmentos.

El coeficiente de difusión (S) expresa la luz difundida por la muestra. La relación es:

$$K/S = \frac{(1-R)^2}{2R}$$

Los diferentes estados químicos del pigmento tienen curvas de reflectancia y de absorción diferentes y variables según la longitud de onda emitida (fig. 9), lo que ha permitido desarrollar múltiples relaciones para el cálculo del % de los diferentes estados químicos del pigmento presentes en la carne en un momento dado. Así por ejemplo: R507/R573 relacionado con el contenido de %MetMb y %MbO₂ y la aceptabilidad; R582/R525 relacionado con %MbO₂; R630/R525 relacionado con %MetMb; R474/597 relacionado con %Mb; R630-R580 relacionado con la aceptabilidad; K/S572/K/S525 relacionado con el % de MetMb; R632-R612 relacionado con el color en general; (Renerre y Mazuel, 1985).

Existen reflectómetros portátiles: EEL británico, GOFO alemán y RETROLUX francés de utilidad en mataderos para valorar el color en superficie y otros mediante fibras ópticas para medirlo en el interior del músculo: FOP.

— **Colorímetros:** Permiten identificar un color con la ayuda de las coordenadas tricromáticas X, Y, Z¹ y las coordenadas de cromaticidad x, y². Los valores x, y, Y definen un espacio de color.

También con las coordenadas L*, a* b* (CIE, 1976) que definen: claridad L*, índice de rojo a* (cifras negativas darían idea de verde) e índice de amarillo b* (cifras negativas darían idea de azul).

En el cuadro XXVIII damos las cifras medias que hemos obtenido para bovino y ovino por nosotros (sin publicar) con un colorímetro Minolta.

— **Espectrocolorímetros.** Son aparatos que responden mejor a las necesidades de investigación en el campo de color ya que permiten la obtención de un espectro de refle-

cción en todo el campo de la luz visible (380-770 nm) lo que posibilita el cálculo de todas las características del color. Se podría decir que engloban a los dos anteriores con otras ventajas adicionales.

Factores que influyen en su variación

a) **Intrínsecos**

Tipo de músculo

El tipo metabólico del músculo es el factor de variación más importante del color (dentro de un animal) en un momento dado, condicionando directamente la tasa de pigmento, (mioglobina y pigmentos respiratorios), que se puede multiplicar por 2 de un músculo a otro de la canal:

Ovino joven	ppm de Fe hemínico
Semitendinoso	18- 21
Largo dorsal	29-33
Semimembranoso	33-37

(Sañudo, 1980 y Forcada, 1985).

El músculo cardíaco y a continuación el diafragma poseen mayores cantidades de mioglobina que cualquier otro músculo. Los músculos del ala en las aves tienen muy poco pigmento debido a que disponen de un sistema de riego sanguíneo altamente eficaz.

En la canal existe una clara correspondencia: canales más oscuras lo son en todas sus partes. Siendo la jerarquía

entre los diferentes músculos de la canal (semitendinoso más claro, diafragma más oscuro) bastante constante.

Por otra parte la profundidad de la capa superficial⁶ rojo-vivo de la oximioglobina es inversamente proporcional a la actividad respiratoria de los músculos (Lawrie, 1953), así un mayor consumo de O₂ implica menor disponibilidad de éste en superficie.

La estabilidad del color es también dependiente del tipo metabólico. Los músculos con predominio rojo-lento tienen un color inestable, el diafragma y el psoas son un buen ejemplo de ello, el glúteo tendría una estabilidad media y serían estables el largo dorsal y el oblicuo externo.

Especie

Para un mismo músculo el contenido en mioglobina varía según la especie considerada:

	mg/g carne fresca
Caballo	20
Vacuno	15
Ovino	10
Porcino	5
Gallináceas	<5

Dentro de los mamíferos las ballenas y otros cetáceos son las que tienen una mayor cantidad de mioglobina muscular.

Raza

En el ganado bovino se considera que las carnes de las razas lecheras son

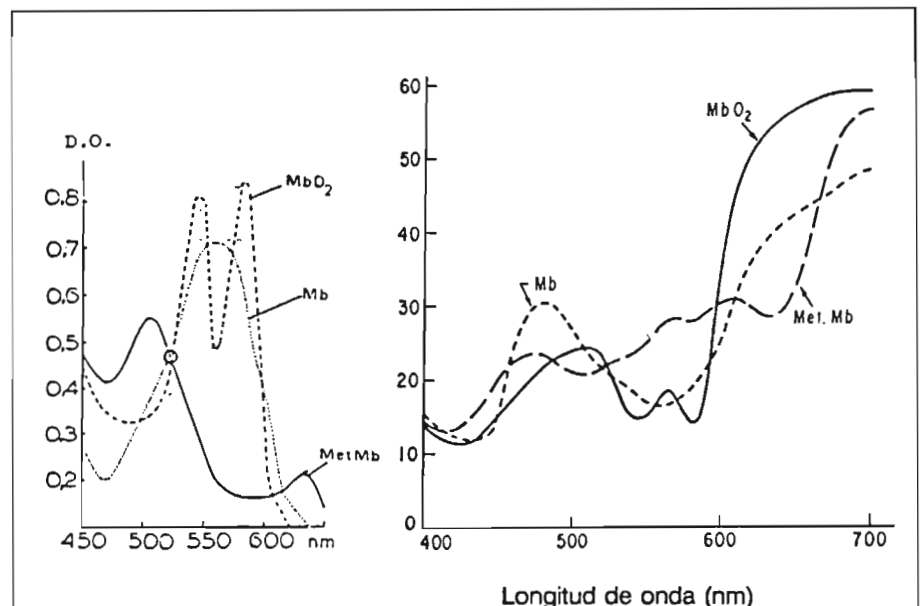


Fig. 9.

OVINO-CAPRINO

más oscuras, por su mayor tono metabólico, a la misma edad. Pero a un mismo grado de madurez, expresado en % del peso vivo adulto, no hay diferencias raciales.

En el ganado ovino ciertas diferencias se ponen también de manifiesto siendo la precocidad un factor de variación importante.

Corderos jóvenes sacrificados al mismo peso sacrificio

	Color mg Mb/g de carne
Ojinegra de Teruel	3,04a
Rasa Aragonesa	2,49b
Rasa Fleischschaf	2,86b

(Saludo *et al.*, sin publicar).

Por otra parte la hipertrofia muscular implicaría colores más claros por un aumento de la proporción de fibras blancas.

Sexo

En general, aunque las diferencias no son importantes, se puede decir que las hembras tienen las carnes más oscuras (mayor contenido en pigmentos) que los machos.

Edad

Lawrie indicó el aumento del contenido en pigmento con la edad siendo, según este autor, muy rápido desde el primer año en el caso del cerdo y durante los 2 primeros años en el caso del caballo.

En el caso del bovino parece que este incremento del pigmento muscular es especialmente importante entre los 9 y 16 meses de edad en la raza Limousine, teniendo a esta última edad semejante cantidad de pigmentos que en los adultos, y más tempranamente en el caso del Frisón (Renerre y Valin, 1979).

Este incremento en la tasa de mioglobina está relacionado con el aumento de la infiltración grasa intramuscular lo que crearía mayores dificultades de oxigenación.

Por otra parte, y según estos mismos autores, la estabilidad del color tiende a disminuir con la edad.

En el ganado ovino el factor edad es también un factor importante de variación (cuadro XXIX).

Cabe destacar que la influencia de la edad es más o menos marcada según los músculos, el m. L. *dorsi* es precoz en la formación de su mioglobina. En el ganado ovino estudios en este sentido deberían ser realizados.

b) Extrínsecos

Ejercicio, altitud

Un mayor ejercicio y el pastoreo a mayor altitud exigen al organismo una oxigenación más alta y más dificultosa y por lo tanto existe una mayor cantidad de pigmentos.

Sistema de explotación-alimentación

Los animales lactantes tienen carnes más claras por la anemia producida ya que la leche no tiene hierro.

En general se admite que dietas forrajeras darían carnes más oscuras, aunque diversos autores indican que en los rumiantes la naturaleza del alimento (hierba, cereales) influye poco en el color, debido a las intensas transformaciones que sufren los alimentos en el rumen.

Alberti *et al.* (1991) encuentra prácticamente el mismo color en animales alimentados con pienso o con dietas forrajeras hasta el sacrificio (Bovino) coincidiendo en ello con otros autores.

La restricción alimenticia tienen escasa influencia sobre la cantidad de pigmento aunque el menor engrasamiento podría dar colores aparentemente más oscuros.

Dentro de un mismo tipo comercial en la especie ovina (idéntico peso sacrificio) cuando combinamos factores como alimentación, sistema de explotación, edad, etc., encontramos pro-

ductos marcadamente diferentes, siendo el color uno de los principales factores de esta variación. Los animales de más edad, con dietas forrajeras y/o destetados, y de sistemas de explotación extensivos son los que presentan carnes más oscuras (cuadro XXX).

Tratamientos hormonales

Los tratamientos hormonales (testosterona-estradiol) no parecen tener efectos importantes sobre el color de la carne. Así Sañudo *et al.* (1986) en ovino, no encuentran diferencias significativas en machos ni en hembras y Renerre *et al.* (1989) tampoco las encuentran en bovino (cuadro XXXI).

Estrés pre-sacrificio

En otras especies ganaderas (no en el ganado ovino), más susceptibles al estrés *ante-mortem*, es este factor una de las causas más importantes que afectan al color de la carne, junto a otras variables de calidad como ya se ha visto (pH y CRA) e iremos viendo. Así Warriss *et al.* (1989) estudian en el ganado porcino el color de la carne según el tipo de ésta: normal o estresada (cuadro XXXII).

En el caso del ganado ovino según Brazal y Bocard las diferencias en color existentes entre los animales experimentales y testigos son debidas a la peor sangría, provocada por la dilatación de capilares normalmente cerrados, de los animales experimentales⁷.

Factores tecnológicos diversos

La importancia creciente de venta de carne en grandes superficies, en bandejas con películas permeables al oxígeno, y la necesidad de estudiar sistemas tecnológicos que mejoren, en tiempo y calidad, la conservabilidad de la carne, hacen que sean muchos los estudios que se realizan sobre su color. — Tiempo-Temperatura. Enfriamien-

Cuadro XXVIII

Concepto	x	Z	Y	x	y	L*	a*	b*
Bovino (color claro)	11,5-17	9,5-12	10-14	375-390	317-323	38-42	15-16	6 -8
Bovino (color medio)	9 -11	8,5-10	8-10	355-360	310-315	31-37	11-12	4 -4,4
Bovino (color oscuro)	7 - 8	6 - 6,5	6- 6,5	360-370	314-317	28-30	9-12	3,4-4
Ovino joven						46-48	16-18	7 -8

OVINO-CAPRINO

tos muy lentos producirían un aumento de la luminosidad y por lo tanto de la claridad.

- Estimulación eléctrica de la canal. Parece que intensificaría el color rojo vivo y disminuiría el «heat-ring», fina capa de mioglobina oxidada que se forma en la periferia del músculo. No tiene gran influencia sobre el contenido en pigmentos de la carne

de cordero, aunque sí sobre la claridad y estabilidad del color (mejores en los animales tratados) (Renerre y Dantchev, 1987).

- Luz. La luz acelera la oxidación.
- Temperatura. La temperatura acelera las reacciones de oxido-reducción.
- Ultravioletas. Decoloran ya que tienen la propiedad de desnaturalizar las proteínas.

Cuadro XXIX			
Contenido en Fe hemínico			
Músculo	Edad (meses)		
	3	6	9
Semimembranoso	0,87	1,51	1,83
Largo dorsal	0,79	1,14	1,41
Pectoral profundo	0,67	0,97	1,12
Semitendinoso	0,43	0,77	0,90

Boccard y Dumont, 1976.

Cuadro XXX		
Suffolk x Scottish		
Concepto	Destetado	No destetado
Claridad	28,8	33,1 **
Tono	26,9	31,8 NS
Saturación	16,3	15,7 NS

Rhodes, 1971.

Cuadro XXXI					
Concepto	Control	Revalor	Maturex	Maturex + Revalor	F
F.O.P.	48,5	48,6	53,5	52,7	NS
Pigmento (mg Mb/g)	0,95	0,92	0,91	0,85	NS

Cuadro XXXII			
	Carne		
	PSE	Normal	DFD
pH 45	5,54	6,07	6,38
pH 24 h.	5,39	5,45	6,29
FOP 24 h.	45,3	26,8	11,0
EEL	59,8	44,2	27,4
L*	60,6	54,4	45,4
Valoración subjetiva (1DFD-5PSE)	4,2	3,1	1,6

Cuadro XXXIII				
Tiempo de maduración	Tiempo de exposición al aire (minutos)	% Mb	% MbO₂	% MetMb
24 horas	0	76,2	20,1	3,7
	30	39,4	46,6	14,1
6 días	0	74,0	15,7	10,3
	30	18,1	68,2	13,7

Sleper et al., 1983.

- Tiempo de maduración-exposición al aire. Que va modificando la importancia relativa de los diferentes estados químicos del pigmento a lo largo de la maduración (cuadro XXXIII).

- Técnicas de envasado-conservación. La conservación al vacío, en ausencia de O₂, conduce a la carne a presentar el color oscuro propio de la Mb, lo que la hace poco atractiva para el consumidor. El envasado en atmósferas controladas (O₂ + CO₂ por ejemplo) puede solucionar este problema pero no permite conservaciones tan largas como en el caso anterior.

Otras atmósferas pueden tener incidencias sobre el estado químico de los pigmentos, aumentando o disminuyendo mucho la velocidad de autooxidación.

- Calentamiento y empleo de diversos aditivos. El calor produce importantes modificaciones en las proteínas musculares y en otros compuestos como los azúcares (reacción de Maillard que daría color tostado-dorado) que transforman completamente el color de la carne fresca. Igualmente la adición de conservantes como los nitratos-nitritos, etc. originan importantes modificaciones del color.

Notas

¹ Parece ser que existe alguna heterogeneidad en la posición del grupo hem en la proteína lo que puede influir en la estabilidad.

² En ovino (carnes no problemáticas) hemos encontrado correlaciones del orden de -0,7 entre la cantidad de Mioglobina y las medidas L* o Y, sin publicar.

³ Por lo tanto no miden color propiamente.

⁴ Llamadas valor triestímulo:
Y = % de claridad por reflexión;
X = $\frac{x}{y}$ - Y (cantidad de rojo);

Z = $\frac{1-x-y}{y}$ - Y (cantidad de azul).

⁵ x = $\frac{X}{X+Y+Z}$; y = $\frac{Y}{X+Y+Z}$

⁶ Los gases del aire se difunden hacia el interior estableciendo un gradiente de oxígeno (y consecuentemente de color) desde la superficie hacia el interior del músculo.

⁷ En uno de los lotes emplean sulfato de magnesio como tranquilizante lo que ha podido influir sobre la permeabilidad capilar. En todo caso la incidencia de este problema, en canales normalmente comercializadas, debería ser estudiada.