

170 1674  
3



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN**  
**MAESTRÍA EN PRODUCCIÓN Y SALUD ANIMAL**

**VARIACIÓN ESTACIONAL EN LA COLORACIÓN DEL TEJIDO  
ADIPOSO BOVINO Y SU IMPACTO EN LA GANADERÍA  
TROPICAL**

289573

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRO EN CIENCIAS PRESENTA:

**SAÚL BARRÓN GUTIÉRREZ**

Asesor. ARMANDO SHIMADA MIYASAKA  
Coasesor. MA. OFELIA MORA IZAGUIRRE





Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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

100 1674  
3



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN**  
**MAESTRÍA EN PRODUCCIÓN Y SALUD ANIMAL**

**VARIACIÓN ESTACIONAL EN LA COLORACIÓN DEL TEJIDO  
ADIPOSO BOVINO Y SU IMPACTO EN LA GANADERÍA  
TROPICAL**

289573

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRO EN CIENCIAS PRESENTA:

**SAÚL BARRÓN GUTIÉRREZ**

Asesor. ARMANDO SHIMADA MIYASAKA  
Coasesor. MA. OFELIA MORA IZAGUIRRE



## ***Dedicatoria***

***A las personas que más amo y respeto,  
por orden de aparición:***

***Mis padres***

***Mis hermanos y hermanas***

***Mis sobrinos y sobrinas***

## ***Agradecimientos***

- Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por su apoyo económico para realizar mis estudios de maestría y por financiar el proyecto: L0062-B9607.
- A la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y a la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (FESC), por brindarme la oportunidad de escalar un peldaño más en mi formación académica.
- Al Dr. Armando Shimada Miyasaka y a la Dra. Ofelia Mora Izaguirre, por la confianza, amistad y gran apoyo que me han brindado durante mis estudios de maestría.
- Al Dr. Víctor Manuel Castaño Meneses, por su amistad y apoyo en mi formación académica.
- A los miembros del jurado, por su valiosa contribución al examinar y mejorar este trabajo.
- A los investigadores del Centro Nacional de Investigación en Fisiología y Mejoramiento Animal, por brindarme su amistad y compartirme parte de sus conocimientos y experiencias.
- A la Unión Ganadera Regional de Tabasco, por las facilidades brindadas en la recolección de muestras e información.
- Al laboratorio de Toxicología de la Universidad Autónoma de Querétaro, por su apoyo para realizar los análisis de muestras, especialmente a la Dra. Flavia Loarca.
- Al Dr. Carlos García Bojalil, por su apoyo en la recolección de información en los rastros del sureste mexicano.
- A mis amigos y amigas, porque con su amistad, han hecho agradable el paso por la Universidad Nacional Autónoma de México.

## **Resumen**

Saúl Barrón Gutiérrez. 2000. VARIACIÓN ESTACIONAL EN LA COLORACIÓN DEL TEJIDO ADIPOSEO BOVINO Y SU IMPACTO EN LA GANADERÍA TROPICAL. Tesis de maestría. Asesor: Armando Shimada Miyasaka.

En el ganado bovino engordado en pastoreo se observa la pigmentación del tejido adiposo de la canal, ocasionada por la deposición de carotenoides provenientes de los forrajes frescos que consumen. Los principales pigmentos responsables de tal pigmentación son  $\beta$ -caroteno y luteína. Dicha pigmentación causa un problema de comercialización, por rechazo del producto por parte de los consumidores. Así, esta investigación tuvo como objetivos: 1) estimar las pérdidas económicas generadas por canales pigmentadas; 2) determinar la asociación entre concentración de carotenoides, pigmentación y perfil de ácidos grasos en diferentes sitios de la canal (esternón, costilla y maslo) de bovinos en pastoreo, en dos épocas del año. Las pérdidas económicas se estimaron, realizando una búsqueda de canales pigmentadas en los archivos del rastro Tipo Inspección Federal (TIF) de Villahermosa, Tabasco, durante el periodo 1988-1999. Los carotenoides y ácidos grasos fueron determinados mediante cromatografía líquida de alta resolución (HPLC). La medición del color del tejido adiposo fue realizada, de manera objetiva, mediante un colorímetro (Minolta-C2002). Los resultados indican que para 1999, 0.98 % de los bovinos provenientes de pastoreo presentan problemas de comercialización. Se ha estimado que para ese año, 7,750 t de carne fueron castigadas en el precio de compra por excesiva pigmentación. Se encontró una alta correlación entre concentración de carotenoides y color del tejido adiposo; contrario a esto, el perfil de ácidos grasos no tiene ninguna relación con el color de la grasa de la canal, no existiendo diferencias cualitativas entre concentración de carotenoides, color y perfil de ácidos grasos en los diferentes sitios de la canal. Se concluye que en el ganado, es factible predecir la concentración de carotenoides en función de lecturas ópticas.

**PALABRAS CLAVE:** carotenoides, grasa amarilla, calidad de la carne, bovinos

## **Abstract**

Adipose tissue pigmentation in the carcasses of pasture-finished cattle is observed due to the deposit of carotenoids from the fresh forages that they consume. The pigments responsible for the coloration of the yellow fat are mainly  $\beta$ -carotene and lutein. This pigmentation causes a commercialization problem due to consumer rejection of the product. The objectives of this investigation were: 1) to estimate the economic losses generated by yellow carcasses; 2) to determine the relationship among carotenoid concentration, pigmentation and fatty acids profile in different sites of the carcass (sternum, 13<sup>th</sup> rib, and rump region near the base of the tail) of pasture-fed cattle. The economic losses were assessed through a search of information a yellow carcass contained in files of federal slaughter house in Villahermosa, Tabasco, during the period 1988-1999. The carotenoid and fatty acids were determined by HPLC. The color measurements of the adipose tissue were carried out, in an objective way, by means of a colorimeter (Minolta-C2002). The results indicate that by 1999, 0.98 % of pasture-finished cattle presents commercialization problems. It was calculated that in 1999, 7,750 metric t of meat were punished with a lower price of excessive pigmentation. A high correlation between carotenoid concentration and color of the adipose tissue was found; however, the fatty acids profile didn't have any relationship with the color of the fat of the carcass; there were no qualitative differences among carotenoid concentration, color and fatty acids profile in the different places of the carcass. It is concluded that, in pasture-finished cattle, it is feasible to predict the carotenoid concentration of fat from optical readings.

**WORDS KEY:** Carotenoides, Yellow Fat, Meat Quality, Tropics, Cattle.

---

## CONTENIDO

Índice de cuadros	<i>vii</i>
Índice de figuras	<i>viii</i>
1. Introducción	1
2. Revisión de literatura	3
2.1. Características de los carotenoides	6
2.1.1. Biológicas	6
2.1.2. Químicas	12
2.1.3. Físicas	13
2.2. Funciones de los carotenoides en plantas	16
2.3. Metabolismo de los carotenoides en animales	17
2.4. Determinación de carotenoides	23
2.5. El color en la calidad de los alimentos	24
3. Hipótesis	28
4. Objetivos	28
5. Impacto Económico de la Pigmentación del Tejido Adiposo Bovino en la Ganadería Tropical	39
6. Yellow Pigmentation of Adipose Tissue of Pasture-Fed Tropical Cattle as Related to Its Carotenoid Concentration and Fatty Acid Profile	45
7. Discusión general	57
8. Conclusiones	60
9. Referencias	61
10. Anexos	65

## **LISTA DE CUADROS**

CUADRO 1. Actividades biológicas de los carotenoides	7
CUADRO 2. Actividad relativa de vitamina A de los carotenoides	8
CUADRO 3. Conversión de $\beta$ -caroteno a vitamina A por diferentes especies	9
CUADRO 4. Longitud de onda de máxima absorción de isoprenoides	15
CUADRO 5. Colores espectrales en la región visible	66

### **Artículo 1**

CUADRO 1. Animales sacrificados y pigmentados por año y tipo, en el rastro TIF de Villahermosa, Tab.	40
CUADRO 2. Castigo a canales pigmentadas en el rastro TIF de Villahermosa, Tab.	41
CUADRO 3. Carne pigmentada con problemas de comercialización en la región tropical.	42

### **Artículo 2**

CUADRO 1. Colour measumerents of adipose tissue of pasture-fed tropical cattle, on three different sampling sites. Group 2.	55
CUADRO 2. Pearson correlation coefficients between colour measurements and carotenoid concentrations in adipose tissue of pasture-fed tropical cattle. Group 1.	55
CUADRO 3. Pearson correlation coefficients between colour measurements and carotenoid concentrations in adipose tissue of pasture-fed cattle, sampled from three sites. Group 2.	56
CUADRO 4. Fatty acid profile of subcutaneous adipose tissue of pasture-fed tropical beef cattle, sampled from three different sites, %. Group 2.	56

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. Algunos carotenoides pigmentantes	4
FIGURA 2. Estructura del $\beta$ -caroteno	5
FIGURA 3. Degradación del todo- <i>trans</i> - $\beta$ -caroteno	13
FIGURA 4. Espectro de absorción de $\beta$ -caroteno en diferentes disolventes	16
FIGURA 5. Degradación enzimática del $\beta$ -caroteno a retinol	19
FIGURA 6. Espectro electromagnético	65
FIGURA 7. Teoría electromagnética de la luz	69
FIGURA 8. Representación gráfica de la ley de Snell	70
FIGURA 9. Reflexión (a), reflexión difusa (b)	72

### Artículo 1

FIGURA 1. Comportamiento estacional de canales pigmentadas, 1988-1999.	43
FIGURA 2. Incidencia de canales pigmentadas de 1996 a 1999.	44

## 1. INTRODUCCIÓN

En el ganado bovino engordado en pastoreo se observa la pigmentación del tejido adiposo de la canal, debido al depósito de carotenoides provenientes de los forrajes frescos que consumen. En bovinos, el principal pigmento responsable de la coloración del tejido adiposo es el  $\beta$ -caroteno, seguido de la luteína (Morgan *et al.*, 1969).

Para ciertos mercados, esta pigmentación del tejido adiposo de la canal provoca un problema de comercialización, ya que los consumidores suponen que la carne es de animales viejos, es carne dura y que proviene de animales de desecho (Hill, 1968). Lo cierto es, que la carne proveniente de animales engordados en pastoreo presenta características organolépticas y nutricionales muy similares a la carne proveniente de animales engordados con dietas altas en concentrado (Simonne *et al.*, 1996).

En México, existen más de 120 millones de hectáreas dedicadas a la actividad ganadera, donde se pastorean más de 20 millones de cabezas de ganado (SAGAR, 1994). La engorda de bovinos con dietas altas en concentrados está limitada por la competencia que existe por los granos con los no-rumiantes, en donde son ampliamente utilizados. Aún así, en los estados del norte del país, la engorda en corral es un sistema de producción generalizado. La producción de carne de bovino con base en la utilización de praderas y agostaderos es una actividad predominante en gran parte del país y se hace más evidente en los estados del sur, donde existe una extensa superficie no apta para labores agrícolas y susceptible a pastoreo

El ganado bovino engordado en corrales utilizando dietas altas en concentrado, a diferencia del proveniente de pastoreo, consume menos  $\beta$ -caroteno y, por lo tanto, no deposita pigmentos que causen una coloración del tejido adiposo (Forrest, 1981). Sin embargo, en nuestro país el sistema de producción de carne de bovino en corral se limita a los estados del norte y del centro, no siendo una alternativa recomendable para los estados del sur. Se han

realizado diversas investigaciones con el objeto de despigmentar canales amarillas. Se ha encontrado que someter a los animales provenientes de pastoreo a periodos cortos de engorda en corral utilizando dietas altas en concentrados, logra reducir la pigmentación amarilla de las canales en gran medida (Craig *et al.*, 1959; Dinius y Cross, 1978; Forrest, 1981; Hidiroglou *et al.*, 1987); sin embargo, el problema solo se resuelve parcialmente y en algunos casos no es una alternativa viable (Hedrick *et al.*, 1983).

Numerosos reportes han asociado al perfil de ácidos grasos en la grasa como factor determinante de algunas características organolépticas de la canal de bovinos en pastoreo. MacGregor (1965) ha sugerido que existe una relación entre el color de la grasa y el contenido de ácido palmítico (16:0) en el tejido adiposo. Por otra parte, Zhou *et al.* (1993) encontraron que el ácido oleico (18:1) mostró una correlación con la concentración de carotenoides y el color amarillo ( $b^*$ ) de la grasa de 0.68 y 0.72, respectivamente.

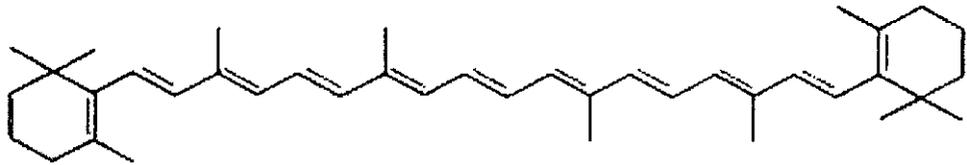
Dada la aparente magnitud del problema y la escasa información existente sobre el tema, se plantea la presente investigación, cuyo objetivo general fue cuantificar las pérdidas económicas ocasionadas por la pigmentación amarilla de la grasa subcutánea de canales bovinas. Asimismo, se determinó la asociación existente entre la concentración de carotenoides, pigmentación y perfil de ácidos grasos del tejido adiposo subcutáneo de bovinos finalizados en pastoreo, en el trópico mexicano. La información que se genere resultará ser esencial, si se requiere, en un futuro, implementar procedimientos y/o productos que permitan resolver el problema de la pigmentación del tejido adiposo de bovinos finalizados en pastoreo.

## 2. REVISIÓN DE LITERATURA

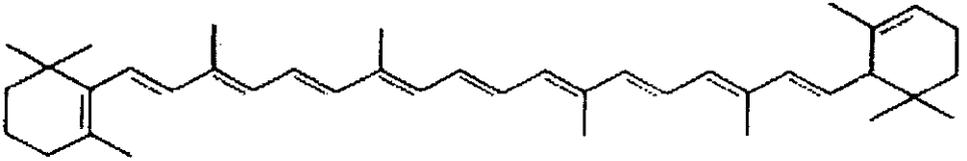
Los carotenoides son compuestos naturales formados por ocho unidades isopropenoides. Se considera que todos los carotenoides se derivan del licopeno, mediante reacciones de hidrogenación, deshidrogenación, ciclización, inserción de oxígeno, migración de dobles enlaces, migración de metilos y elongación o acortamiento de la cadena. Estos compuestos dan una pigmentación desde amarillo-naranja a rojo. De acuerdo a su estructura química, se clasifican en dos grupos: carotenos, constituidos por carbono e hidrógeno, y xantofilas, constituídas por carbono, hidrógeno y oxígeno. En la **figura 1** se presentan algunos ejemplos de carotenoides con propiedades pigmentantes. Se encuentran ampliamente distribuidos en la naturaleza; han sido identificados en organismos fotosintéticos y no fotosintéticos, principalmente en plantas superiores, algas, hongos y bacterias. Los carotenoides son los responsables de la gran variedad de colores en vegetales, frutas, flores, hongos, aves, insectos, crustáceos y truchas (Goodwin, 1992). Sólo los microorganismos y las plantas pueden sintetizar carotenoides; la presencia de estos compuestos en los animales depende de estas dos fuentes. Los animales sólo pueden modificar la estructura de estos compuestos durante su metabolismo y acumulación en tejidos (Tee, 1992).

En la naturaleza existen más de 600 carotenoides identificados. El número de carotenos es relativamente bajo; la mayoría son xantofilas. En general los carotenoides son de 40 carbonos, y son producidos en las plantas superiores; sin embargo, existen carotenoides de C30, C45 y C50, producidos por algunas bacterias no fotosintéticas. La unión de las unidades de isopreno se lleva a cabo de manera normal de cabeza a cola, excepto en el centro de la molécula, donde el orden es inverso al esqueleto de C40 (**Figura 2**). Los dos grupos metilo centrales están en las posiciones 1 y 6, los restantes no terminales están en las posiciones 1 y 5 (Gross, 1987; Parker, 1992; Tee, 1992).

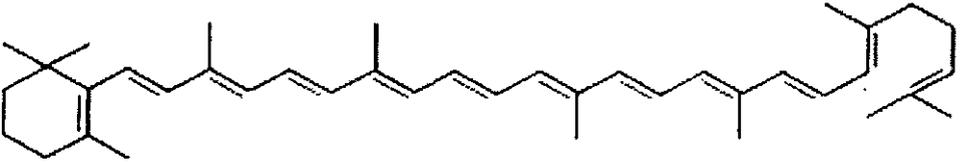
$\beta$ -Caroteno



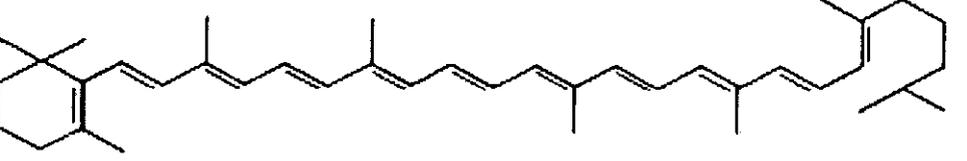
$\alpha$ -Caroteno



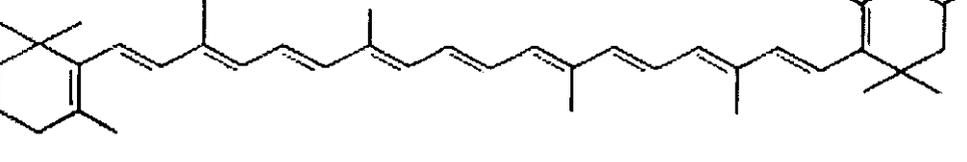
$\gamma$ -Caroteno



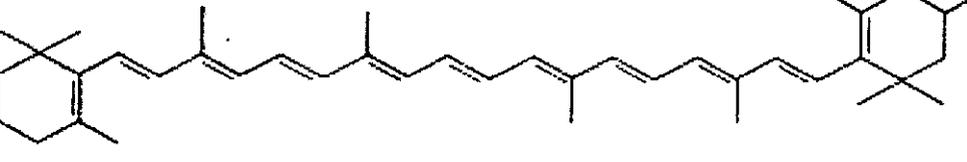
$\beta$ -Zeacaroteno



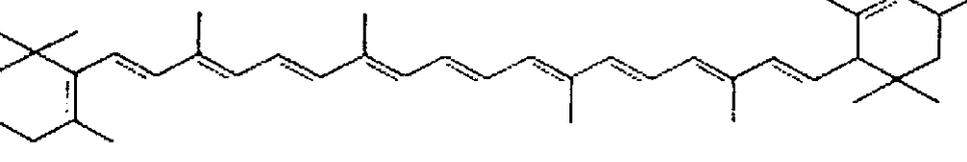
Cryptoxantina



Zeaxantina



Luteína



**Figura 1.** Algunos carotenoides pigmentantes (Tomado de McDowell, 1989).

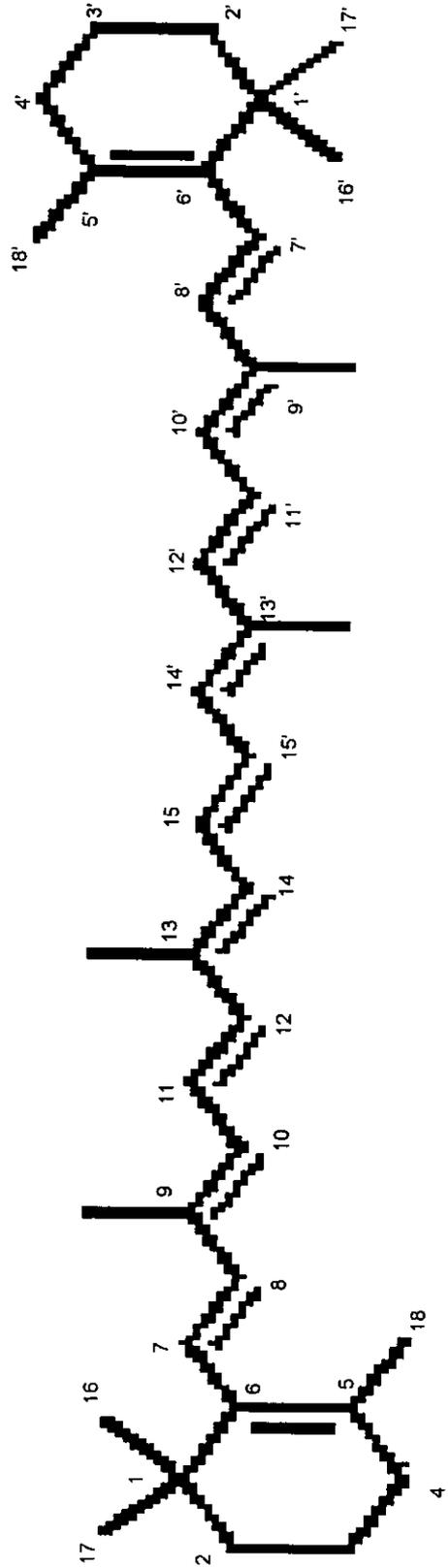


Figura 2. Estructura del  $\beta$ -caroteno

## 2.1. Características de los Carotenoides

### 2.1.1. Biológicas

La actividad biológica de los carotenoides se considera de tres formas diferentes (**Cuadro 1**):

- **Funciones**, se definen como aquéllas en donde los carotenoides juegan un papel esencial y su ausencia produce alteraciones fisiológicas e incluso la muerte.
- **Acciones**, son aquéllas en donde la administración de carotenoides causa una respuesta fisiológica o farmacológica, pudiendo ser benéfica o perjudicial.
- **Asociaciones**, se definen como correlaciones entre los carotenoides y algún evento fisiológico o médico, pudiendo mostrar alguna relación casual (Olson, 1989).

La función más importante de los carotenoides es la de ser precursores de vitamina A. A su vez, la vitamina A cumple funciones vitales en el organismo: visión, mantenimiento de membranas celulares y tejidos epiteliales, mejora el comportamiento reproductivo, crecimiento, respuesta inmune, etc. (McDowell, 1989). Aunque existen alrededor de 600 compuestos carotenoides, menos del 10% posee actividad de provitamina A. De todos ellos, el  $\beta$ -caroteno es el que tiene la actividad más alta (**Cuadro 2**). Un  $\mu\text{g}$  de  $\beta$ -caroteno equivale a 0.167  $\mu\text{g}$  de retinol o 0.56 UI de vitamina A. La eficiencia de conversión de carotenoides a vitamina varía dependiendo de la especie; así, 1 mg de  $\beta$ -caroteno equivale a 400-450 UI de vitamina A en bovinos, mientras que en aves y ratas equivale a 1667 UI (Tee, 1992); contrario a esto, el gato y el visón no pueden efectuar la conversión a vitamina A (**Cuadro 3**). Estas variaciones se deben, primero, a la diferente habilidad de los mamíferos en absorber, transportar y convertir los carotenoides a vitamina A, y segundo, a que existen otros factores que afectan el requerimiento y, por lo tanto, la eficiencia de conversión, tales como: nivel de consumo, tipo de animal, estado fisiológico, salud, medio ambiente, etc.

**Cuadro 1.** Actividades biológicas de los carotenoides

Efecto	Actividad biológica
Funciones	Precusores de vitamina A
Acciones	Antioxidantes (a baja presión de oxígeno) Pro-oxidantes (a alta presión de oxígeno) Mejoran la respuesta inmune Pueden mejorar la fertilidad Reducen los neoplasmas fotoinducidos Inhiben mutagénesis Inhiben la transformación celular in vitro Inhiben el desarrollo tumoral in vivo Evitan el intercambio entre cromátidas
Asociaciones	La ingestión de elevados niveles de carotenoides está asociada con: <ul style="list-style-type: none"><li>• Positivas Disminución de riesgo de cáncer pulmonar Disminución de riesgo de otros tipos de cáncer</li><li>• Negativas Conducta fumadora Riesgo de cáncer pulmonar Displasia cervical.</li></ul>

Adaptado de Bendich y Olson (1989).

El  $\beta$ -caroteno y otros carotenoides pueden funcionar como antioxidantes. Esta función es independiente a su actividad provitamínica; la vitamina A no puede atrapar los radicales libres y tiene un pobre poder antioxidante. Un antioxidante biológico, es un compuesto que protege un sistema biológico contra los efectos dañinos de reacciones que pueden causar oxidaciones excesivas (atrapando los radicales libres, tales como: superóxido, peróxido de hidrógeno, radical hidróxido, alquilo, entre otros). Por otra parte, Bendich y Olson (1989) mencionan que un

radical libre es aquel átomo o molécula que tiene una o más cargas sin neutralizar, mostrando una tendencia natural a adquirir o ceder un electrón, actuando en lugares muy próximos a donde se producen. Los radicales libres propician la peroxidación de lípidos, causan un daño significativo sobre la funcionalidad de las membranas, enzimas (alteración de su actividad) y ácidos nucleicos (Bendich y Olson, 1989), pueden causar degeneración en el DNA, inactivación de proteínas, despolimerización de polisacáridos y muerte celular (Parker, 1992).

**Cuadro 2.** Actividad relativa de vitamina A de los carotenoides

Compuesto	Actividad biológica (%)
$\beta$ -caroteno	100
$\alpha$ -caroteno	50-54
$\gamma$ -caroteno	42-45
$\beta$ -criptoxantina	50-60
$\beta$ -Apo-8-carotenal	72
$\beta$ -caroteno 5,6-monoepoxido	21
$\beta$ -caroteno 5,8-monofuranoepóxido	50
5,6-Dihidroxy- $\beta$ -caroteno	activo
Citranaxantina	44

Adaptado de Tee (1992).

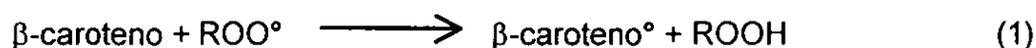
La habilidad de los carotenoides para atrapar los radicales libres, se relaciona con el número de dobles enlaces conjugados, logrando la máxima protección a mayor número de dobles enlaces. Dado que el  $\beta$ -caroteno es el carotenoide más abundante e importante, comúnmente se ha utilizado como modelo para tratar de dilucidar el mecanismo de acción de los antioxidantes carotenoides.

**Cuadro 3.** Conversión de  $\beta$ -caroteno a vitamina A por diferentes especies

Especie	1 mg de $\beta$ -caroteno a UI de vitamina A	UI de actividad de vitamina A (%)
Ganado	400	24
Ovinos	400-450	24-30
Cerdos	500	30
Equinos en crecimiento	555	33.3
Equinos en gestación	333	20
Pollos	1667	100
Perros	833	50
Ratas	1667	100
Zorro	278	16.7
Gato	No utilizado	-
Visón	No utilizado	-
Humano	556	33.3

Tomado de McDowell (1989).

El  $\beta$ -caroteno es fácilmente atacado por los radicales peróxido, debido a sus dobles enlaces fácilmente oxidables, formando un radical carotenoide (1):



El radical carotenoide ( $\beta\text{-caroteno}^\circ$ ) puede reaccionar rápida y reversiblemente con  $\text{O}_2$ , llevando a la formación del complejo carotenoide-radical peroxido (2), reacción que depende de la presión de oxígeno, dado que el radical carotenoide se estabiliza por resonancia:



Cuando la presión parcial de oxígeno es muy baja o disminuye, el equilibrio de la reacción se desplaza hacia la izquierda, produciéndose menor concentración del complejo carotenoide-radical peróxido ( $\beta$ -caroteno-OO<sup>°</sup>), reduciéndose por lo tanto la capacidad autooxidante del sistema. El efecto no siempre es benéfico; cuando la presión de oxígeno es alta el equilibrio de la reacción cambia a la derecha y el  $\beta$ -caroteno, debido a la autooxidación, forma radicales peróxidos capaces de actuar como prooxidantes.

Sin embargo, el complejo carotenoide-radical peróxido puede reaccionar con otro radical peróxido libre, llevando a la terminación de la reacción por la formación de productos inactivos (3) (Burton, 1989):



En los tejidos de los mamíferos la presión de oxígeno es muy baja, por lo que el  $\beta$ -caroteno tiene un gran potencial como antioxidante en las reacciones de peroxidación de los lípidos. Teóricamente, todos los carotenoides con un sistema semejante de dobles enlaces conjugados podrían actuar de manera similar (Bendich y Olson, 1989).

Los carotenoides mejoran la respuesta inmune. Se ha encontrado que vacas lecheras, alimentadas con 300 mg/d de  $\beta$ -caroteno durante cuatro semanas preparto presentan menos incidencia de retención placentaria que aquellas alimentadas con su equivalente en forma de vitamina A. Dosis similares durante las primeras 10 semanas de lactancia reducen el conteo de células somáticas en la leche, respecto a la complementación de vitamina A como tal (Chew y Johnston, 1985; Michael *et al.*, 1990). Así, las acciones biológicas de los carotenoides son independientes a su función de provitamina A.

Aparentemente los carotenoides también presentan actividad antimutagénica y anticarcinogénica. Nuevas investigaciones indican que los carotenoides juegan un papel muy importante al incrementar la respuesta inmune y eso conlleva a la reducción del crecimiento de tumores. Existe una asociación

entre altas concentraciones de  $\beta$ -caroteno en sangre y alto consumo de  $\beta$ -caroteno con baja incidencia de ciertos tipos de cáncer en humanos (Ziegler, 1989). En el sistema inmune existen tres tipos de células capaces de reconocer y matar a células cancerosas: macrófagos, células asesinas naturales y células citotóxicas T. La complementación con  $\beta$ -caroteno aumenta el número de estas células inmunes, incrementando su habilidad para destruir a las células cancerosas. Las células inmunes también producen numerosos mediadores químicos, tales como interferón, factor necrótico de tumores, prostaglandinas e interleucina, que pueden directamente matar a las células cancerosas. El reconocimiento del antígeno involucra a los receptores membranales de los macrófagos. El  $\beta$ -caroteno y la cantaxantina, inhiben las pérdidas de estos receptores después de la exposición a intermediarios reactivos oxigenados (Schwartz *et al.*, 1986). Por otra parte, el efecto tumoricida de los carotenoides no ha sido contundente, en algunos estudios (Moon, 1989), se menciona que el efecto depende del *status* de vitamina A, del tejido blanco y del tipo de tumor en cuestión. Así, Ziegler (1989) no encontró ninguna asociación entre el desarrollo de cáncer pulmonar y bajos niveles de carotenoides en suero o plasma.

Algunas investigaciones indican que los carotenoides mejoran la fertilidad. Desde hace varias décadas se ha visto que raciones bajas en  $\beta$ -caroteno provocan problemas reproductivos en animales. Lo primero que se observó fue la dificultad al parto en bovinos (Converse y Meigs, 1941). Estudios más recientes muestran que el  $\beta$ -caroteno juega un papel importante en la eficiencia reproductiva del ganado, aparte de su función provitamínica (Cooke, 1978; Frieseke, 1978; Brief y Chew, 1985; Michal *et al.*, 1990); ellos han reportado que la complementación con  $\beta$ -caroteno disminuye los servicios por concepción, los días abiertos y la retención de placenta; incrementan progesterona en plasma y mejoran el comportamiento productivo de los recién nacidos. Sin embargo, existen otras investigaciones en donde no se han encontrado resultados concluyentes

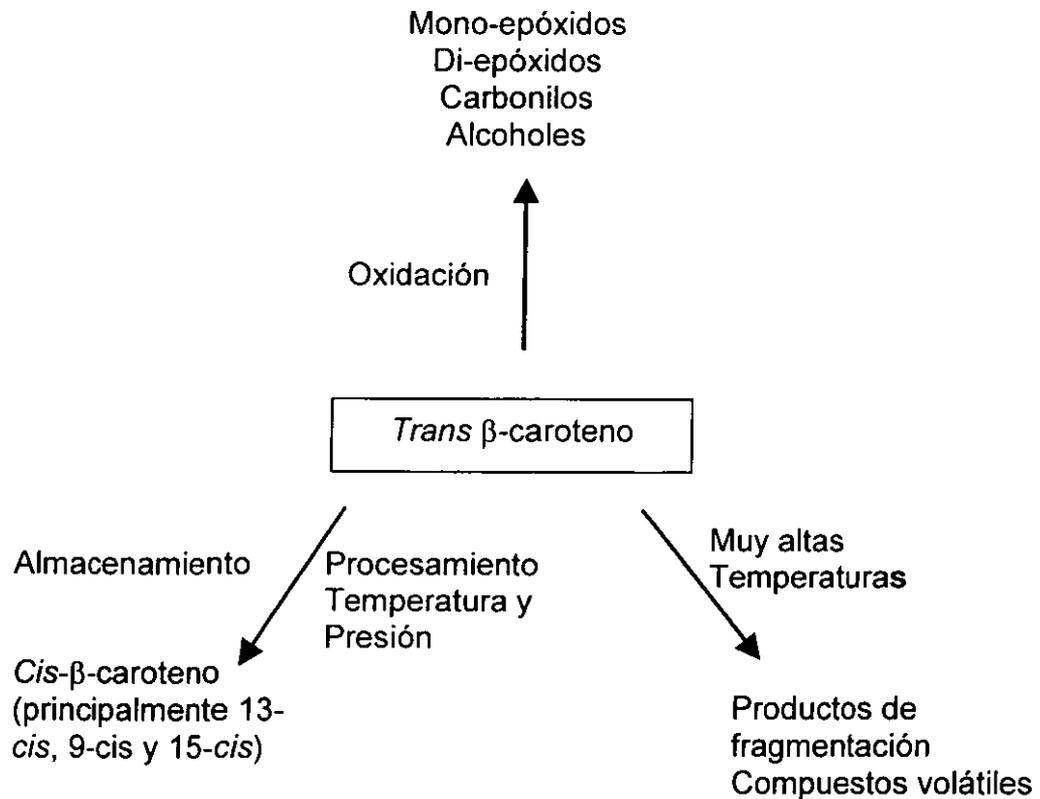
acerca de los efectos benéficos del  $\beta$ -caroteno en la reproducción (Folman et al., 1979; Wang y Larson, 1983; Arechiga et al., 1998).

### 2.1.2. Químicas

Los carotenoides deben su color a sus dobles enlaces conjugados, así como a la presencia de anillos (si es que existen). En estado natural las insaturaciones tienen una configuración *trans* y en algunos casos se presentan algunas isomerizaciones *cis*. Las modificaciones en estas estructuras provocan cambios muy notorios en su color; así, la abertura de los anillos o el aumento de la conjugación produce un cambio hacia el rojo, mientras que la epoxidación o la pérdida de dicha conjugación cambia el color a amarillo. Estos cambios en la estructura también afectan la actividad provitamínica de los pigmentos; así, el *cis*  $\beta$ -caroteno tiene una actividad 13 a 53 % menor, dependiendo del isómero, respecto del *trans*- $\beta$ -caroteno (Parker, 1992).

Los carotenoides están sujetos a muchos cambios químicos por las diferentes reacciones de procesamiento (altas temperaturas, radiaciones electromagnéticas, tratamiento con ácidos, oxígeno, etc.). Son fácilmente oxidables por sus dobles enlaces conjugados (Fennma, 1996). Su oxidación se acelera por el calor; la reacción se cataliza con la presencia de metales de transición, como el hierro y cobre, por la luz y por la disponibilidad de oxígeno. El calor causa la isomerización *trans* a *cis* de algunas insaturaciones, modificando su acción provitamínica. La isomerización forma un gran número de posibles combinaciones, por ejemplo: el  $\beta$ -caroteno tiene 272 isómeros potencialmente diferentes.

Durante la degradación de *trans*- $\beta$ -caroteno, inicialmente se forman compuestos con grupos epóxidos y carbonilos (**Figura 3**); reacciones más fuertes resultan en la formación de compuestos de cadena corta, mono y di-oxigenados, incluyendo el epóxi- $\beta$ -ionona.



**Figura 3.** Degradación del todo-*trans*-β-caroteno (Adaptado de Fennma, 1996).

Las enzimas, principalmente las lipoxigenasas, llevan a cabo esta transformación. Primero catalizan la peroxidación de ácidos grasos insaturados y poli-insaturados, produciendo peróxidos; éstos, a su vez, reaccionan fácilmente con los pigmentos carotenoides (Ben *et al.*, 1971). La estabilidad de los carotenoides probablemente es función de la permeabilidad celular y de la presencia de componentes protectores, siendo más estables en el seno del alimento que en estado puro.

### 2.1.3. Físicas

Los carotenoides son un grupo muy diverso de compuestos y pueden mostrar diferentes características físicas. En estado puro se presentan como cristales de gran variedad de formas, que van de un color rojo a violeta, pudiendo ser casi negros. Su punto de fusión es generalmente alto y tiende a incrementarse

conforme aumenta el peso molecular y los grupos funcionales; son de naturaleza lipídica, por lo que son insolubles en agua, ligeramente solubles en aceites vegetales, moderadamente solubles en hidrocarburos alifáticos y aromáticos, y muy solubles en hidrocarburos clorinados. Particularmente, los carotenos se solubilizan mejor en disolventes apolares, como éter de petróleo y hexano, mientras que las xantofilas se solubilizan mejor en alcoholes, etanol y metanol (Tee, 1992).

Cada carotenoide se caracteriza por su espectro de absorción. La posición de las bandas de absorción, generalmente tres, está en función del número de dobles enlaces conjugados. Al incrementarse el número de éstos, los valores máximos de absorción se desplazan a mayores longitudes de onda (**Cuadro 4**).

La absorción máxima está afectada por la longitud del cromóforo, algunas características estructurales, como la naturaleza del doble enlace (en la cadena o en el anillo), isómeros *cis* o *trans* y el disolvente usado. La absorción máxima de la mayoría de los carotenoides va de 331 a 504 nm y su color está determinado por la luz que reflejan (o transmiten, cuando están en solución). El  $\beta$ -caroteno presenta una absorción máxima de los 425 a 478 nm. Cuando las bandas de máxima absorción se desplazan hacia las regiones de gran longitud de onda, el color incrementa desde amarillo hasta naranja o rojo (Gross, 1987; Tee, 1992). Se ha observado que cuando el número de dobles enlaces aumenta, se incrementa la variación máxima de absorción de 7 a 35 nm. El disolvente empleado en la medición del espectro de absorción de los carotenoides tiene un marcado efecto en la posición máxima y su absorbancia molecular (**Figura 4**). La espectroscopía de resonancia magnética nuclear y la masa espectroscópica han sido herramientas muy útiles en la identificación de la estructura de los carotenoides (Tee, 1992).

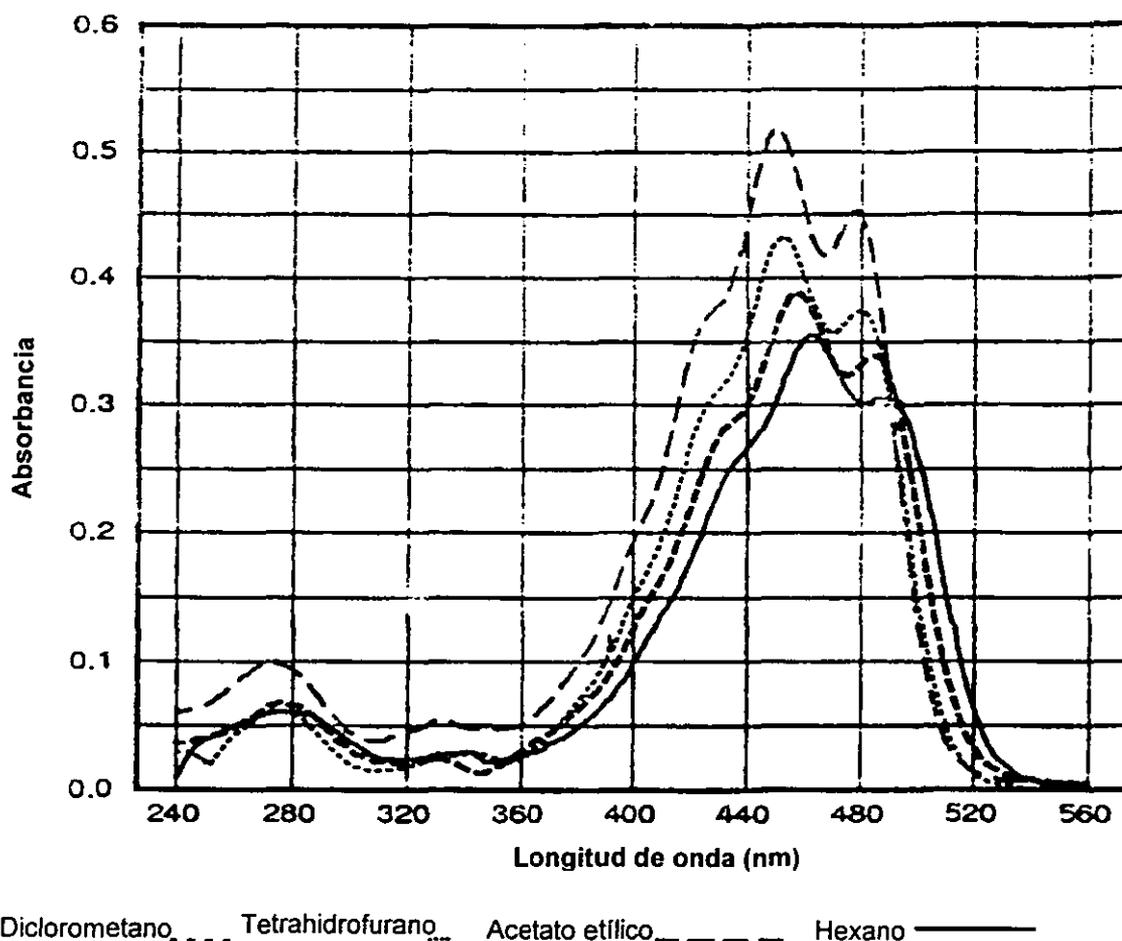
La polaridad de los carotenoides está directamente relacionada con su estructura química, incrementándose conforme aumenta el número de dobles enlaces conjugados. El anillo  $\beta$ -ionona es más polar que el  $\epsilon$ -ionona. En xantofilas, la polaridad del grupo funcional incrementa de menos polar, monoepoxi, a más

polar, hidroxil. Los ésteres de xantofilas son significativamente más polares que los carotenos (Gross, 1987).

**Cuadro 4.** Longitud de onda de máxima absorción\* de algunos hidrocarburos

Compuesto	Dobles enlaces	Absorción máxima (nm)		
		1er. pico	2do. Pico*	3er. pico
Fitoeno	3	276	286	298
Fitoflueno	5	331	347	366
ζ-Caroteno	7	380	401	425
α-Caroteno	8	398	421	449
Neurosporeno	9	416	440	470
ε-Caroteno	9	418	440	471
β-caroteno	9	425	450	478
δ-Caroteno	10	431	456	487
Licopeno	11	443	472	504
1,2-Dihidro-3,4-dihidrolipopeno	12	457	483	518
3,4-dihidrolipopeno	13	468	500	535
3,4,3',4'-bisDehidrolipopeno	15	480	510	540

Tomado de Tee (1992).



**Figura 4.** Espectro de absorción de  $\beta$ -caroteno en diferentes disolventes

## 2.2. Funciones de los Carotenoides en las Plantas

Los carotenoides son importantes en algunos procesos fisiológicos de la planta como, absorción de luz, fotoprotección y un efecto protector contra altas temperaturas, entre otros. Absorben la energía solar en la región azul verdosa del espectro (400 a 550 nm) y la transfieren a la clorofila. Las clorofilas tienen una absorción máxima principalmente de 670 a 680 nm (rojo) y en menor grado de 435 a 455 (azul). La luz reflejada o transmitida no absorbida (luz verde), de longitud de onda intermedia, proporciona el característico color verde a las plantas y a las soluciones de clorofila (Delgado *et al.*; 2000). Los carotenoides, al unirse con proteínas, dan estabilidad (función estructural), y actúan como

fotoprotectores para prevenir la formación de radicales libres y evitar el daño por oxidaciones excesivas (García-Asuaa *et al.*, 1998). Estudios recientes revelan que algunos terpenoides, como xantofilas, isopropeno o tocoferol, estabilizan y fotoprotegen la fase lipídica de las membranas, dividiéndose entre los complejos captadores de luz y la fase lipídica de la membrana de los tilacoides; el resultado de esta interacción es la disminución de la fluidez membranal, junto con un incremento de su termoestabilidad, disminuyendo con esto la susceptibilidad a la peroxidación membranal de lípidos. Sin embargo, la fluidez membranal puede estar en función del tipo de carotenoide presente; así, por ejemplo, la zeaxantina la disminuye, mientras que el caroteno tiende a incrementarla (Havaux, 1998).

En las frutas la distribución de carotenoides es extremadamente compleja y esta sujeta a variaciones considerables. El patrón característico de carotenoides en cada especie y variedad esta en función del estado de madurez de la fruta. La biosíntesis de carotenoides es autónoma en la mayoría de las frutas y continúa después de haberlas separado del resto de la planta. Así, algunos carotenoides son usados como indicadores de la cosecha y maduración de frutos (Gross, 1987).

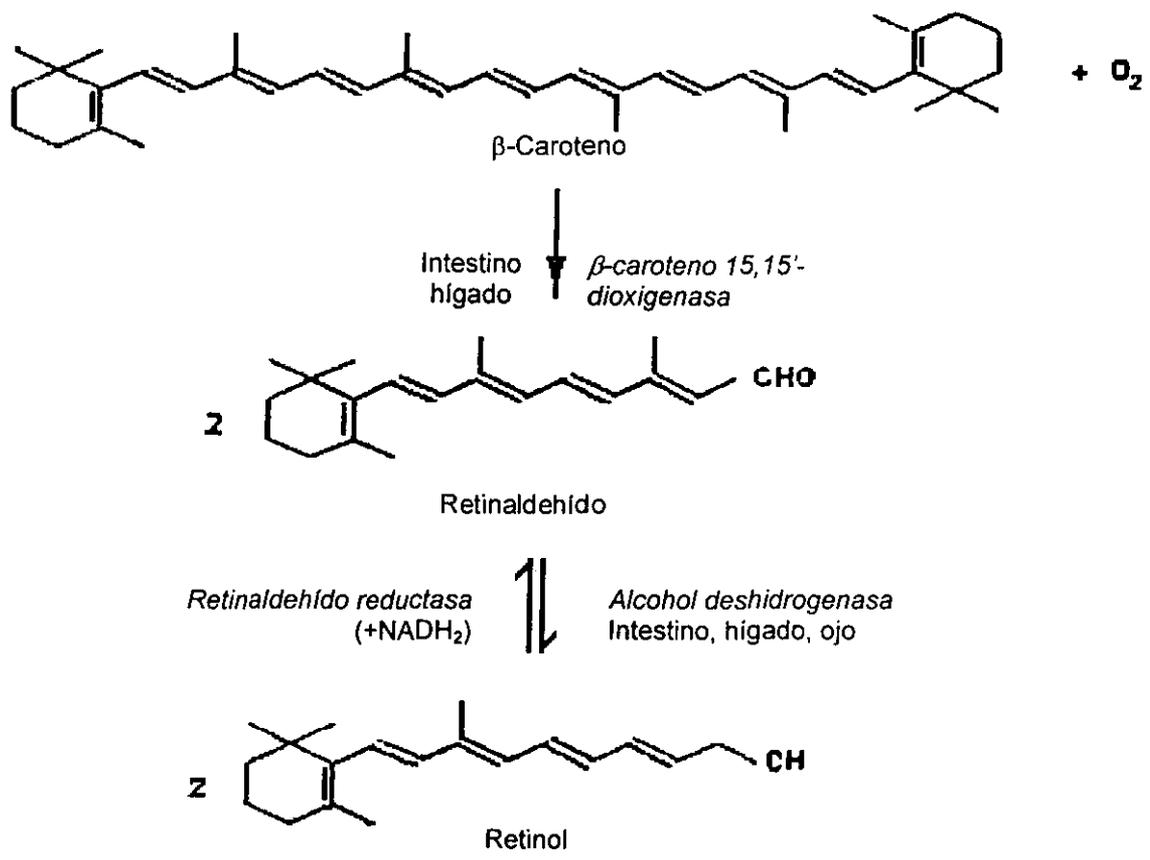
### **2.3. Metabolismo de los Carotenoides en Animales**

Los carotenoides son constituyentes normales de los forrajes. Los bovinos alimentados con forrajes frescos consumen altas cantidades de estos pigmentos. No todos los carotenoides ingeridos son convertidos en vitamina A; parte de ellos se absorben intactos y se depositan en el tejido adiposo, causando la pigmentación amarillenta de las canales. El  $\beta$ -caroteno y la luteína resultan ser los principales carotenoides responsables de tal pigmentación (Yang *et al.*, 1992).

El proceso de degradación ruminal de los carotenoides es insignificante. Van Soest (1994), señala que, aunque pueden ser atacados por las bacterias anaeróbicas e hidrogenarse, el sistema de dobles enlaces conjugados (posición *trans*) los hace más resistentes a la hidrogenación, comparados con otros compuestos insaturados no conjugados, lo que permite que prácticamente lleguen intactos al intestino delgado. Van Soest (1994) indica también que los

carotenoides tienen una digestibilidad del 0.1% a nivel ruminal (en forma de una hidrogenación destructiva), siendo muy poco utilizados en esta parte del tracto digestivo. Estudios recientes, en bovinos y cabras, corroboran lo anterior. Mora *et al.*, (1999) encontraron tasas de desaparición, *in situ*, de 2.2 y 1.0 % h<sup>-1</sup>, para novillos y cabras, respectivamente. Estos estudios indican que la desaparición ruminal de los carotenoides esta más bien asociada en la desaparición del contenido celular o de la materia seca; es decir, desaparecen por la sola desaparición de la materia seca (digestibilidad y paso al intestino delgado) y no por degradación *per se* (Mora *et al.*, 1999).

Debido a su liposolubilidad, los carotenoides sufren un proceso de absorción similar al de los lípidos. En duodeno los glóbulos se encuentran con las sales biliares y las enzimas pancreáticas, resultando en la liberación de productos de la digestión lipídica. Los ésteres de vitamina A son hidrolizados en este momento. Estos productos de la digestión interactúan con las sales biliares y el colesterol y forman micelas mixtas, en las cuales se solubilizan la vitamina A y los carotenos. Las micelas se difunden por la glicoproteína de la membrana del enterocito. Los componentes de la micela, excepto las sales biliares, penetran individualmente a la fase lipídica de la membrana de la mucosa (Tee, 1992). Los carotenoides son liberados por acción enzimática. La enzima responsable de tal efecto es la *β-caroteno 15,15'-dioxigenasa* (Figura 5).



**Figura 5.** Degradación enzimática de β-Caroteno a retinol (Tomado de Tee, 1992)

Los procesos de digestión y absorción de la vitamina A y carotenoides son afectados por ciertos componentes de la dieta y por el estado nutricional del individuo. Así, las proteínas solubles y los péptidos derivados de ellas ayudan a la dispersión de la vitamina y el incremento en el nivel de proteína en la dieta ayuda a la conversión intracelular del caroteno a retinaldehído (Tee, 1992). Grownowska y Wolf (1970) reportan que la actividad de la enzima intestinal 15,15'-dioxigenasa se deprime en 50%, aproximadamente, con consumos de proteína muy bajos (5%). Por otro lado, la grasa de la dieta provee el medio de transporte de la vitamina A y de los carotenoides del estómago al lumen intestinal; asimismo algunos lípidos de la dieta como los aceites de semillas, que contienen α-tocoferol,

tienen un efecto protector antioxidante sobre la vitamina A. Finalmente, para que se realice una eficiente absorción de la vitamina A y de los carotenoides es necesaria la presencia de las sales biliares (Tee, 1992).

Los carotenos presentes en los alimentos son menos absorbidos en el intestino que los precursores preformados de la vitamina A; sin embargo, esto puede estar en función de la especie animal de que se trate. En bovinos se ha observado que los carotenoides complementados en el alimento poseen una alta digestibilidad (hasta del 90%) y cuando son consumidos de manera natural en los forrajes su digestibilidad es de aproximadamente del 60% (Mora, 1998).

Bajo condiciones normales, en humanos, cerca del 90% de la vitamina A ingerida es absorbida y la eficiencia de absorción disminuye muy poco al incrementar la dosis. Por otra parte, cerca del 70% de los carotenos ingeridos son absorbidos y la eficiencia de absorción disminuye fuertemente al incrementar la dosis. Después de la absorción, el  $\beta$ -caroteno alojado en las células de la mucosa intestinal se convierten en retinaldehído, que es reducido a retinol (**Figura 5**). Durante su paso a través del epitelio intestinal, cerca del 75% del retinol es esterificado con ácidos grasos de cadena larga. Estos ésteres, comúnmente en forma de palmitato o ácido esteárico, son incorporados, junto con otros lípidos y apoproteínas, a los quilomicrones y lipoproteínas (Tee, 1992; Bendich y Olson, 1989). Los carotenoides son transportados en la sangre en asociación con lipoproteínas, principalmente con lipoproteínas de baja densidad (LBD) en humanos y cerdos, y con lipoproteínas de alta densidad (LAD), en bovinos y hurones (Pollack *et al.*, 1994).

Después de abandonar la célula intestinal, los ésteres de retinilo acarreados por las lipoproteínas de baja densidad del plasma son probablemente hidrolizados por esterasas de las membranas de las células hepáticas. Intracelularmente, el retinol no esterificado está ligado a una proteína específica y es transportado al retículo endoplásmico, una vez que es esterificado a ésteres de palmitato. Este luego es transferido y almacenado en un complejo soluble o macromolécula

formada por varios tipos de lípidos, varias cadenas de polipéptidos y carbohidratos unidos covalentemente a proteínas (Tee, 1992).

La vitamina A tiene una marcada preferencia para almacenarse en el hígado y en este sitio es muy estable. La vitamina A hepática (95% en forma de palmitato de retinilo) representa cerca del 90% del total de las reservas corporales de esta vitamina. En cualquier individuo, la magnitud del almacenamiento depende no sólo del consumo de vitamina A y de sus provitaminas, sino también de la eficiencia de absorción y de la tasa de gasto. Estos factores están influidos por el sexo, tasa de crecimiento, estado de salud, etc. El hígado almacena vitamina A continuamente y la libera a la sangre cuando los niveles en la dieta son deficientes. Almacenada como retinol sufre la acción hidrolítica de la *retinil ester hidrolasa*. Después de la hidrólisis, el retinol es directamente transferido al sitio de unión de almacenamiento del complejo a la proteína ligadora de retinol para su transporte a otros tejidos. La proteína ligadora de retinol es el acarreador primario del retinol en el plasma y puede existir en forma holo o apo (Tee, 1992).

No todos los carotenoides ingeridos se convierten eficientemente a vitamina A, por lo que parte de ellos son constituyentes normales de la sangre y de los tejidos de varios animales (Ribaya *et al.*, 1989; White *et al.*, 1993 y Pollack *et al.*, 1994). Sin embargo, no existe evidencia de que exista absorción y circulación de  $\beta$ -caroteno en ratas, cerdos, pollos, cuyes y conejos (Ribaya *et al.*, 1989) debido a la conversión más eficiente de  $\beta$ -caroteno a vitamina A. El nivel de carotenoides en sangre y tejidos está en función de su consumo diario y del gasto (Bendich y Olson, 1989). En bovinos se ha observado un incremento lineal de  $\beta$ -caroteno en plasma después de 30 días de complementación (Mora, 1998).

En humanos bien alimentados, los carotenoides están presentes principalmente en el tejido adiposo (80-85%), en el hígado (8-12%) y en el músculo (2-3%); en otros tejidos se pueden observar bajas concentraciones, principalmente en el cuerpo lúteo y las glándulas adrenales. El suero humano contiene como mayores componentes  $\beta$ -caroteno,  $\gamma$ -caroteno, criptoxantina,

licopeno y luteína, pudiendo presentar bajas concentraciones de zeaxantina y otras xantofilas y polienos, tales como fitoflueno y fitoeno (Parker, 1992).

En el caso de ganado bovino que ha permanecido más de 4 meses en pastoreo, se han encontrado concentraciones de  $\beta$ -caroteno de 2.19  $\mu\text{g/ml}$  (Yang, et al., 1992). Mora (1998) encontró que complementando  $\beta$ -caroteno como si los animales estuvieran en pastoreo durante 30 días, se observaron concentraciones en suero de 3.6  $\mu\text{g/ml}$ . Asimismo, Knight et al. (1993) reportan concentraciones en plasma de bovinos que están a libre pastoreo de  $11.24 \pm 0.12 \mu\text{g } \beta\text{-caroteno/ml}$ .

Por otra parte, existe gran variabilidad en la deposición de carotenoides en el tejido adiposo bovino. Datos en la literatura muestran valores que van desde 0.7 hasta 3.7  $\mu\text{g}$  de carotenoides por g de tejido adiposo (Forrest, 1981; Yang *et al.*, 1992; Strachan *et al.*, 1993; Zhou *et al.*, 1993; Knight *et al.*, 1996; Mora *et al.*, 1998). Zhou *et al.* (1993) y Strachan *et al.* (1993) mencionan correlaciones significativas entre la concentración de carotenoides y la coloración del tejido adiposo subcutáneo que van desde 0.53 hasta 0.85. Por otro lado, Knight et al. (1993) encontraron que la intensidad del color de la grasa está significativamente correlacionada ( $r=0.92$ ) con el contenido de carotenoides y que la concentración de  $\beta$ -caroteno en el plasma está correlacionada con el color de la grasa ( $r=0.67$ ). Sin embargo, existe relativamente poca información sobre esta última variable.

Numerosos reportes han señalado al perfil de ácidos grasos en la grasa como factor determinante de algunas características organolépticas de la canal de bovinos en pastoreo. MacGragor (1965) ha sugerido que existe una relación entre el color de la grasa y el contenido de ácido palmítico (16:0) en el tejido adiposo. Por otra parte, Zhou *et al.* (1993) encontraron que el ácido oleico (18:1) mostró una correlación con la concentración de carotenoides y el color de la grasa ( $b^*$ ) de 0.68 y 0.72, respectivamente.

## 2.4. Determinación de Carotenoides

Cada carotenoide está caracterizado por su espectro de absorción. La determinación y cuantificación de carotenoides en tejidos se puede llevar a cabo mediante técnicas de cromatografía y espectroscopia. Zhou et al., (1993) mencionan que existe una buena correlación entre éstas.

Los carotenoides comúnmente se determinan y cuantifican por cromatografía de líquidos. En este método, se ponen en contacto dos fases mutuamente inmiscibles; una es estacionaria y la otra, móvil. Una muestra se introduce en la fase móvil y es transportada a lo largo de la columna (colector) que contiene una fase estacionaria distribuida. Las especies de las muestras experimentan interacciones repetidas (repartos) entre la fase móvil y la estacionaria. Cuando ambas fases se han escogido en forma apropiada, los componentes de la muestra se separan gradualmente en bandas en la fase móvil. Al final del proceso los componentes separados emergen en orden creciente de interacción con la fase estacionaria. El componente menos retardado emerge primero, el retenido más fuertemente fluye al último. El reparto entre las fases aprovecha las diferencias entre las propiedades físicas y/o químicas de los componentes de la muestra. Los componentes adyacentes se separan cuando el pico que sale después es retardado lo suficiente como para impedir la superposición con el pico que emergió antes (Willard *et al.*, 1991).

La cromatografía resulta ser un método muy versátil, debido a la amplia gama de materiales para las fases móvil y estacionaria, lo cual permite la identificación de moléculas que difieren muy poco en sus propiedades físicas y químicas.

En espectroscopia, la absorbancia o densidad óptica de una solución de carotenoides se lee a la longitud de onda de máxima absorción. La cantidad de carotenoide (X) disuelta en un volumen conocido (V) está dada por la expresión:

$$X = (EV / E^{1\%}_{cm})100$$

donde,  $E$  = absorptividad molar ( $l/mol$  o  $cm$ ) y  $E^{1\%}_{cm}$ , es la absorbancia de una solución al 1% (1 g/100 ml), con un grosor de 1 cm. Esta absorptividad ha sido tabulada para la mayoría de los carotenoides (Davis, 1976). Particularmente, el  $\beta$ -caroteno y la luteína, presentan una  $E$  igual a 138900 y 144800, con una  $E^{1\%}_{cm}$  igual a 2595 y 2550, respectivamente. Estos valores pueden presentar variaciones, dependiendo del disolvente usado (Britton *et al.*, 1995). Los carotenoides en solución obedecen a la Ley de Lambert-Beer, en cuanto que su absorbancia es proporcional a la concentración; los métodos de espectroscopia son, por tanto, usados de manera rutinaria en el análisis cuantitativo de carotenoides.

## 2.5. El Color en la Calidad de los Alimentos

El color es una propiedad de los materiales relacionada con el espectro de luz, pudiéndose medir físicamente en términos de su energía radiante o intensidad y por su longitud de onda. El ojo humano solo puede percibir el color cuando su energía corresponde a una longitud de onda que oscila entre 380 a 780 nm.

La alimentación se aborda desde posiciones distintas: precio, cualidades gustativas, naturaleza y preparación de los alimentos y también, con mucha insistencia por la seguridad en la salud de los consumidores. Debe existir una concordancia entre lo que el consumidor espera o se imagina y lo que percibe de un alimento. Para obtener esa concordancia es necesario recurrir al uso de aditivos que permiten mejorar o conservar las características organolépticas de los alimentos.

Existe un rechazo generalizado entre los consumidores, al uso de aditivos en los alimentos, ya que creen *a priori* que los alimentos, que contienen sustancias químicas, presentan mayores riesgos que los alimentos simples. Por su origen y denominación, los aditivos son catalogados como productos químicos, lo que conlleva a consideraciones despectivas, por lo que el término implica. Al respecto, es necesario realizar un gran trabajo de información y explicación, a los consumidores, que conduzcan a la eliminación de los mitos de lo natural y lo

químico, lo primero asociado a inofensivo y deseable y lo segundo, a sospechoso, peligroso o cancerígeno (Multon y Lapatre, 1988).

A mediados de los setentas salieron al mercado productos sin colorantes, como consecuencia de una campaña en contra de los aditivos; se esperaba que estos productos tuvieran una buena acogida por el público. Sin embargo, el éxito comercial de éstos fue desigual, dependiendo del producto. Este episodio permitió comprobar que una proporción, no despreciable, de los consumidores adquirirían con placer los productos sin aditivos.

El hombre no come cualquier cosa, no come sólo para alimentarse; las preferencias de consumo dependen de su origen (área geográfica), modo de vida (nivel económico), costumbres, hábitos alimenticios, experiencia y conocimientos personales, condiciones de salud, edad, deseos, personalidad, etc. Por otra parte, las cualidades sensoriales de los alimentos le ayudan a satisfacer sus exigencias estéticas. La información sensorial recibida es muy importante; la forma, olor y color permiten identificar un alimento y así conocer su estado físico y calidad (madurez, fermentación, cocción, etc). La percepción de estas sensaciones generan una imagen de los alimentos que sirve como juicio de evaluación que predispone al consumo o rechazo (Multon y Lapatre, 1988).

Los alimentos, tanto en forma natural como procesada, presentan un color característico y bien definido, mediante el cual el consumidor lo identifica. Este color se debe a la presencia de diversos compuestos pigmentantes (carotenoides, clorofilas, antocianinas, flavonoides, betalainas, taninos, mioglobina y hemoglobina, etc.), siendo sustancias naturales que tienen una función muy importante en el tejido. Por ejemplo, clorofila y la fotosíntesis; mioglobina y el almacenamiento muscular de oxígeno; carotenoides y la fotoprotección; etc. Algunos de estos compuestos se extraen de su estado natural o se sintetizan artificialmente y son empleados como colorantes en la elaboración de un gran número de alimentos (Badui, 1993).

El color es un factor importante asociado con la calidad de los alimentos, siendo el primer contacto entre alimento-consumidor (Fergus, 1993). De esta

forma, la estética, seguridad, características sensoriales y aceptabilidad de los alimentos, están afectadas por su color. Esto es contundente: en innumerables pruebas se ha comprobado que cuando el color de un alimento cambia (sin alterar su forma, olor, sabor, etc.) se obtiene el rechazo por los consumidores. Esto se corrobora cuando el alimento se ofrece en la oscuridad o con poca luz, que cubra dicho cambio; en este caso, el alimento es aceptado (Anónimo, 1986). Cuando un producto alimenticio presenta un color poco común o fuera de lo normal, el consumidor toma ciertas reservas, señalando que el producto puede estar en mal estado, aún no presenta las características óptimas para su ingestión, tiene defectos en el proceso de elaboración o está adulterado (Gross, 1987; Tee, 1992).

Así, la industria alimenticia desde hace varias décadas ha implementado el uso de pigmentos naturales para colorear alimentos (siendo gradualmente reemplazados por pigmentos sintéticos), con la finalidad de mejorar sus características organolépticas y así satisfacer parte de las demandas de los consumidores. Dentro de los colorantes utilizados para este fin destacan: el  $\beta$ -caroteno, el  $\beta$ -apo-8'-carotenal y la cantaxantina. El  $\beta$ -caroteno, por su valor provitamínico, es el más recomendado, produciendo un color que va de amarillo a naranja; el  $\beta$ -apo-8'-carotenal, proporciona un color naranja a rojo, y la cantaxantina da un color rojo. Estos carotenoides se agregan directamente a los alimentos para consumo humano. Existen otros carotenoides pigmentantes, los cuales se agregan al alimento de los animales con la finalidad de colorear, ya sea algún tejido corporal (piel, grasa o músculo) o productos derivados, tales como leche, huevo, mantequilla, queso, etc. (Gross, 1987; Tee, 1992). El uso de pigmentos colorantes de origen natural tiene una mayor acogida por el público, ya que ofrece algunas ventajas, como: no presentan toxicidad; algunos de ellos, además de su valor pigmentante, presentan valor nutricional; presentan baja incidencia de reacciones de sensibilización, etc. Sin embargo, los de origen sintético tienen como ventajas que se producen de forma más controlada (calidad y precio) y presentan una mayor potencia pigmentante.

En el ganado bovino engordado en pastoreo se observa una coloración amarillenta de la canal, ocasionada por pigmentos carotenoides ingeridos y almacenados en el tejido adiposo. Para ciertos mercados (Canadá, Japón, etc.) esta pigmentación de la canal provoca un problema de comercialización, ocasionando el rechazo del producto por los consumidores. Lo cierto es que la carne proveniente de animales engordados en pastoreo presenta características organolépticas muy similares a la carne proveniente de animales engordados con dietas altas en concentrado (Bidner *et al.*, 1986; Simonne, 1996; McCaughey y Cliplef, 1996).

El ganado bovino finalizado en corrales, utilizando dietas altas en concentrado, a diferencia del proveniente de pastoreo, consume menos  $\beta$ -caroteno y, por lo tanto, no deposita pigmentos que causen una coloración del tejido adiposo. Una alternativa de uso frecuente, a la que recurren los ganaderos, consiste en someter a los animales provenientes de pastoreo a periodos cortos de engorda en corrales, con lo cual se logra reducir la pigmentación amarilla de las canales en gran medida (Craig *et al.*, 1959; Dinius y Cross, 1978; Forrest, 1981, Hidiroglou *et al.*, 1987). Sin embargo, el problema solo se resuelve parcialmente, y en algunos casos no es una alternativa viable (Hedrick *et al.*, 1983).

Ante esta problemática, y ante la necesidad que tiene el sector alimentario del país de producir alimentos de excelente calidad y del agrado del consumidor, tanto nacional y extranjero, se planteó la presente investigación, como parte de una serie de estudios, que tienen por objetivo ampliar nuestro conocimiento sobre los procesos metabólicos y fisiológicos responsables de la pigmentación del tejido adiposo bovino, a fin de que en un futuro, se pueda lograr la producción de canales blancas de bovinos finalizados en pastoreo.

### **3. HIPÓTESIS**

- La coloración de la grasa subcutánea de la canal provoca pérdidas económicas en la ganadería tropical.
- La concentración de carotenoides y el perfil de ácidos grasos influyen sobre el color del tejido adiposo de bovinos finalizados en pastoreo.

### **4. OBJETIVOS**

- Estimar las pérdidas económicas generadas por canales con tejido adiposo pigmentado.
- Determinar la asociación existente entre la concentración de carotenoides, la pigmentación y el perfil de ácidos grasos del tejido adiposo subcutáneo de bovinos encastados de razas cebuínas, finalizados en pastoreo, en el trópico mexicano.

## 5. IMPACTO ECONÓMICO DE LA PIGMENTACIÓN DEL TEJIDO ADIPOSEO BOVINO EN LA GANADERÍA TROPICAL <sup>1</sup>

Barrón S.<sup>2</sup>, Mora O.<sup>3</sup>, García-Bojalil C.<sup>4</sup> y Shimada A.<sup>3</sup>

<sup>2</sup>*Programa de Posgrado en Ciencias de la Producción y la Salud Animal. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Cuautitlán-Izcalli, Méx.*

<sup>3</sup>*Laboratorio de Rumiología y Metabolismo Nutricional (RuMeN). Coordinación General de Estudios de Posgrado e Investigación. Facultad de Estudios Superiores-Cuautitlán. UNAM. Ajuchitlán, Qro.*

<sup>4</sup>*Dirección General de Ganadería. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural. México, D. F.*

### Resumen

Diversas publicaciones mencionan la pigmentación del tejido adiposo de canales provenientes de bovinos finalizados en pastoreo como causa de un problema de comercialización, debido al rechazo del producto por los consumidores, quienes suponen que la carne proviene de animales viejos o de desecho y es dura. Con la finalidad de cuantificar la magnitud del problema económico que propician las canales pigmentadas, se realizó una recopilación de información sobre el registro de canales pigmentadas en el Frigorífico Tipo Inspección Federal (TIF) de la Unión Ganadera Regional de Tabasco (UGRT), durante los años de 1988-89 y de 1993-99. Los resultados indican una mayor incidencia en 1994, 1995, 1998 y 1999 ( $P < .05$ ); no se encontraron diferencias para mes y/o época del año. El porcentaje global de canales pigmentadas fue: .47, .29, .53 y .91 %, para novillos (toretos), novillonas (vaquillas), toros y vacas, respectivamente, siendo las vacas las que presentaron la mayor incidencia ( $P < .05$ ). Se encontró un incremento lineal en la incidencia de canales pigmentadas en los cuatro últimos años. Para 1999, .98 % de las canales se clasificaron como muy amarillas; el volumen de carne en canal con problemas de comercialización fue de 7,750 t. Sin embargo, debido a que no existe un sistema de clasificación de canales que tome en cuenta el color real de la grasa, se piensa que la incidencia de canales pigmentadas sea mucho mayor a lo señalado actualmente. Aunado a

---

<sup>1</sup> Financiado por Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Proyecto: L0062 B96607. Para enviar a Veterinaria México.

lo anterior, se espera que el problema se agrave en los próximos años, debido a la necesidad que tiene México de incursionar en los mercados extranjeros con productos de excelente calidad.

**Palabras Clave:** carotenoides, grasa amarilla, exigencias de mercado, calidad de la carne, bovinos en pastoreo.

---

## Introducción

Los carotenoides son una clase de hidrocarburos tetraterpénicos naturales, ampliamente distribuidos en plantas y animales, que dan una pigmentación desde amarillo-naranja a rojo. Los forrajes verdes contienen altas concentraciones de carotenoides, que prácticamente no sufren cambios a su paso por el rumen (Van Soest, 1994; Mora *et al.*, 1999), así que son absorbidos y depositados en el tejido adiposo, ocasionando la coloración amarillenta del mismo (Morgan *et al.*, 1969). En bovinos, el principal pigmento responsable de la coloración amarillenta del tejido adiposo es el  $\beta$ -caroteno y en segundo grado, la luteína (Yang *et al.*, 1992; Mora *et al.*, 2000).

El color es un factor importante, asociado a la calidad de los alimentos (Fergus, 1993). De esta forma, la estética, seguridad, características sensoriales y aceptabilidad de los alimentos están afectadas por su color. Cuando un producto alimenticio presenta un color poco común o fuera de lo normal, el consumidor toma ciertas reservas, señalando que el producto puede estar en mal estado, puede tener defectos en el proceso de elaboración o estar adulterado (Gross, 1987; Tee, 1992).

Así, la presencia de carotenoides en el tejido adiposo de la carne proveniente de animales finalizados en pastoreo tiene un efecto aparentemente detrimental sobre el aspecto y la aceptación del producto. Lo cierto es que sus características nutricionales son muy similares a las de carnes provenientes de animales engordados con dietas altas en concentrado (Bidner *et al.*, 1986; McCaughey y Cliplef, 1996; Simonne, 1996). Y de acuerdo con las tendencias de

consumo actual (productos 100% naturales, con menor presencia de grasa, etc.), la carne de animales en pastoreo puede llegar a ser de mayor aceptación que la proveniente de animales finalizados en corral, ya que puede ayudar a disminuir problemas, sobre todo, de tipo cardiovascular (Huerta-Leidenz *et al.*, 1993).

El ganado bovino engordado en corrales utilizando dietas altas en concentrado, a diferencia del proveniente de pastoreo, consume menos  $\beta$ -caroteno y, por lo tanto, no deposita cantidades importantes de pigmentos que causen una coloración del tejido adiposo. Por ello, una alternativa de uso frecuente, a la que recurren los ganaderos, consiste en someter a los animales a periodos de 28 a 120 días en engorda en corrales, con lo cual se logra reducir la pigmentación amarilla de las canales en gran medida (Craig *et al.*, 1959; Dinius y Cross, 1978; Forrest, 1981; Hidiroglou *et al.*, 1987). Sin embargo, el problema se resuelve sólo parcialmente y en muchos casos no es una alternativa rentable (Hedrick *et al.*, 1983).

En México, existen más de 120 millones de hectáreas dedicadas a la actividad ganadera, donde se pastorean cerca de 20 millones de cabezas de ganado (SAGAR, 1994). La engorda de bovinos con dietas altas en concentrados está limitada por la competencia que existe por los granos con los no-rumiantes, en los cuales son ampliamente utilizados; aún así, en los estados del norte del país, la engorda en corral es un sistema de producción generalizado. La producción de carne de bovino con base en la utilización de praderas y agostaderos es una actividad predominante en gran parte del país y se hace más evidente en los estados del sur, donde existe una extensa superficie no apta para labores agrícolas y susceptible a ser pastoreada. Por otra parte, estadísticas financieras indican una disminución en los precios reales del ganado (FMI, 1998); por lo tanto, los ganaderos deben hacer competitivos sus sistemas de producción, reduciendo al mínimo sus costos de producción. Es aquí donde el pastoreo de ganado bovino tomará mayor importancia como un sistema de producción viable.

Dado que el problema de comercialización de canales pigmentadas, al pasar de los años, se hace cada vez más evidente, y ante la presencia de

mercados cada vez más exigentes (globalización económica), se hace necesaria una investigación que pueda cuantificar las pérdidas económicas que este problema ocasiona, ya que hasta la fecha en México no existen datos donde se mencionen las repercusiones y efectos del mismo. Por lo tanto, este trabajo tuvo la finalidad de generar información al respecto, la cual resultará ser esencial si en un futuro se requiere implementar procedimientos y/o productos que permitan prevenir la pigmentación del tejido adiposo de bovinos finalizados en pastoreo.

Este trabajo consistió en la realización de una investigación retrospectiva, con el objeto de cuantificar, en los registros del frigorífico TIF de Villahermosa, Tab., las canales que presentaron pigmentación excesiva del tejido adiposo, y que ello haya sido causa de una disminución en el precio de venta y/o rendimiento en canal. Asimismo, se hace una estimación de las pérdidas económicas totales generadas por el problema en las regiones de pastoreo en México.

## **Materiales y Métodos**

Se realizó la búsqueda de información sobre animales sacrificados que resultaron con el tejido adiposo excesivamente pigmentado (de 1988 a 1989 y de 1993 a 1999), en los archivos del frigorífico de la UGRT. Este frigorífico ocupa el primer sitio en cuanto a capacidad instalada y cantidad de animales sacrificados, siendo el rastro TIF más grande de México. En él, se sacrifican animales provenientes de Tabasco (cerca del 70% de los producidos en el Estado) y estados vecinos (Campeche, Chiapas y Veracruz). Se sacrifica alrededor del 4% del total nacional (INEGI, 1999). Por otra parte, éste es uno de los rastros donde se realiza clasificación de canales y se encuentra ubicado en una región típicamente de pastoreo.

La información obtenida incluye todos los animales sacrificados y pigmentados en los años mencionados. Cabe señalar que durante los años 1990, 1991 y 1992, no se encontraron registros de canales pigmentadas en el rastro, por lo que estos años fueron excluidos de la investigación. Las variables

consideradas, fueron: animales sacrificados por mes, pigmentados por mes y tipo de animal pigmentado (novillo, novillona, toro y/o vaca).

La información fue estadísticamente analizada mediante el procedimiento general lineal (GLM), a fin de identificar diferencias en alguno de los siguientes factores: mes, época del año, año, tipo de ganado e interacciones. Para el factor época del año, se consideraron 2 épocas: secas (diciembre, enero, febrero, marzo, abril y mayo) y lluvias (junio, julio, agosto, septiembre, octubre y noviembre), de acuerdo al régimen pluvial de la región (INEGI, 1999). Las medias de las variables estadísticamente significativas fueron comparadas mediante diferencias mínimo significativas (SAS, 1988). El modelo estadístico empleado, fue:

$$Y_{ijkl} = \mu + E_i + A_j + T_k + EA_{ij} + ET_{ik} + AT_{jk} + \mathcal{E}_{(ijk)l}, \text{ donde:}$$

$Y_{ijkl}$  = % ajustado de canales pigmentadas ( $\arcsen(\text{raíz cuadrada}(\% \text{ normal}/100))$ ).

$\mu$  = Media general.

$E_i$  = Efecto de la época del año ( $i=1,2$ ).

$A_j$  = Efecto del año ( $j=1,2,\dots,9$ ).

$T_k$  = Efecto de tipo de animal pigmentado ( $k=1,2,3,4$ ).

$EA_{ij}$  = Interacción de la estación del año y año.

$ET_{ik}$  = Interacción de la estación del año y tipo de animal.

$AT_{jk}$  = Interacción de año y tipo de animal.

$\mathcal{E}_{(ijk)l}$  = Error asociado a la época del año, año y tipo de animal.

La estimación sobre las pérdidas económicas globales generadas por el problema se realizó considerando el castigo a canales pigmentadas de acuerdo en su clasificación y precio en rastro.

## Resultados y Discusión

El análisis de información muestra que el peso vivo promedio al sacrificio fue de 448, 357.2, 643.3 y 431.3 kg, para novillos, novillas, toros y vacas,

respectivamente; el rendimiento en canal promedio fue de 54.5, 53, 55 y 50%, para, novillos, novillas, toros y vacas, respectivamente.

#### **a) Animales con tejido adiposo pigmentado**

El porcentaje global de canales pigmentadas durante los años que comprendió este estudio fue de .5%. Durante ese periodo, se encontró que la incidencia de canales pigmentadas fue del .47, .29, .53 y .91%, para novillos, novillas, toros y vacas, respectivamente (**Cuadro 1**). Estos valores son relativamente bajos comparados con los reportados por otros investigadores (Donkersgoed *et al.*, 1997).

El análisis estadístico no muestra efecto significativo de mes o época del año ( $P > .05$ ). Sin embargo, la incidencia de canales pigmentadas para los meses de agosto a noviembre fue mayor (**Figura 1**), lo que puede ser consecuencia de una mayor concentración de carotenoides en los forrajes en esa época del año, debido a que en el ciclo verano-otoño, la producción y calidad del forraje (con la presencia de una mayor cantidad de carotenoides) se ven favorecidos por factores climáticos como humedad, radiación y temperatura, como fue reportado por Pearson (1966) y Guimaraes *et al.* (1992). Ellos encontraron una mayor concentración de carotenoides en los forrajes y en plasma de novillas para la época de lluvias.

En este estudio se encontró un efecto significativo de año sobre la incidencia de canales pigmentadas. 1994 y 1999, se caracterizaron por presentar los más altos porcentajes ( $P < .05$ , **Cuadro 1**); de ese año en adelante la incidencia de canales pigmentadas ha sido cada vez mayor, y la tendencia a la alza se hace más evidente a partir de 1996. Este incremento en la incidencia de canales amarillos, pudiera ser consecuencia de una mayor oferta del producto; ya que esos años (particularmente de 1994 a 1996) coinciden con una mayor cantidad de reses sacrificadas y consecuentemente con una mayor producción de carne, respecto a 1988-1993. Lo anterior, aunado a la apertura comercial de México (TLC), se tradujo en un incremento en la oferta de carne de res. La crisis

económica de finales de 1994 complicó aún más el problema, dado que muchos productores enviaron a rastro parte de su ganado, por falta de solvencia económica, en perjuicio de la producción nacional.

Otro efecto de la crisis económica, ha sido la adopción de un sistema de producción de carne más barato: el pastoreo; ya que el alza en los costos de los insumos, disminución de créditos, elevadas tasas de interés, etc., han provocado que la producción de carne en corral sea menos rentable (Cavallotti y Palacio, 1997; CEA, 1999); incrementándose con ello el sacrificio de animales finalizados en pastoreo.

La necesidad de incursionar en mercados extranjeros implica la producción de carne con ciertas normas de calidad; lo que probablemente, en años recientes se ha traducido en una clasificación de canales más estricta, en perjuicio de las canales amarillas.

Se encontró que la incidencia de canales pigmentadas está afectada significativamente por el tipo de animal sacrificado, siendo las vacas las que presentaron el porcentaje más alto ( $P < .05$ , **Cuadro 1**). Estos resultados concuerdan con lo informado por Busboom *et al.* (1981) y Kruggel *et al.* (1982), quienes, para el caso de ovinos, encontraron un efecto de sexo sobre la pigmentación del tejido adiposo. Cabe aclarar que en ovinos es la luteína el principal carotenoide responsable de la pigmentación del tejido adiposo. Sin embargo, el efecto de sexo no se presenta en novillonas, las cuales presentaron el porcentaje más bajo de pigmentación. Ello puede ser consecuencia de una menor edad al sacrificio; son animales menos cebados y de mayor preferencia en el mercado, respecto a las vacas. Novillos y toros prácticamente presentaron el mismo porcentaje (**Cuadro 1**). Aparentemente, en hembras, existe un efecto de edad sobre la pigmentación del tejido adiposo; este efecto no es muy marcado en machos. Consideramos que la variación en la incidencia de canales pigmentadas, en cuanto a tipo de ganado, esta estrechamente relacionada con los cambios en composición corporal en función de la etapa fisiológica del animal (nivel de cebamiento). Al analizar las interacciones entre los factores que afectan la

incidencia de canales pigmentadas, se encontró que para los años de mayor incidencia, fueron las vacas y los toros los animales ( $P < .05$ ) con los más altos porcentajes de canales amarillas, siendo los más castigados; mientras que la incidencia de canales pigmentadas de los novillos y novillonas fue normal a través de los años.

#### **b). Estimación global de pérdidas económicas**

La pigmentación del tejido adiposo está en función de varios factores: dieta, raza, sexo, edad y nivel de cebamiento o energía en la dieta (Busboom *et al.*, 1981; Kruggel *et al.*, 1982). Este último factor es determinante, ya que la mayoría de los animales con tejido adiposo pigmentado son animales muy cebados, con una calidad de la canal muy aceptable. Sin embargo, por ser pigmentadas, las canales que debieran ser clasificadas como de "tipo supremo" o de "primera calidad", normalmente son clasificadas como de segunda, es decir, disminuyen un punto en su clasificación (**Cuadro 2**). Cabe aclarar que la Norma Oficial Mexicana (SECOFI, 1991), considera canales de "tipo supremo" a aquéllas de excelente calidad (peso, edad, masas musculares, marmoleo, etc.) con tejido adiposo blanco o cremoso; por lo tanto, una canal con tejido adiposo amarillo no es catalogada dentro de esta categoría. Particularmente en la UGRT, y en la mayoría de los rastros TIF de otras organizaciones ganaderas, el precio del ganado está en función del rendimiento en canal y del grado donde haya quedado clasificada. Así, las pérdidas económicas por animal son considerables, llegando a ser hasta del 15% el valor de la canal (**Cuadro 2**). Por otro lado, la venta en cortes (como estrategia de comercialización de canales pigmentadas) implica la disección de gran parte de la grasa superficial de la canal, lo que en un animal adulto puede llegar a ser de 20 a 40 kg de merma sobre el rendimiento en canal (información obtenida directamente en rastro).

Aparentemente, el problema y castigo en el precio sobre canales amarillas no es muy severo; sin embargo, resulta de gran importancia cuando, en un mismo lote, aparecen dos o más animales pigmentados (sucede a menudo); es aquí

donde los ingresos del ganadero se ven drásticamente disminuidos.

En México, existen más de 115 millones de hectáreas susceptibles de ser pastoreadas (SAGAR, 1994), de las cuales cerca del 50% se encuentran ubicadas en la región tropical (trópicos húmedo y sub-húmedo), que incluyen la región costera del Golfo de México (Tamaulipas, Veracruz y Tabasco), la península de Yucatán (Yucatán, Campeche y Quintana Roo), y parte de la región costera del Pacífico (Nayarit, parte de Jalisco, Colima, Michoacán, Guerrero, Oaxaca y Chiapas) (INEGI, 1998a).

En conjunto, las regiones tropicales de México agrupan más del 53% de las existencias ganaderas y producen el 57% de la producción de carne en canal (INEGI, 1998b). La producción de carne en canal para la República Mexicana durante 1999 fue de 1'390,330 t, en tanto la participación de la región tropical fue de aproximadamente 786,448 t.

Datos del frigorífico de la UGRT indican que para 1999, la carne en canal obtenida provino en un 80.9, 5.85, 1.45 y 11.81 %, de novillos, novillas, toros y vacas, respectivamente; por lo tanto, las 797,789 t producidas en la región tropical debieron ser producto del sacrificio de 2'643,067 novillos, 246,660 novillas, 32,710 toros y 437,210 vacas (**Cuadro 3**). Así, el número total de animales pigmentados sumaría 32,925 reses para 1999; consecuentemente, la carne en canal con problemas de comercialización para ese año fue de 7,750 t.

De acuerdo con los resultados encontrados en el rastro TIF de Villahermosa, Tab., se concluye que la incidencia global de canales pigmentadas fue de .47, .29, .53 y .91%, para novillos, novillas, toros y vacas, respectivamente. Siendo las vacas y los toros los animales más castigados en los años de mayor incidencia. De 1996 a 1999, la incidencia de canales amarillas se ha incrementado drásticamente (**Figura 2**), alcanzando para el último año el 0.98 % de las canales. Los ingresos del ganadero se reducen en cerca del 15% el valor de la canal cuando es catalogada como amarilla. Se estimó que para 1999, 7,750 toneladas de carne presentaron problemas de comercialización en las regiones de pastoreo en México.

## Agradecimientos

Los autores externan su agradecimiento al Frigorífico y Empacadora Tabasco, S. A., de la Unión Ganadera Regional de Tabasco, por las facilidades brindadas en la recolección de información.

## Literatura Citada

- Bidner TD, Schupp AR, Mohamad AB, Rumore NC, Montegory RE, Bagley CP and McMillin KW. 1986. Acceptability of Beef from Angus-Hereford or Angus-Hereford-Brahman Steers Finished on *all-forage* or a High-energy Diet. *J. Anim. Sci.* **62**:381-387.
- Busboom JR, Miller GJ, Field RA, Crouse JD, Riley ML and Ferrell CL. 1981. Characteristics of Fat from Heavy Ram and Wether Lambs. *J. Anim. Sci.* **52**:83-92.
- CEA. 1999. Situación Actual y Perspectiva de la Producción de Carne Bovina en México. Centro de Estadística Agropecuaria. Secretaria de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural. México.
- Craig HB, Blumer TN and Barrick ER. 1959. Effect of Several Combinations of Grass and Grain in the Ration of Beef Steers on the Color Characteristics of Lean and Fat. *J. Anim. Sci.* **18**: 241-248.
- Dinius DA and Cross HR. 1978. Feedlot Performance, Carcass Characteristics and Meat Palatability of Steers Fed Concentrate for Short Periods. *J. Anim. Sci.* **47**: 1109-1113.
- Donkersgoed JV, Jewison G, Mann M, Cherry B, Altwasser B, Lower R, Wiggins K, Dejonge R, Thorlakson B, Moss E, Mills C and Grogan H. 1997. Canadian beef quality audit. *Cann. Vet. J.* **38**(4):217-225. Abstr.
- Fergus MC. 1993. Color as a Factor in Food Choice. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* **33**:83-101.
- FMI. 1998. Fondo Monetario Internacional. México. Vol. LI, No. 5.
- Forrest JR. 1981. Effect of High Concentrate Feeding on the Carcass Quality and Fat Coloration of Grass-reared Steers. *Can. J. Anim. Sci.* **61**:575-580.
- Gross J. 1987. Pigments in Fruits. Academic Press. 303 p.
- Guimaraes AM, Saliba EOS, Rodriguez NM and Moreira PK. 1992. Variacao Sazonal de Vitamina A, Macro e Microelementos no Capim, Plasma e Fígado de Novilhas Nelore, Criadas em Pastagens de Capim Craquiária (*Brachiaria decumbens*). *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.*, **44**:57-66.
- Hedrick HB, Paterson JA, Matches AG, Thomas JD, Morrow RE, Stringer WC and Lipsey RJ. 1983. Carcass and Palatability Characteristics Of Beef Produced On Pasture, Corn Silage And Corn Grain. *J. Anim. Sci.* **57**: 791-801.
- Hidiroglou N, McDowell LR and Johnson DD. 1987. Effect of Diet on Performance, Lipid Composition of Subcutaneous Adipose And Liver Tissue of Beef

## Agradecimientos

Los autores externan su agradecimiento al Frigorífico y Empacadora Tabasco, S. A., de la Unión Ganadera Regional de Tabasco, por las facilidades brindadas en la recolección de información.

## Literatura Citada

- Bidner TD, Schupp AR, Mohamad AB, Rumore NC, Montegory RE, Bagley CP and McMillin KW. 1986. Acceptability of Beef from Angus-Hereford or Angus-Hereford-Brahman Steers Finished on *all*-forage or a High-energy Diet. *J. Anim. Sci.* **62**:381-387.
- Busboom JR, Miller GJ, Field RA, Crouse JD, Riley ML and Ferrell CL. 1981. Characteristics of Fat from Heavy Ram and Wether Lambs. *J. Anim. Sci.* **52**:83-92.
- CEA. 1999. Situación Actual y Perspectiva de la Producción de Carne Bovina en México. Centro de Estadística Agropecuaria. Secretaria de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural. México.
- Craig HB, Blumer TN and Barrick ER. 1959. Effect of Several Combinations of Grass and Grain in the Ration of Beef Steers on the Color Characteristics of Lean and Fat. *J. Anim. Sci.* **18**: 241-248.
- Dinius DA and Cross HR. 1978. Feedlot Performance, Carcass Characteristics and Meat Palatability of Steers Fed Concentrate for Short Periods. *J. Anim. Sci.* **47**: 1109-1113.
- Donkersgoed JV, Jewison G, Mann M, Cherry B, Altwasser B, Lower R, Wiggins K, Dejonge R, Thorlakson B, Moss E, Mills C and Grogan H. 1997. Canadian beef quality audit. *Cann. Vet. J.* **38**(4):217-225. Abstr.
- Fergus MC. 1993. Color as a Factor in Food Choice. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* **33**:83-101.
- FMI. 1998. Fondo Monetario Internacional. México. Vol. LI, No. 5.
- Forrest JR. 1981. Effect of High Concentrate Feeding on the Carcass Quality and Fat Coloration of Grass-reared Steers. *Can. J. Anim. Sci.* **61**:575-580.
- Gross J. 1987. Pigments in Fruits. Academic Press. 303 p.
- Guimaraes AM, Saliba EOS, Rodriguez NM and Moreira PK. 1992. Variacao Sazonal de Vitamina A, Macro e Microelementos no Capim, Plasma e Fígado de Novilhas Nelore, Criadas em Pastagens de Capim Craquiária (*Brachiaria decumbens*). *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.*, **44**:57-66.
- Hedrick HB, Paterson JA, Matches AG, Thomas JD, Morrow RE, Stringer WC and Lipsey RJ. 1983. Carcass and Palatability Characteristics Of Beef Produced On Pasture, Corn Silage And Corn Grain. *J. Anim. Sci.* **57**: 791-801.
- Hidiroglou N, McDowell LR and Johnson DD. 1987. Effect of Diet on Performance, Lipid Composition of Subcutaneous Adipose And Liver Tissue of Beef

- Cattle. *Meat Sci.* **20**:195.
- Huerta-Leidenz N O, Cross HR, Savell JW, Lunt DK, Baker JF, Pelton LS and Smith SB. 1993. Comparison of the Fatty Acid Composition of Subcutaneous Adipose Tissue From Mature Brahman and Hereford Cows. *J. Anim. Sci.* **71**:625-630.
- INEGI. 1999. Anuario Estadístico del Estado de Tabasco. Tabasco. Edición 1999.
- INEGI. 1998a. Anuario Estadístico de los Estados Unidos Mexicanos. Aguascalientes.
- INEGI. 1998b. Boletín de Información Oportuna del Sector Alimenticio. Número 169. Enero, 2000.
- Krugger WG, Field RA, Miller GJ, Horton KM and Busboom JR. 1982. Influence of Sex and Diet on Lutein in Lamb Fat. *J. Anim. Sci.* **54**:971-975.
- McCaughy WP and Cliplef RL. 1996. Carcass and Organoleptic Characteristics of Meat From Steers Grazed on Alfalfa/grass Pastures and Finished on Grain. *Can. J. Anim. Sci.* **76**:149-152.
- Mora O, Romano JL, González E, Ruiz FJ and Shimada A. 1999. *In vitro* and *in situ* Disappearance of  $\beta$ -Carotene and Lutein From Lucerne (*Medicago Sativa*) Hay in Bovine and Caprine Ruminal Fluids. *J. Sci. Food Agric.* **79**:273-276.
- Mora O, Romano JL, González E, Ruiz FJ and Shimada A. 2000. Low Cleavage Activity of 15,15'-dioxygenase to Convert  $\beta$ -Carotene to Retinal In Cattle Compared with Goats is Associated with the Yellow Pigmentation of Adipose Tissue. *Int J Vit Nutr Res.* En prensa.
- Morgan JHL, Pickering FS and Everitt GC. 1969. Factors Affecting Yellow Fat Colour in Cattle. *Proc. New Zealand Society Anim. Prod.* **29**:164-175.
- Pearson AM. 1966. Desiderability of Beef—its Characteristics and the Measurement. *J. Anim. Sci.* **25**:843-854.
- SAGAR. 1994. Compendio Estadístico de la Producción Pecuaria 1989-1993. México.
- SAS, 1988. SAS/SAT User's Guide. Release 6.03 Ed. Statistical Analysis System. Cary, NC. USA.
- SECOFI. 1991. Secretaria de Comercio y Fomento Industrial. Norma Oficial Mexicana. Clasificación de canales bovinas. NOM-OF-77-1991. México, D.F.
- Simonne HA, Green NR and Bransby DI. 1996. Consumer Acceptability and  $\beta$ -carotene Content of Beef as Related to Cattle Finishing Diets. *J. Food Sci.* **61**: 1254-1256.
- Tee ES. 1992. Carotenoids and Retinoids in Human Nutrition. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* **31**:103-163.
- Van Soest PJ. 1994. Nutritional Ecology of the Ruminant. Second ed. Comstock Publishing. New York, USA.
- Yang A, Larsen TW and Tume RK. 1992. Carotenoid and Retinol Concentrations in Serum, Adipose Tissue and Liver and Carotenoid Transport in Sheep, Goats and Cattle. *Aust. J. Agric. Res.* **43**:1809-1817.

**Cuadro 1. Animales sacrificados y pigmentados por año y tipo en el rastro (TIF) de Villahermosa, Tab.‡.**

	1988	1989	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	Total*
<b>Novillos</b>										
Sacrificados	151932	174986	174285	155894	184421	132871	116900	115159	133272	1339720
Pigmentados	260	252	327	1188	1213	390	492	995	1111	6228
Porcentaje	0.17	0.14	0.19	0.76	0.66	0.29	0.42	0.86	0.83	0.47 b
<b>Novillas</b>										
Sacrificadas	10009	20897	13627	9585	10522	7057	4383	5245	8956	90281
Pigmentadas	10	22	17	57	70	22	12	18	33	261
Porcentaje	0.10	0.11	0.12	0.60	0.67	0.31	0.27	0.34	0.37	0.29 c
<b>Toros</b>										
Sacrificados	2953	3724	3635	3764	4856	3872	2961	2296	2384	30445
Pigmentados	6	3	13	27	27	13	18	6	48	161
Porcentaje	0.20	0.08	0.36	0.72	0.56	0.34	0.61	0.26	2.01	0.53 b
<b>Vacas</b>										
Sacrificadas	25574	25296	18689	26158	29364	25492	15761	15716	19458	201502
Pigmentadas	82	26	101	662	280	111	85	95	411	1853
Porcentaje	0.32	0.10	0.54	2.53	0.95	0.44	0.54	0.60	2.11	0.91 a
<b>General</b>										
Sacrificadas	190468	224903	210236	195401	229163	169292	140005	138416	164064	1661948
Pigmentadas	358	303	458	1934	1590	536	607	1114	1603	8503
Porcentaje**	0.19 de	0.13 e	0.22 cd	0.99 a	0.69 c	0.32 c	0.43 c	0.80 b	0.98 ab	0.51

‡ Para 1990, 1991 y 1992 no existieron registros de canales pigmentadas en los archivos del rastro.

\* Diferentes literales en esta columna indican diferencias significativas para tipo de animal (P<.05).

\*\* Diferentes literales en esta fila indican diferencias significativas para año de sacrificio (P<.05).

**Cuadro 2. Castigo a canales pigmentadas en el rastro TIF de Villahermosa, Tab. ‡**

Tipo de animal	Peso vivo, kg	Peso de la canal	Grasa blanca o cremosa			Grasa amarilla <sup>b</sup>			Diferencia \$/animal
			Clasificación	Precio \$/kg <sup>c</sup>	Valor total \$ <sup>d</sup>	Clasificación	Precio \$/kg <sup>c</sup>	Valor total \$ <sup>d</sup>	
Novillo	448	244.16	Novillo 1	20.50	5005.28	Novillo 2	17.75	4333.84	671.44
Novilla	357	189.21	Novilla 1	18.50	3500.39	Novilla 2	16.75	3169.27	331.12
Toro	643	353.65	Toro 1	18.00	6365.70	Toro 2	16.00	5658.40	707.30
Vaca	431	215.50	Vaca 1	18.00	3879.00	Vaca 2	16.00	3448.00	431.00

‡ Se comparan dos reses bajo condiciones similares, una de ellas con tejido adiposo pigmentado.

b El castigo a una canal que resulta pigmentada considera la reducción de un punto en su clasificación.

c Información proveniente del catálogo de precios al productor en la UGRT: 25 de mayo del 2000.

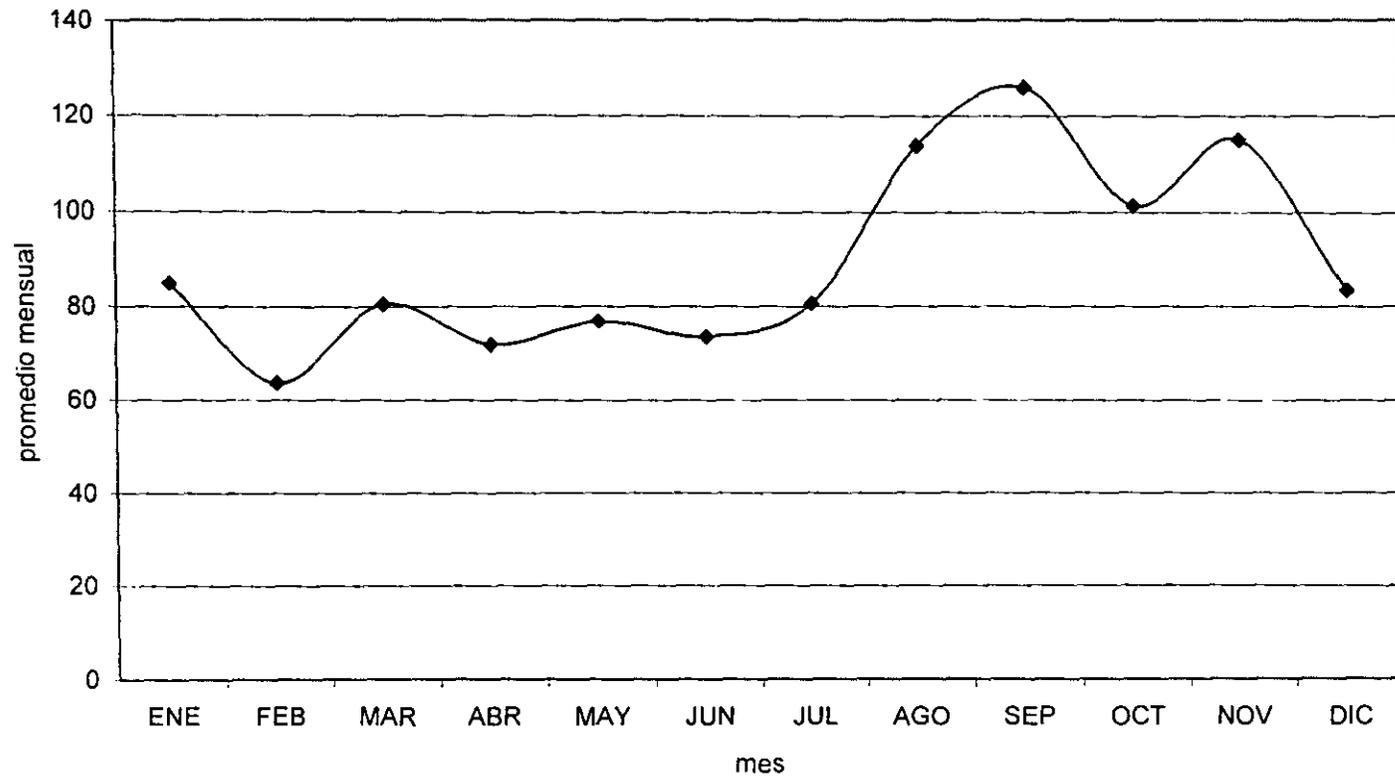
d No se considera el valor de piel, vísceras, cabeza y patas.

**Cuadro 3. Carne pigmentada con problemas de comercialización en la región tropical (1999)\*\***

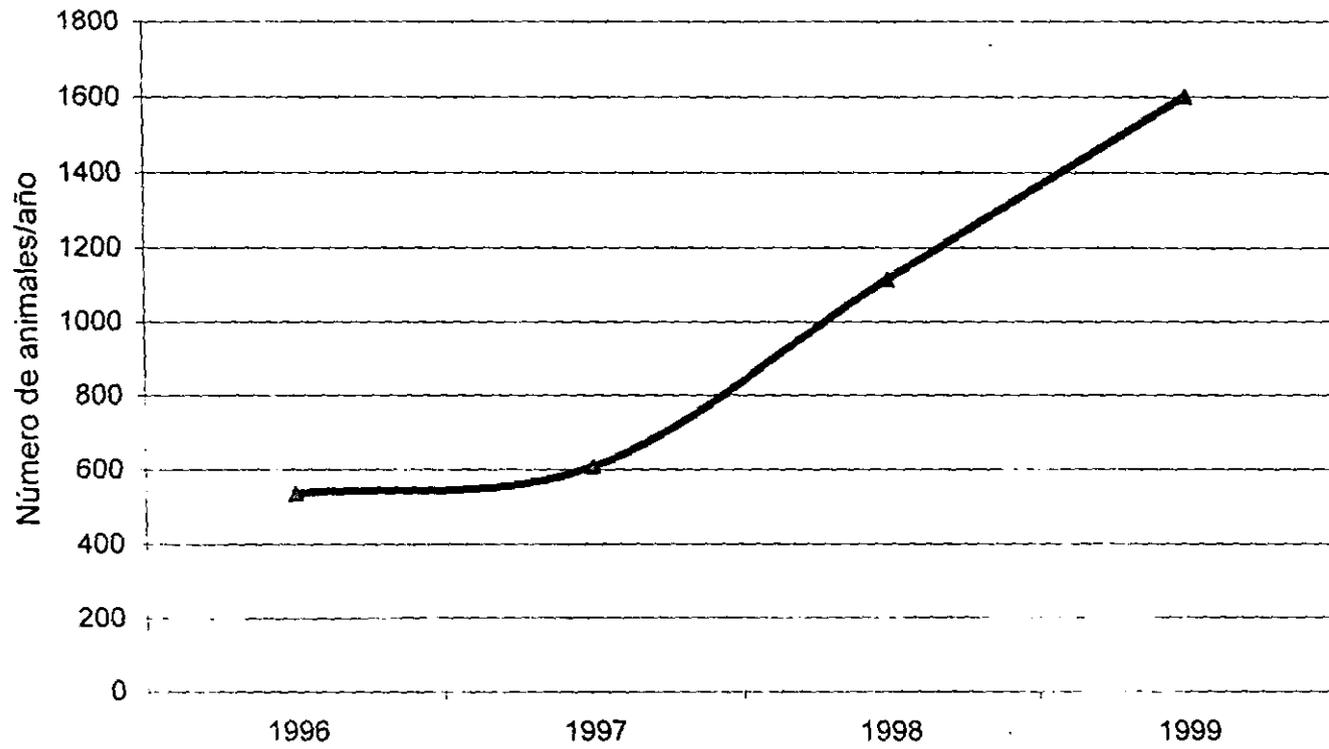
Tipo de ganado	Composición de la producción, %	Aporte por tipo, t	Animales sacrificados	% de pigmentados	Total de pigmentados	Peso en canal, kg	Carne pigmentada, t
Novillo	80.89	645,331.14	2'643,067	0.83	21,938	244.16	5,356.4
Novilla	5.85	46,670.63	246,660	0.37	913	189.21	173
Toro	1.45	11,567.93	32,710	2.01	658	353.65	232.7
Vaca	11.81	94,218.83	437,210	2.11	9,225	215.5	1,988
Total	100	<b>797,788.53*</b>	<b>3'359,648</b>		<b>32,734</b>		<b>7,750.10</b>

\*\* Comprende el 53% de la población ganadera y aporta el 57% de la producción de carne en canal (INEGI 1998b).

\* La producción nacional de carne en canal para 1999 fue de 1399629 T (SAGAR, 2000).



**Figura 1.** Comportamiento estacional de canales pigmentadas 1988-1999



**Figura 2.** Incidencia de canales pigmentadas de 1996 a 1999

## Introduction

Fresh pasture is usually rich in carotenoid pigments ( $\beta$ -carotene and lutein) and cattle can ingest substantial quantities of them in the diet. As not all of the ingested and absorbed  $\beta$ -carotene is transformed into vitamin A, the surplus is first presented to the blood and then deposited in adipose and hepatic tissues, which accumulate the intact compound, and as a result, yellow fat is frequently observed in carcasses from pasture-fed cattle (Morgan, Pickering, & Everitt, 1969; Strachan, Yang & Dillon, 1993).  $\beta$ -carotene accounts for 85-90% of the colour in cattle fat and thus colour intensity is correlated ( $r = .92$ ) with its carotenoid content. Lutein may also be detected in bovine adipose tissue (Yang, Larsen & Tume, 1992; Knight, Ridland, Hill, Death & Wyeth, 1993). MacGregor (1965) suggested that there is a relationship between fat colour and the palmitic acid content in adipose tissue and Zhou, Yang & Tume (1993) observed that trans-oleic acid (C18:1) showed a negative relationship with total carotenoid concentration and  $b^*$  value ( $r = -.58$  and  $-.61$ , respectively;  $P < .01$ ).

Excessive yellowness is regarded as undesirable, and seriously affects some markets (Yang, McLennan, Armstrong, Larsen, Shaw & Tume, 1993). Consumers object carcasses with excessively yellow fat because they assume that they come from old or rejected animals and that their meat has a lower nutritive quality. In consequence, producers try to reduce the incidence of the problem.

The colour of fat in carcasses from grass-fed cattle is known to become whiter after the animals are fed a high grain diet for an extended period of time; however, that might not be the best solution, especially in the tropical regions (Craig, Blumer & Barrick, 1959; Dinius and Cross, 1978; Forrest, 1981; Hidioglou, McDowell & Johnson, 1987).

On the other hand, there seems to be a lack of consensus regarding the effects of pasture vs. finishing diets on beef tenderness or palatability (Oltjen, Rumsey & Putman, 1971; Bidner *et al.*, 1986; Buchanan-Smith & Mandell, 1994; Simonne, Green, & Bransby, 1996; McCaughey & Cliplef, 1996). Fatty acid profile

has been used to evaluate some differences in organoleptic characteristics of carcasses (Larick and Turner, 1990).

The purpose of this study was to determine the relationship among carotenoid concentration, fat colour and fatty acid profile of the subcutaneous adipose tissue (from three different sites) of grass-fed cattle slaughtered in the tropical Southern part of Mexico.

## **Materials and Methods**

The State of Tabasco, in the humid tropics of the Mexican South, where beef cattle (mainly Zebu, Brown Swiss, Charolais, Brahman, and their crossbreds) are grazed year-round on *Cynodon plectostachyus*, *Digitaria decumbens*, *Brachiaria humidicola*, *Pennisetum purpureum*, and other pastures, with occasional supplementation, and where the presence of yellow fat is widely recognized by livestock producers as a major constraint, was selected as the sampling site for this study.

**Animals and Samples.** Samples were taken from 112 (out of approximately 5000) pasture-finished crossbred beef cattle, that were being processed at the Villahermosa, Tabasco, Federal Inspection Level abattoir and that were classified as yellow-fatted. Animals were killed, without food-deprivation, by captive bolt gun followed by exsanguination. All procedures were in accordance with the Mexican Federal laws for animal care (SAGAR, 1997). Representative samples of subcutaneous fat were collected. They were frozen and stored at -80°C until analysis.

*Group 1.* Consisted of 52 animals, slaughtered in Spring (April 1-7, 1999); samples were taken at the 13<sup>th</sup> rib level, and analyzed for carotenoid concentration and their fat colour, measured as described below.

*Group 2.* Consisted of 60 animals processed in Summer (July 1-7, 1999); the samples of subcutaneous adipose tissue were taken from three different sites: the

sternum, the 13<sup>th</sup> rib and the rump region near the base of the tail, analyzed for carotenoid concentration, fatty acid profile and colour.

**Colour Measurements.** Measurements of fat colour were carried out with a Minolta Chroma Meter (Model C2002) with 10° and D65 light source. Results were expressed as L\* (lightness), a\* (redness), b\* (yellowness), C (intensity) and hue (matrix angle, b/a). The a\* value is a measure of a colour continuum from red to green, and the b\* value is a measure of a colour continuum from yellow to blue. Greater L\* values denote lighter samples. For each sample, six measurements were performed on the surface of the adipose tissue.

**Carotenoid Analyses.** One gram of fat tissue was hydrolyzed in 2 mL 20% KOH in methanol at 65°C for 45 min, and then 6 mL of water were added.  $\beta$ -carotene and lutein were extracted twice with 8 mL of diethyl ether and extracts were washed 3 times with an equal volume of water to remove the KOH (Yang et al., 1992).

All extracts were evaporated under nitrogen at room temperature. Residues were dissolved in water-free acetone and transferred into brown HPLC injection vials. An HPLC system, which included a Hewlett Packard 1100 System with DAD, was used.

Separations were performed on a Prodigy C18 (Runcorn, UK) analytical column.  $\beta$ -carotene and retinol were eluted isocratically with acetonitrile (ACN)-tetrahydrofuran (THF)-water (77.5:20:2.5, v/v/v) at a flow rate of 1 mL/min, with  $\beta$ -carotene detection at 436 nm and lutein detection at 474 nm. In all cases, a 15  $\mu$ L aliquot was injected into the HPLC system.

**Fatty Acid Analyses.** The extraction and HPLC analyses of fatty acids were performed following the method described by Schuster (1985); .250 g of adipose tissue were hydrolyzed with 500  $\mu$ L of KOH/methanol (20%) at 80°C for 40 min in a thermomixer. After cooling, 1.5 mL ACN/THF (1:1) was added, and the mixture was shaken for 5 min. The mixture was then passed through a .45  $\mu$ m filter and then 1  $\mu$ L was injected into the HPLC. A pre-column derivatization was made using bromophenacyl bromide dissolved in ACN (60 mg/mL). The column used was a

MOS 150 x 4.6 mm, 5µm (Runcorn, UK). The fatty acids measurements were C12:0, C14:0, C16:0, C16:1, C18:0, C18:1, C18:2, C18:3 and C20:0.

**Statistical Analyses.** In both groups, multiple stepwise regression analyses were performed with SAS (1988) among the L\*, a\*, b\*, C and hue values and the carotenoid concentrations. The model used was :

$$Y = \beta_0 + \beta_1X_1 + \beta_2X_2 + \beta_3X_3 + \beta_4X_4 + \beta_5X_5 + \beta_6X_1^2 + \beta_7X_2^2 + \beta_8X_3^2 + \beta_9X_4^2 + \beta_{10}X_5^2 + E$$

where: y = concentration of carotenoids

$\beta_0$  = intercept

$\beta_1 \dots \beta_{10}$  = regression coefficients

$X_1$  = L\* effect

$X_2$  = a\* effect

$X_3$  = b\* effect

$X_4$  = C effect

$X_5$  = hue effect

E = error

Pearson's correlation coefficients were estimated to determine the relationship among carotenoid concentration, adipose tissue colour (group 1 and 2) and fatty acid profile (group 2).

The model used was:  $y = x$ , where:

y = carotenoid concentration

x = colour or fatty acid profiles

The data from Group 2 were subjected to an analysis of variance for a completely randomized design to detect differences between carotenoid concentration, fatty acid profiles and fat colour in the different sites of the subcutaneous adipose tissue, the model used was:

$$Y_{ij} = \mu + S_i + \mathcal{E}_{(ij)}, \text{ where:}$$

$Y_{ij}$  = carotenoid concentration, fatty acid profiles or colour fat.

$\mu$  = general mean.

$S_i$  = site of sample effect ( $i=1,2,3$ )

$\mathcal{E}_{(ij)}$  = experimental error.

The statistical analyses were performed separately for each group of animals. Using the LSD test to compare means (SAS, 1988).

## Results and Discussion

The mean carotenoid concentrations for group 1 were: 69.73 ( $\pm$  83), 11.73 ( $\pm$  13) and 81.46 ( $\pm$  93) nmol/g of adipose tissue for  $\beta$ -carotene, lutein and total carotenoids, respectively; total carotenoids being the algebraic sum of  $\beta$ -carotene and lutein. For group 2, the means were: for  $\beta$ -carotene, 208.3 ( $\pm$  195), 262.7 ( $\pm$  331) and 186.5 ( $\pm$  216); for lutein, 16.5 ( $\pm$  25), 20.8 ( $\pm$  28) and 17.6 ( $\pm$  26), and for total carotenoids, 224.7 ( $\pm$  212), 283.5 ( $\pm$  346) and 204.0 ( $\pm$  231) nmol/g of adipose tissue, for samples from the sternum, 13<sup>th</sup> rib and rump region, respectively. No differences were found among sampling sites.

In both groups the results were higher than those reported by other authors (Yang *et al.*, 1992; Knight *et al.*, 1993; Strachan *et al.*, 1993; Yang *et al.*, 1993; Mora, Romano, González, Ruiz, & Shimada, 2000). This fact might be attributed to the different breeds that were tested in each case; also, the higher concentrations observed in this research could be the result of the long grazing periods used to finish beef cattle in the tropics. In the same way, group 2 had higher concentrations than group 1, probably showing a season effect, meaning that in summer the growth and yield of forages is higher due to climatic factors, such as rainfall, temperature and solar radiation (Pearson, 1966). Guimaraes, Saliba, Rodríguez and Moreira (1992) found the highest concentrations of carotenoids in forages and blood plasma of heifers in the rainy season.

The mean values for the colour variables for group 1 were: 73.6 ( $\pm$  3.9), 4.6 ( $\pm$  2.9), 19.9 ( $\pm$  8.4), 19.9 ( $\pm$  8.1) and 77.4 ( $\pm$  5.3) for L\*, a\*, b\*, C and hue,

respectively. **Table 1** shows the data from the different sampling sites of subcutaneous adipose tissue from the animals in group 2. The differences in  $a^*$  and  $L^*$  could be due to the presence of haem pigment in the samples.

The differences in  $L^*$  could be consequence of the different concentration of fatty acids saturated in the sternum regarding rib and rump region. Pauling (1988) points out that the energy of stability is higher for a single bond than for multiple or double bonds. In this way, when carrying out the measurements of the color the sternum, by having a higher concentration of saturated fatty acids and with more single bonds, probably required higher energy for the same stability. This is reflected in a smaller lightness ( $L^*$ ) and an increased redness ( $a^*$ ). The values of  $L^*$ , could also provide information on the type of fatty acids in the different places of the adipose tissue of the cattle.

**Tables 2 and 3** show Pearson's correlation coefficients for groups 1 and 2, respectively. The colour measurements that showed the highest correlation coefficients in both groups were  $b^*$  and C, and the results are similar to those reported by Zhou *et al.* (1993).

Lutein represented between 7 and 15% of the total carotenoids, similar to what was reported by Yang *et al.* (1992). The equations that best predicted ( $P < .01$ ) the carotenoid concentrations as functions of the colour variables, for groups 1 and 2, respectively, were:

$$\beta\text{-carotene: } y = 3418 - 89.13L + .58L^2 + .14C^2 (r^2 = 0.68) \text{ and} \\ y = 234.18 - 34.43C + 2.23C^2 (r^2 = .43)$$

$$\text{Lutein: } y = -34.8 + 3.36C - 0.04C^2 (r^2 = .55) \text{ and} \\ y = 30.36 - .004L + .104b^2 (r^2 = .44)$$

$$\text{Total carotenoids: } y = 348.8 - 4.62L + .16C^2 (r^2 = .68) \text{ and} \\ y = 234.55 - 34.34C + 2.31C^2 (r^2 = .22),$$

Although  $b^*$  and C showed the highest correlation coefficients,  $L^*$  and C were the best predictors of carotenoid concentrations.

**Table 4** shows the fatty acids profiles of the adipose tissue samples taken from the sternum, 13<sup>th</sup> rib and the rump regions. Of the total fatty acids, 66% were saturated and 33.9%, unsaturated. MUFAS (mono-unsaturated fatty acids) were 10.9%, and PUFAS (poly-unsaturated fatty acids) 23%. These results are in accordance with those reported by Church (1988) and Zembayashi, Nishimura, Lunt & Smith (1995), who observed that C14, C16, C16:1, C18, C18:1 and C18:2, comprised between 80 and 90% of the total fatty acids of bovine subcutaneous adipose tissue. However, our total saturated fatty acids figure is higher than the ones reported previously in the literature (Westerling & Hedrick, 1979; Hidioglou *et al.*, 1987; Zhou *et al.*, 1993; Zembayashi *et al.*, 1995).

Among the different sampling sites of subcutaneous adipose tissue, the only difference in the fatty acids profile was found in sternum for C14 and C18. The results showed that sternum fat had 20% more C14 than the other sites ( $P \leq .08$ ), and 45% less C18 than the 13<sup>th</sup> rib and the rump region ( $P \leq .05$ ). No correlation was found between carotenoid concentration and fatty acids profile in any sampling site of subcutaneous adipose tissue ( $P > .1$ ), which contradicts the data reported previously by Zhou *et al.* (1993), who found correlation coefficients of .70 and  $-.72$  between the yellow colour of fat and *cis* mono-unsaturated and saturated fatty acids, respectively.

## Conclusions

Our data showed a significant correlation between the colour of the subcutaneous adipose tissue and its carotenoid concentration, and that the colour of fat is not correlated with its fatty acid profile. No important differences were found among different subcutaneous adipose tissue sampling sites. It is possible to predict the carotenoid concentrations from optical measurements ( $L^*$ ,  $b^*$  and  $C$ ).

## Acknowledgments

The authors wish to thank the Unión Ganadera Regional de Tabasco for granting us permission to work at the slaughter-house and collect the samples. The research was supported by the Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CoNaCyT) and is part of the thesis that the senior author submitted as a partial requirement for his M. Sc. degree from the Universidad Nacional Autónoma de México. Dr. Silvia Buntinx (UNAM) peer reviewed the manuscript.

## References

- Bidner, T. D., Schupp, A. R., Mohamad, A. B., Rumore, N. C, Montegory, R. E., Bagley, C. P. & McMillin, K. W. (1986). Acceptability of beef from Angus-Hereford or Angus-Hereford-Brahman steers finished on all-forage or a high-energy diet. *Journal of Animal Science*. **62**:381-387.
- Buchanan-Smith, J. G. & Mandell, I. B. (1994). Opportunities to influence eating and nutritional qualities of beef. In: *Eastern Nutrition Conference Proceedings*. 111-122. 19-20 April. Guelph, ON.
- Craig, H. B., Blumer, T. N. & Barrick, E. R. (1959). Effect of several combinations of grass and grain in the ration of beef steers on the color characteristics of lean and fat. *Journal of Animal Science*. **18**:241-248.
- Church, D. (1988). El Rumiante. Fisiología Digestiva y Nutrición. Ed. Acribia, España. pp. 339-355.
- Dinius, D. A. & Cross, H. R. (1978). Feedlot performance, carcass characteristics and meat palatability of steers fed concentrate for short periods. *Journal of Animal Science*. **47**:1109-1113.
- Forrest, J. R. (1981). Effect of high concentrate feeding on the carcass quality and fat coloration of grass-reared steers. *Canadian Journal of Animal Science*. **61**:575-580.
- Guimaraes, A. M., Saliba, E. O. S., Rodriguez, N. M. & Moreira, P. K. (1992). Variacao sazonal de vitamina A, macro e microelementos no capim, plasma e fígado de novilhas Nelore, criadas em pastagens de capim braquiária (*Brachiaria decumbens*). *Arq. Brasileiros de Medicina Veterinaria y Zootecnia*. **44**:57-66.
- Hidiroglou, N., McDowell, L. R. & Johnson D. D. (1987). Effect of diet on performance, lipid composition of subcutaneous adipose and liver tissue of beef cattle. *Meat Science*. **20**:195-210.
- Knight, T.W., Ridland, M., Hill, F., Death, A. & Wyeth, T. (1993). Effects of stress and nutritional changes on the ranking of cattle on plasma carotene concentrations. *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production* **53**:455-456.
- Larick, D. K. & Turner, B. E. (1990). Flavor Characteristics of forage and grain-fed beef as influenced by phospholipid and fatty acid compositional differences. *Journal of Food Science*. **55**:312-317.

- MacGregor, R. (1965). Muscles and Fat. In: The Structure of the Meat Animals. *Technical Press*. London. 54.
- McCaughey, W. P. & Cliplef, R. L.. (1996). Carcass and organoleptic characteristics of meat from steers grazed on alfalfa/grass pastures and finished on grain. *Canadian Journal of Animal Science*. **76**:149-152.
- Mora, O., Romano, J. L., González, E., Ruiz, F. & Shimada, A. (2000). Low cleavage activity of 15,15'dioxygenase to convert  $\beta$ -carotene to retinal in cattle compared with goats, is associated with the yellow pigmentation of adipose tissue. *Intern. J. for Vitamin and Nutrition Research*. **70**:In press.
- Morgan, J. H. L., Pickering, F. S. & Everitt, G. C. (1969). Factors affecting yellow fat colour in cattle. *Procc. of the New Zeal. Soc. of Anim. Prod.* **29**:164-175.
- Oltjen, R. R., Rumsey, T. S. & Putman, P. A. (1971). All forage diets for finishing beef cattle. *Journal of Animal Science*. **57**:791-801.
- Pearson A. M. (1966). Desirability of beef – its characteristics and the measurement. *Journal of Animal Science*. **25**:843-854.
- SAGAR. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural. (1997). Sacrificio Humanitario de los Animales Domésticos y Silvestres. Norma Oficial Mexicana NOM-033-ZOO-1995. *Diario Oficial de la Federación*. 16 de Julio. México, D.F.
- SAS (1988). SAS/SAT. User's Guide. Release 6.03 Edition. *Statistical Analysis System*. Cary, NC, USA.
- Schuster, R. (1985). Determination of fatty acids in margarine and butter by on-column derivatization. *HP Application*. Note 5954-0826.
- Simonne, H. A., Green, N. R. & Bransby, D. I. (1996). Consumer acceptability and  $\beta$ -carotene content of beef as related to cattle finishing diets. *Journal of Food Science*. **61**:1254-1256.
- Strachan, D. B., Yang, A. & Dillon, R. D. (1993). Effect of grain feeding on fat colour and other carcass characteristics in previously grass-fed *Bos indicus* steers. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. **33**:269-273.
- Westerling, D. B. & Hedrick, H. B. (1979). Fatty acid composition of bovine lipids as influenced by diet, sex and anatomical location and relationship to sensory characteristics. *Journal of Animal Science*. **48**:1343-1348.
- Yang, A., Larsen T.W. & Tume R. K. (1992). Carotenoid and retinol concentrations in serum, adipose tissue and liver and carotenoid transport in sheep, goats and cattle. *Australian Journal of Agricultural Research*. **43**:1809-1817.
- Yang, A., McLennan S.R., Armstrong J., Larsen T.W., Shaw F.D. & Tume R. K. (1993) Effect of short-term grain feeding on bovine body-fat colour: a cautionary note. *Australian Journal of Agricultural Research*. **44**:215-220
- Zembayashi, M. Nishimura, K., Lunt, D. K. & Smith, S. B.. (1995). Effect off breed type and sex on the fatty acid composition of subcutaneous and intramuscular lipids of finishing steers and heifers. *Journal of Animal Science*. **73**:3325-3332.
- Zhou, G. H. Yang, A. & Tume, R. K.. (1993). A relationship between bovine fat colour and fatty acid composition. *Meat Science*. **35**:205-212.

**Table 1.** Colour measurements of adipose tissue of pasture-fed tropical cattle, on three different sampling sites. Group 2.

Colour	Site					
	Sternum	SE	13 <sup>th</sup> Rib	SE	Rump	SE
L*	76.08 <sup>a</sup>	.48	78.65 <sup>b</sup>	.52	77.76 <sup>b</sup>	.56
a*	7.85 <sup>a</sup>	.33	6.70 <sup>b</sup>	.32	7.21 <sup>ab</sup>	.29
b*	11.69 <sup>a</sup>	.52	10.76 <sup>a</sup>	.55	11.24 <sup>a</sup>	.57
C	14.92 <sup>a</sup>	.52	12.83 <sup>a</sup>	.58	13.47 <sup>a</sup>	.60
hue	55.49 <sup>a</sup>	1.30	57.39 <sup>a</sup>	1.22	56.26 <sup>a</sup>	1.00

Within rows, values with different superscripts are significantly different ( $P < .05$ );  $n = 60$ . SE=Standar error  
L\*=lightness, a\*=redness, b\*=yellowness, C=intensity and hue=matrix angle, b/a.

**Table 2.** Pearson's correlation coefficients between colour Measurements and carotenoid concentrations in adipose tissue of pasture-fed tropical cattle ( $P < .05$ ). Group 1.

	L*	a*	b*	C	hue
$\beta$ -carotene	-.55	.69	.71	.78	-.31
Lutein	-.49	.61	.70	.70	-.32
Total					
Carotenoids	-.56	.70	.73	.80	-.32

L\*=lightness, a\*=redness, b\*=yellowness, C=intensity and hue=matrix angle, b/a.

**Table 3.** Pearson's correlation coefficients between colour measurements and carotenoid concentrations in adipose tissue of pasture fed cattle, sampled from three different sites. Group 2. n = 60.

	L*	a*	b*	C	hue
<b>Sternum</b>					
β-carotene	-.08 <sup>NS</sup>	.40 <sup>++</sup>	.65 <sup>++</sup>	.68 <sup>++</sup>	.19 <sup>NS</sup>
Lutein	.02 <sup>NS</sup>	.11 <sup>NS</sup>	.59 <sup>++</sup>	.52 <sup>++</sup>	.37 <sup>++</sup>
Total Carotenoids	-.07 <sup>NS</sup>	.38 <sup>++</sup>	.67 <sup>++</sup>	.68 <sup>++</sup>	.22 <sup>NS</sup>
<b>13<sup>th</sup> Rib</b>					
β-carotene	-.21 <sup>NS</sup>	.45 <sup>++</sup>	.49 <sup>++</sup>	.52 <sup>++</sup>	.05 <sup>NS</sup>
Lutein	-.15 <sup>NS</sup>	.32 <sup>+</sup>	.49 <sup>++</sup>	.48 <sup>++</sup>	.18 <sup>NS</sup>
Total Carotenoids	-.21 <sup>NS</sup>	.46 <sup>++</sup>	.51 <sup>++</sup>	.54 <sup>++</sup>	.06 <sup>NS</sup>
<b>Rump region</b>					
β-carotene	-.29 <sup>+</sup>	.63 <sup>++</sup>	.75 <sup>++</sup>	.77 <sup>++</sup>	.27 <sup>+</sup>
Lutein	-.44 <sup>++</sup>	.39 <sup>++</sup>	.34 <sup>++</sup>	.37 <sup>++</sup>	0.0 <sup>NS</sup>
Total Carotenoids	-.42 <sup>+</sup>	.64 <sup>++</sup>	.75 <sup>++</sup>	.76 <sup>++</sup>	.25 <sup>NS</sup>

L\*=lightness, a\*=redness, b\*=yellowness, C=intensity and hue=matrix angle, b/a. NS=P>.05; +=P≤.05; ++=P≤.01.

**Table 4.** Fatty acid profile of subcutaneous adipose tissue of pasture-fed tropical beef cattle, sampled from three different sites, %. Group 2

Fatty acid	Sternum	SE	13 <sup>th</sup> Rib	SE	Rump	SE
C12:0	15.64	2.31	13.67	2.28	14.79	2.65
C14:0 <sup>**</sup>	25.34 <sup>b</sup>	2.07	18.57 <sup>a</sup>	2.0	21.24 <sup>ab</sup>	2.04
C16:0	26.28	3.65	29.58	4.05	26.94	4.06
C16:1	6.58	.51	7.79	.95	6.35	.45
C18:0 <sup>*</sup>	1.38 <sup>a</sup>	.22	2.01 <sup>ab</sup>	.33	2.38 <sup>b</sup>	.27
C18:1	3.44	.37	4.31	.53	4.24	.43
C18:2	14.99	1.36	16.00	1.57	16.66	1.87
C18:3	6.25	.76	7.68	.95	7.19	.86
C20:0	.10	.06	.13	.08	.19	.15
Unsaturated	31.27	2.24	36.05	2.87	34.45	2.81
Saturated	68.73	2.24	63.95	2.87	65.55	2.81
MUFAS	10.02	.69	12.10	1.08	10.59	.75
PUFAS	21.24	1.95	23.94	2.3	23.85	2.35

Within rows, values with different superscripts are significantly different \*(P ≤ .05) \*\*(P ≤ .08). Values are expressed as percentages and SEM. MUFAS = Mono-unsaturated fatty acids. PUFAS = Poly-unsaturated fatty acids.

## 7. DISCUSIÓN GENERAL

A partir de 1994, la economía mexicana ha estado inmersa en una crisis severa, suscitándose diversos fenómenos (devaluación económica, alza en el precio de insumos, disminución de créditos, incremento de la cartera vencida, presencia de sequías recurrentes y la apertura de nuestras fronteras al libre comercio), que hicieron de la actividad pecuaria, una opción menos rentable. Asimismo, se provocó el cierre de pequeñas y medianas empresas pecuarias; consecuentemente, parte del inventario ganadero fue llevado a rastro, incrementando la oferta de carne de res.

La mayor incidencia de canales pigmentadas empieza precisamente en 1994. De ese año en adelante, el problema de canales amarillas ha mostrado una tendencia a la alza, quizá como consecuencia de la adopción de sistemas de producción de carne más baratos, como lo es el pastoreo. Lo anterior, aunado a la subjetividad en la clasificación de canales, ha provocado que el problema de canales pigmentadas sea cada vez más evidente. Aunque esta investigación fue específica para Tabasco, es de esperarse que en el resto de las regiones de pastoreo en México se tengan condiciones similares.

Otro aspecto que ha contribuido a esta problemática, es la necesidad que tienen los ganaderos, dada la apertura de México al comercio internacional, de exportar carne a mercados como Canadá y Japón, donde las condiciones culturales de consumo en estos mercados exigen un producto de excelente calidad.

A pesar de lo anterior, se considera que la incidencia es mucho mayor a la reportada actualmente, y esta afirmación está fundamentada en las siguientes razones:

- 1) existen lotes de ganado con tejido adiposo pigmentado, pero homogéneos; así, la pigmentación de canales no se hace tan evidente y no son clasificadas como amarillas;
- 2) el sistema de clasificación de canales es meramente subjetivo, por lo que, a veces, no toma en cuenta el color real de las canales; y

- 3) el que se clasifique una canal como amarilla o no (aceptación o rechazo), muchas veces puede estar en función a las leyes de la oferta y demanda de la carne.

Ante la falta de una metodología científica adecuada que permita dar una solución real al problema, los ganaderos organizados han diseñado estrategias que les permiten resolverlo parcialmente, como: a) someter a los animales provenientes de pastoreo a periodos cortos de engorda en corral; b) cubrir las canales con mantas empapadas con una solución salina (despigmentante); c) la comercialización de las canales pigmentadas en cortes, y d) búsqueda de vías de comercialización aptas para este tipo de canales, donde las exigencias del mercado no limiten su venta (colonias populares). Cualquiera de estas estrategias tiene desventajas, tales como: no resuelven el problema de fondo o lo resuelven parcialmente y se incrementan los costos de producción (infraestructura y personal).

En ambos grupos de la segunda parte de esta investigación, la concentración de carotenoides en tejido adiposo fue alta respecto a la reportada previamente (Yang *et al.*, 1992; Knight *et al.*, 1993; Strachan *et al.*, 1993 y Mora *et al.*, 1998). Este hecho puede atribuirse a las diferentes razas utilizadas en cada caso, aunado a los largos periodos de pastoreo usados en la finalización de los animales en la región tropical. La mayor concentración de carotenoides en el grupo 2 indica un efecto de estación del año (verano).

Los resultados sobre la medición del color al tejido adiposo corroboran la alta asociación entre el color y concentración de carotenoides, reportada previamente (Zhou *et al.*, 1993). Esto significa que es factible la predicción del la coloración del tejido adiposo en función de la concentración de carotenoides, ya que según esto, el color del tejido adiposo depende en un 70 a 80%, de su contenido de carotenoides. Asimismo, el perfil de ácidos grasos queda totalmente excluido de atributos pigmentantes o de alguna relación con la concentración de carotenoides en el tejido adiposo subcutáneo de la canal. Por otra parte, también queda demostrado que no existen diferencias en el color y concentración de

carotenoides en los diferentes sitios estudiados de la canal, lo cual indica que la deposición de carotenoides en tejido adiposo es homogénea, presentando una dinámica similar en estos sitios.

Dados estos resultados, es posible predecir la concentración de carotenoides en función de mediciones ópticas, siendo amarillos + verdes (b), luminosidad (L) y cromaticidad (C) los mejores predictores. En este sentido, es factible el desarrollo y estandarización de un método óptico, que mida la pigmentación de canales bovinas y que, al incluirlo en los sistemas comerciales de producción de carne, pueda lograrse objetividad en el sistema de clasificación de canales, lo cual es necesario como parte del proceso de modernización de la industria alimenticia mexicana.

## 8. CONCLUSIONES

La incidencia global de canales pigmentadas en el rastro TIF de Villahermosa, Tab. fue de 0.47, 0.29, 0.53 y 0.91 %, para novillos, novillas, toros y vacas, respectivamente. De 1996 a 1999, la incidencia se ha incrementado drásticamente, a tal grado que para el último año, el 0.98% de las canales han sido catalogadas como amarillas.

Las pérdidas económicas que sufren los ganaderos se ubican en cerca del 15 % del valor de la canal. Se estimó que para 1999, 7,750 t de carne presentaron problemas de comercialización.

Hasta el momento los ganaderos han diseñado estrategias que les permiten subsanar parcialmente el problema; sin embargo, la incidencia de canales pigmentadas parece ser mucho mayor a la actualmente reportada, ya que no se cuenta con un sistema objetivo de clasificación de canales por color. En un futuro cercano, el problema puede hacerse mucho más evidente, debido a la presencia de consumidores cada vez más exigentes y ante la entrada de México al libre mercado.

Por otra parte, existe una alta correlación entre el color del tejido adiposo y su concentración de carotenoides, no existiendo ninguna asociación entre éstos y el perfil de ácidos grasos.

No existen diferencias en pigmentación y concentración de carotenoides en la grasa subcutánea de la canal, en los sitios muestreados (esternón, costilla y maslo).

Es factible predecir la concentración de carotenoides y el color a partir de mediciones ópticas, pudiendo lograr con ello, objetividad en el sistema de clasificación de canales.

## 9. REFERENCIAS

- Anónimo, 1986. "Food Colors". *Food Technol.* **4**(1):49-53.
- Arechiga, C. F., C. R. Staples, L. R. McDowell, and P. J. Hansen. 1998. Effects of Timed Insemination and Supplemental  $\beta$ -Carotene on Reproduction and Milk Yield of Dairy Cows Under Heat Stress. *J. Dairy Sci.* **81**:390-402.
- Badui, D. S. 1993. Química de los Alimentos. Ed. Alahmbra. México, D. F. Pp. 379-405.
- Ben, A. A., Grossman, I. A., Budowski, P. 1971. Carotene-Bleaching Activities Lipoxigenase and Heme Proteins as Studied By a Direct Spectrophotometric Method. *Phytoch.* **10**:1445-1452.
- Bendich, A. and Olson, J. 1989. Biological Actions of Carotenoids. *FASEB J.* **3**: 1927-1932.
- Bidner, T. D., Schupp, A. R., Mohamad, A. B., Rumore, N. C., Montegory, R. E., Bagley, C. P. and McMillin, K. W. 1986. Acceptability of Beef From Angus-Hereford Or Angus-Hereford-Brahman Steers Finished on All-Forage or a High-Energy Diet. *J. Anim. Sci.* **62**:381-387.
- Brief, S. and Chew, P. B. 1985. Effects of Vitamin A and  $\beta$ -Carotene on Performance In Gilts. *J. Anim. Sci.* **60**:998-1000.
- Britton, G., Liaaen-Jensen, S. and Pfander, H. 1995. Carotenoids. Volume 1B: Spectroscopy. Birkhauser. Germany. Pp. 56-59.
- Burton, G. W. 1989. Antioxidant Action of Carotenoids. *J. Nutr.* **119**:109-111.
- Converse, H. T., and E. B. Meigs. 1941. The Carotene Requirements for Normal Reproduction. *J. Anim. Sci.* **21**:114-118.
- Cooke, B. C. 1978. A Study of The Relationship Between Beta-Carotene and Fertility Problems in Dairy Cows. Roche Symp., London.
- Craig, H. B., Blumer, T. N., Barrick, E. R. 1959. Effect of Several Combinations of Grass and Grain in the Ration of Beef Steers on the Color Characteristics of Lean and Fat. *J. Anim. Sci.* **18**: 241-248.
- Chew, B. P. and Johnston, L. A. 1985. Effects of Vitamin A and  $\beta$ -Carotene on Mastitis in Dairy Cows. *J. Dairy Sci.* **68** (Suppl. 1):191 (Abstr.).
- Church, D. 1988. El Rumiente. Fisiología Digestiva y Nutrición. Ed. Acribia, España. pp. 339-355.
- Davis, B. H. 1976. Carotenoids. In "Chemistry and Biochemistry of Plant Pigments" (T. W. Goodwin, Ed.) Vol. **2**, 38-165. Academic Press, London
- Delgado, V. F., Jiménez, A. R. and Paredes, L. O. 2000. Natural Pigments: Carotenoids, Anthocyanins, and Betalains-Characteristics, Biosynthesis, Processing, and Stability. *Crit. Rev. in Food Sci. Nutr.* **40**(3):173-289.
- Dinius, D. A. and Cross, H. R. 1978. Feedlot Performance, Carcass Characteristics and Meet Palatability of Steers Fed Concentrate for Short Periods. *J. Anim. Sci.* **47**: 1109.
- Fennma, O. R. 1996. Food Chemistry. Third Edition. Marcel Dekker. Usa.
- Fergus, M. C. 1993. Color as a Factor in Food Choice. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* **33**:83-101.

- Folman, Y., Ascaselli, I., Hertz, Z., Rosenberg, M., Davidson, M. and Halevi, A. 1979. Fertility of Dairy Heifers Given a Commercial Diet Free of Beta-Carotene. *Br. J. Nutr.* **41**:353-354.
- Forrest, J. R., 1981. Effect of High Concentrate Feeding on the Carcass Quality and Fat Coloration of Grass-Reared Steers. *Can. J. Anim. Sci.* **61**:575-580.
- Frieseke, H. 1978. The Significance of Beta-Carotene in Ruminant Nutrition: Field Results-Europe. Roche Symp., London.
- García-Asuaa, G., Langa, H. P., Cogdell, R. J. and Huntera, C. N. 1998. Carotenoid Diversity: A Modular Role for the Phytoene Desaturase. *Trends in Plant Sci.* **3**:445-449.
- Goodwin, T. W. 1992. Biosynthesis of Carotenoids: An Overview. *Method. Enzymol.*, **214** (Part B):330-340.
- Gross, J. 1987. Pigments In Fruits. Academic Press. 198-207.
- Grownowska-Senger A. and Wolf G. 1970. Effect of Dietary Protein on the Enzyme From Rat and Human Intestine Which Converts Beta-Carotene into Vitamin A. *J. Nutr.* **100**: 300-308.
- Guimaraes, A. M., Saliba, E. O. S., Rodríguez, N. M. and Moreira, P. K. 1992. Variacao sazonal de vitamina A, macro e microelementos no capim, plasma e figado de novilhas Nelore, criadas em pastagens de capim braquiária (*Brachiaria decumbens*). *Arq. Bras. Med. Vet. y Zoot.* **44**:57-66.
- Havaux, M. 1998. Carotenoids as Membrane Stabilizers in Chloroplasts. *Trends in Plant Sci.* **3**:147-151.
- Hedrick, H. B., Paterson, J. A., Matches, A. G., Thomas, J. D., Morrow, R. E., Stringer, W. C. and Lipsey, R. J. 1983. Carcass and Palatability Characteristics of Beef Produced on Pasture, Corn Silage and Corn Grain. *J. Anim. Sci.* **57**: 791-801.
- Hidiroglou, N., McDowell, L. R. and Johnson D. D. 1987. Effect of Diet on Performance, Lipid Composition of Subcutaneous Adipose and Liver Tissue of Beef Cattle. *Meat Sci.* **20**:195-199.
- Hill, F. 1968. Quality in meat and quality control of meat products. *J. Inst. Meat* **59**:6-16.
- Knight, T. W., Death, A. F., Muir, P. D., Ridland, M. and Wyeth, T. K. 1996. Effect of Dietary Vitamin A on Plasma and Liver Carotenoid Concentrations and Fat Color in Angus and Angus Crossbred Cattle. *New Zealand J. Agr. Res.* **39**: 281-292.
- Knight, T.W., Ridland, M., Hill, F., Death, A. and Wyeth, T. 1993. Effects of Stress and Nutritional Changes on the Ranking of Cattle on Plasma Carotene Concentrations. *Proc. New Zealand Soc. Anim. Prod.* **53**:455-456.
- MacGregor, R. 1965. Muscles and Fat. In: The Structure of the Meat Animals. *Technical Press*. London. 54.
- Marmar, N. W., Maxwell, R. J. and Williams, J. E. 1984. Effects of dietary regimen and tissue site on bovine fatty acid profiles. *J. of Anim. Sci.* **59** (1):109-121.
- McCaughy, W. P. and Cliplef, R. I. 1996. Carcass and Organoleptic Characteristics of Meat From Steers Grazed on Alfalfa/Grass Pastures and Finished on Grain. *Can. J. Anim. Sci.* **76**:149-152.

- McDowell, L. R. 1989. Vitamins In Animal Nutrition. Academic Press. London.
- Michael, J. J., Chew, B. P., Wong, T. S., Heirman, L. R. and Standaert, F. E. 1990. Effects of Supplemental  $\beta$ -Carotene on Blood and Mammary Phagocyte Function in Peripartum Dairy Cows. *J. Dairy Sci.* **73** (Suppl. 1):149 (Abstr.).
- Moon, C. R. 1989. Comparative Aspects of Carotenoids and Retinoids as Chemopreventive Agents for Cancer. *J. Nutr.* **119**:127-134.
- Mora, I. O. 1998. Estudios Sobre el Metabolismo de los Carotenoides en Bovinos para Prevenir la Pigmentación de la Grasa. Universidad Nacional Autónoma de México. Tesis Doctoral. México, D. F.
- Mora, O., Romano, J. L., González, E., Ruiz, J. F. and Shimada, A. 1999. *In vitro* and *in situ* disappearance of  $\beta$ -carotene and lutein from lucerne (*Medicago sativa*) hay in bovine and caprine ruminal fluids. *J. Sci. Food Agric.* **79**:273-276
- Mora, O., Romano, J. L., González, E., Ruiz, F. and Shimada, A. 2000. Low cleavage activity of 15,15'-dioxygenase to convert  $\beta$ -carotene to retinal in cattle compared with goats, is associated with the yellow pigmentation of adipose tissue. *Intern. J. for Vit. and Nutr. Res.* **70**:In press.
- Morgan, J. H. L., Pickering, F. S., and Everitt, G. C. 1969. Factors Affecting Yellow Fat Colour in Cattle. *Proc. New Zealand Soc. Anim. Prod.* **29**:164-175.
- Multon, J. L. y Lapatre, F. 1988. Aditivos y Auxiliares de Fabricación en las Industrias Agro-Alimentarias. Ed. Acribia. España, Pág. 32-297.
- Olson, J. A. 1989. Provitamin A Function of Carotenoids: the Conversion of  $\beta$ -Carotene into Vitamin A. *J. Nutr.* **119**:105-108.
- Parker, L. 1992. Methods in Enzimology. Vol. 213. Carotenoids. Part A. Chemistry, Separation, Quantification and Antioxidation. Academic Press. London.
- Pauling, L. 1988. General Chemistry. Dover Publications, Inc. New York. USA. Pp. 170.
- Pearson A. M. 1966. Desirability of beef – its characteristics and the measurement. *J. Anim. Sci.* **25**:843-854.
- Pollack, J., Campbell, J., Potter, S. and Erdman, J. 1994. Mongolian Gerbils (*Meriones Unguiculatus*) Absorb  $\beta$ -Carotene Intact From a Test Meal. *J. Nutr.* **124**: 869-873.
- Ribaya, M. J., Holmgren, S. C., Fox, J. G. and Russell, R. M. 1989. Dietary  $\beta$ -Carotene Absorption and i Ferrets and Rats. *J. Nutr.* **119**: 665-668.
- SAGAR, 1994. Compendio Estadístico de la Producción Pecuaria 1989-1993. México.
- Schwartz, J., Suda, D. and Light, G. 1986. Beta Carotene is Associated with the Regression of Hamster Buccal Pouch Carcinoma and Induction of Tumor Necrosis Factor in Macrophages. *Biochem. Biophys. Res. Comm.* **136**:1130-1135.
- Simonne, H. A., Green, N. R. and Bransby, D. I. 1996. Consumer Acceptability and  $\beta$ -Carotene Content of Beef as Related to Cattle Finishing Diets. *J. Food Sci.* **61** (6): 1254-1256.
- Strachan, D. B., Yang, A. and Dillon, R. D. 1993. Effect of Grain Feeding on Fat

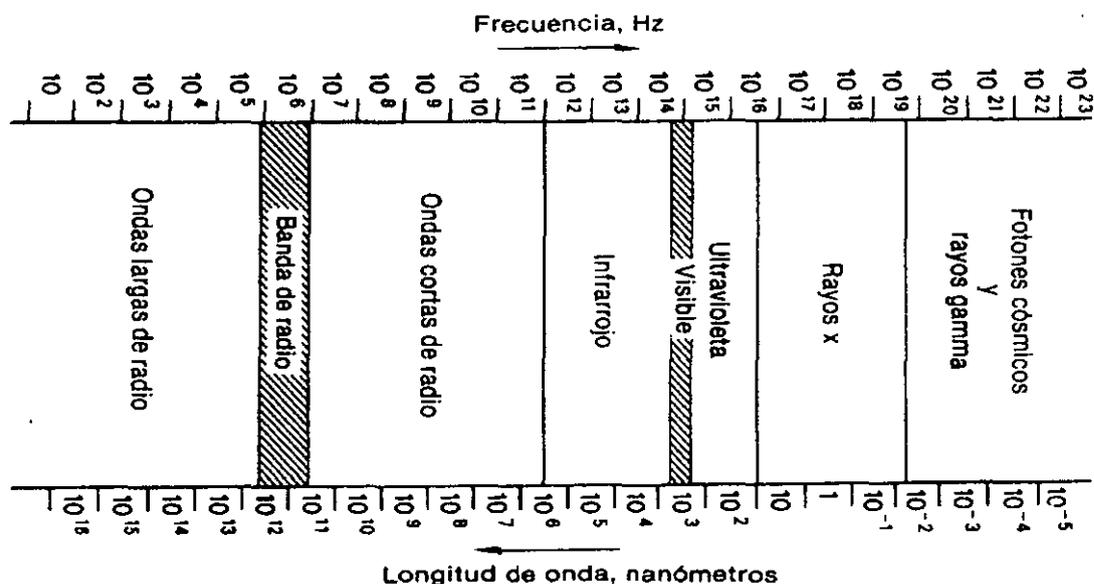
- Colour and Other Carcass Characteristics in Previously Grass-Fed *Bos Indicus* Steers. *Austr. J. Exp. Agr.* **33**:269-273.
- Tee, E. S. 1992. Carotenoids and Retinoids in Human Nutrition. *Crit. Rev. Food Sci. and Nutr.* **31**(1/2):103-163.
- Van-Soest, P. 1994. Nutritional Ecology of the Ruminant. Second Ed. Comstock Publishing, Associates of A Division of Cornell University Press. New York, USA.
- Wang, J. Y., and Larson, L. L. 1983. Effect of Beta-Carotene Supplementation on Estrus Activity in Dairy Heifers. *J. Dairy Sci.* **66** (Suppl. 1):239. (Abstr.).
- Westerling, D. B. and Hedrick, H. B. 1979. Fatty acid composition of bovine lipids as influenced by diet, sex and anatomical location and relationship to sensory characteristics. *J. of Anim. Sci.* **48**:1343-1348.
- White W, Peck K, Ulman E and Erdman J. 1993. The Ferret as a Model for Evaluation of the Bioavailabilities for All-Trans- $\beta$ -Carotene and its Isomers. *J. Nutr.* **123**: 1129-1139.
- Willard, H. H., Merrit, L. L., Dean, A. J. y Settle, A. Frank. 1991. Métodos Instrumentales de Análisis. Ed. Iberoamericana. México.
- Yang, A., Larsen, T. W. and Tume, R. K. 1992. Carotenoid and Retinol Concentrations in Serum, Adipose Tissue and Liver and Carotenoid Transport in Sheep, Goats and Cattle. *Aust. J. Agric. Res.* **43**: 1809-1817.
- Zembayashi, M., Nishimura, K., Lunt, D. K. and Smith, S. B. 1995. Effect of breed type and sex on the fatty acid composition of subcutaneous and intramuscular lipids of finishing steers and heifers. *J. Anim. Sci.* **73**:3325-3332.
- Zhou, G. H. Yang, A. and Tume, R. K. 1993. A Relationship Between Bovine Fat Colour and Fatty Acid Composition. *Meat Sci.* **35**:205-212.
- Ziegler, R. G. 1989. A Review of Epidemiology Evidence that Carotenoids Reduce the Risk of Cancer. *J. Nutr.* **119**:116-117.

## 10. ANEXOS

### PRINCIPIOS FÍSICOS DE ESPECTROSCOPIA DE ABSORCIÓN ÓPTICA

#### a). Fundamentos de espectroscopía

El intervalo de frecuencias del espectro electromagnético es muy grande y se divide en 8 regiones principales: ondas largas de radio, ondas cortas de radio, región infrarroja, visible, ultravioleta, rayos X, gamma y fotones cósmicos (Figura 6). La longitud de onda ( $\lambda$ ) de la radiación electromagnética está relacionada con su frecuencia ( $f$ ), a través de la ecuación general (Tippens, 1988):



$$c = f \lambda, \text{ donde, } c = \text{velocidad de la luz } (3 \times 10^8 \text{ m/s}).$$

**Figura 6.** Espectro electromagnético

En términos de longitud de onda, el segmento reducido del espectro electromagnético que se refiere a la región visible está comprendido entre 0.00004 y 0.00007 cm, es decir, entre los 400 y 700 nanómetros (nm). A su vez la luz de la región visible, al ser dispersada por un prisma, da los colores espectrales que la

componen, con sus respectiva longitud de onda, mismos que se presentan en el siguiente cuadro:

**Cuadro 5.** Colores espectrales de la región visible

<b>Color representativo</b>	<b>Longitud de onda, (nm)</b>	<b>Color (sustractivo) complementario</b>
Violeta	400-424	Verde amarillento
Azul	424-491	Amarillo
Verde	491-570	Rojo
Amarillo	570-585	Azul
Naranja	585-647	Azul verdoso
Rojo	647-700	Verde

Tomado de Fessenden y Fessenden (1983).

El espectro electromagnético es continuo y no hay separaciones entre una forma de radiación y otra; los límites establecidos son meramente arbitrarios.

#### **b). La ley de Lambert-Beer**

Mediante la ley de Lambert-Beer se pueden realizar comparaciones de intensidades de radiación en capas con diferente espesor, en dos soluciones con la misma sustancia absorbente, una con concentración conocida y otra con concentración desconocida. Esta ley menciona que existe una relación directa entre la transmitancia y la absorbancia.

La ley de Lambert se relaciona con la cantidad de luz absorbida y la distancia que ésta viaja a través del medio absorbente, es decir, capas de igual espesor de un medio absorbente requieren iguales fracciones de energía para atravesarlas. Por su parte, la ley de Beer se relaciona con la cantidad de luz absorbida y la concentración de la sustancia absorbente, es decir, la capacidad absorbente de una sustancia disuelta es directamente proporcional a su concentración en solución.

Las dos leyes se pueden combinar y expresarse mediante:

$i/i_0 = e^{-A}$ , donde:

$i$  = Intensidad del rayo después de haber atravesado la muestra

$i_0$  = Intensidad del rayo incidente

$A$  = Absorbancia o densidad óptica de la muestra (coeficiente de absorción molar) que depende de tres factores, según Lambert-Beer:  $A = kcl$ , donde:

$k$  = Constante característica de la muestra, la cual depende de la longitud de máxima absorción usada (l/mol o cm).

$c$  = Concentración de la muestra en solución (moles/litro).

$l$  = Longitud de la muestra en solución (cm).

### c). Determinación óptica de carotenoides

Cada carotenoide se caracteriza por su espectro de absorción. La posición de las bandas de absorción, generalmente tres, está en función del número de dobles enlaces conjugados (al incrementarse el número de dobles enlaces conjugados, los valores máximos de absorción se desplazan a mayores longitudes de onda). La absorción máxima está afectada por la longitud del cromóforo, algunas características estructurales, como la naturaleza del doble enlace (en la cadena o en el anillo), isómeros *cis* o *trans*, y el disolvente usado. La absorción de la mayoría de los carotenoides va de 331 a 504 nm y su color está determinado por la luz que éstos reflejan (o transmiten, cuando están en solución): el  $\beta$ -caroteno presenta una absorción máxima de los 425 a 478 nm. Cuando las bandas de máxima absorción se desplazan hacia las regiones de gran longitud de onda, el color incrementa desde amarillo hasta naranja o rojo (Gross, 1987).

La determinación cuantitativa de los carotenoides generalmente se lleva a cabo por técnicas de espectroscopía. La absorbancia o densidad óptica de una solución de carotenoides se lee a la longitud de onda de máxima absorción. La cantidad de carotenoide ( $X$ ) disuelta en  $V$  (volumen conocido en ml) está dada por la expresión:

$$X = (EV / E^{1\%_{cm}})100$$

donde,  $E$  = absorptividad molar (l/mol o cm) y  $E^{1\%}_{1\text{cm}}$ , es la absorbancia de una solución al 1% (1 g/100 ml), con un grosor de 1 cm. Esta absorptividad ha sido tabulada para la mayoría de los carotenoides (Davis, 1976).

### **LA NATURALEZA DE LA LUZ (espectro electromagnético)**

A fines del siglo XVII se plantearon dos teorías para explicar la naturaleza de la luz: teoría corpuscular de Newton y la teoría ondulatoria de Huygens (Tippens, 1988). Cada teoría trataba de explicar las características de la luz observadas hasta entonces.

Las tres principales características de la luz son:

- *Propagación rectilínea*: La luz viaja en línea recta.
- *Reflexión*: Cuando la luz incide sobre una superficie lisa, se refleja al medio original.
- *Refracción*: La trayectoria de la luz cambia cuando entra en un medio de diferente índice de refracción.

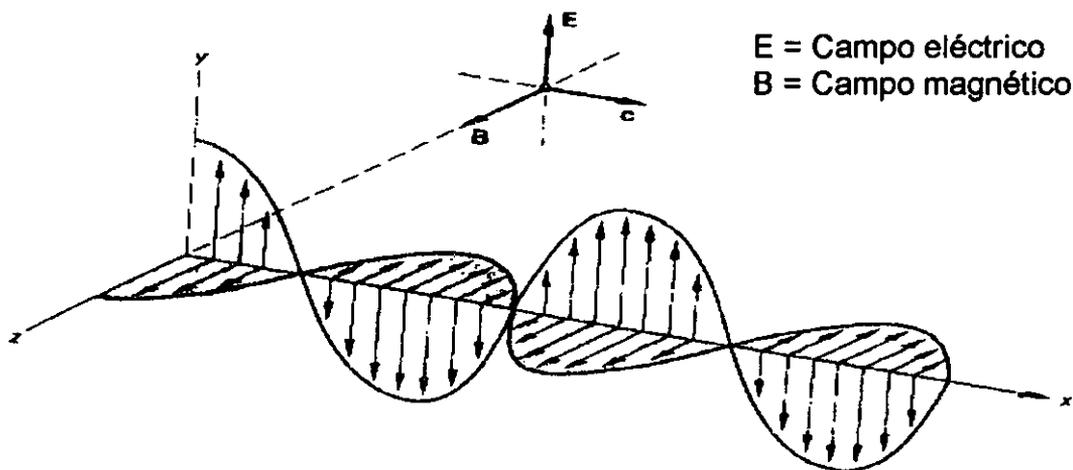
De acuerdo con la teoría corpuscular, se consideraba que partículas muy pequeñas de masa despreciable eran emitidas por fuentes de luz; dichas partículas viajaban hacia afuera de la fuente en líneas rectas a gran velocidad. Esta teoría se sigue utilizando para describir cualitativamente algunos fenómenos asociados a la interacción de la luz con la materia.

Por su parte Huygens, explicó la propagación de la luz en términos del movimiento de una perturbación a lo largo de la distancia entre una fuente y el ojo. Cualquier punto de un frente de onda que avanza puede considerarse como una fuente de ondas secundarias llamadas pequeñas olas. La nueva posición del frente de onda es la envolvente de las pequeñas olas emitidas desde todos los puntos del frente de onda en su posición previa. La teoría ondulatoria se utiliza cuando se estudian algunos fenómenos como la difracción de la luz.

El descubrimiento de la interferencia y la difracción, en 1801 y 1826, inclinó la discusión a favor de la teoría ondulatoria de Huygens. Asimismo, se pensaba que todos los fenómenos ondulatorios requerían de la existencia de un medio. Por

ejemplo: ¿Cómo la luz podría viajar a través del vacío si no había nada que “vibrara” en realidad?

En 1865, el físico escocés James Clerk Maxwell emprendió el camino para determinar las propiedades de un medio que permitiera que la luz pudiera transmitirse, así como el calor y la energía eléctrica. Su trabajo demostró que una carga acelerada puede radiar ondas electromagnéticas en el espacio. Explicó que la energía de una onda electromagnética se reparte de igual manera entre campos eléctricos y magnéticos mutuamente perpendiculares (**Figura 2**). Ambos campos oscilan perpendicularmente a la dirección de la propagación de la onda. Por tanto, una onda de luz no tendría que depender de la vibración de la materia. Podría propagarse por la oscilación de campos transversales (Malacara, 1989). La confirmación experimental de la teoría de Maxwell la llevó a cabo H. R. Hertz en 1885, quien demostró que la radiación de energía electromagnética puede verificarse a *cualquier frecuencia*. Es decir, la luz, la radiación térmica y las ondas de radio tienen la misma naturaleza y todas ellas viajan a la velocidad de la luz ( $3 \times 10^8$  m/s).



**Figura 7.** Teoría electromagnética de la luz

De acuerdo con las teorías corpuscular y ondulatoria, la luz resultaba ser dual en su naturaleza, ya que algunas veces se comportaba como partícula y otras, como onda. De Broglie, trató de conciliar estos dos modelos, en apariencia

contradictorios, postulando que onda y partícula son solamente dos manifestaciones diferentes de una misma realidad física. De esta manera, si los electrones son partículas, bajo ciertas condiciones deben aparecer como ondas. De manera alternativa se puede decir que toda partícula, electrón, fotón, etc., cuando se mueve en el espacio, está guiada por una onda de cierta longitud de onda, llamada *onda piloto*.

Las investigaciones sobre la naturaleza de la luz continúan. La teoría moderna sostiene que la luz es radiación electromagnética y que su energía radiante es transportada por fotones a lo largo de un campo de onda.

### LEYES FUNDAMENTALES DE LA ÓPTICA

**Ley de Snell.** La ley de Snell se refiere al cambio de dirección de la luz cuando entra a otro medio (Figura 3). Así, una onda plana en un medio con un índice de refracción  $N_a$  se encuentra en la superficie plana (ejemplo: aire) de un medio con

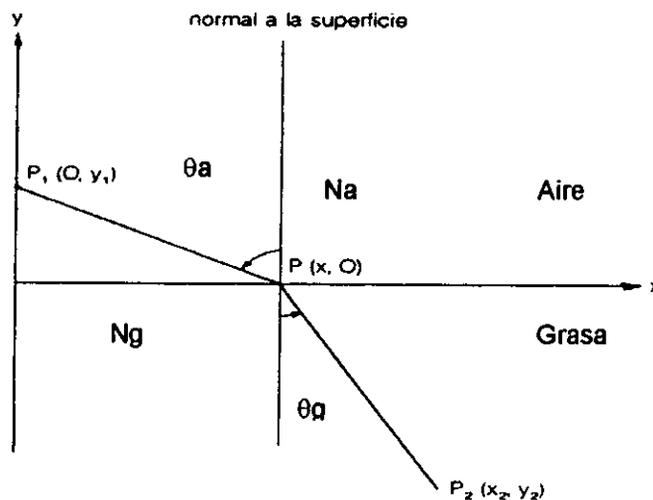


Diagrama que ilustra la ley de refracción, cuando el rayo sale de  $P_1$ , y llega a  $P_2$ , cuando se refracta sobre el eje  $x$ .

**Figura 8.** Representación gráfica de la ley de Snell.

índice  $N_g$  (refracción de la grasa). El ángulo de incidencia se denota por  $\theta_a$  y el ángulo refractado por  $\theta_g$ . En este caso, la grasa tiene un índice de refracción mayor que el del aire. De la figura 3, podemos observar que:

$$N_a \text{ sen } \theta_a = N_g \text{ sen } \theta_g, \text{ donde:}$$

$n_a$  = Índice de refracción del aire.

$\theta_a$  = Ángulo de incidencia.

$n_g$  = Índice de refracción de la grasa.

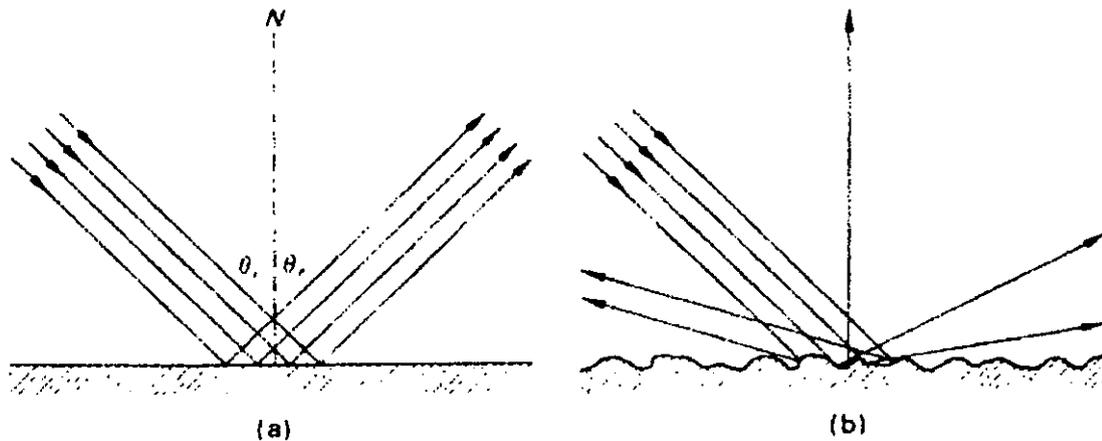
$\theta_g$  = Ángulo de refracción.

**Principio de Fermat.** Es el principio en el cual se basa la óptica geométrica. Plantea que un rayo luminoso va de un punto a otro a lo largo de la trayectoria óptica que le toma el menor tiempo posible, buscando la máxima velocidad y gastando la menor cantidad de energía.

**Refracción.** Desde hace mucho tiempo se conocen y se han observado dos leyes básicas de la refracción:

- El rayo incidente, el rayo refractado y la normal de superficie refractora están en un plano común.
- La trayectoria de un rayo refractado en la entrecara de dos medios es exactamente reversible.

**Reflexión.** Cuando la luz incide sobre una superficie de un espejo o vidrio se refleja *especularmente*. Si toda la luz que incide sobre una superficie fuera reflejada especularmente, ésta no podría verse, solo serían visibles las imágenes de otros objetos. La reflexión *difusa* es la responsable de que una superficie se vea (Figura 4). Una superficie irregular o áspera esparcirá y dispersará la luz incidente, dando como resultado que se ilumine dicha superficie.



**Figura 9.** Reflexión especular (a), reflexión difusa (b).

Las dos leyes básicas de la reflexión:

- El ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión.
- El rayo incidente, el rayo reflejado y la normal de superficie se encuentran en el mismo plano.

Al hacer incidir un rayo de luz sobre una muestra de grasa se dan tres fenómenos básicos: reflexión, difusión y absorbancia de luz. Al dispersar y analizar la luz reflejada, podemos interpretar el mensaje en función de las diferencias en el tipo de longitud de onda reflejada. El color de la grasa está en función de la cantidad de carotenoides contenidos en ella (Strachan et al., 1993; Yang et al., 1993 y Knight et al., 1993). Y se puede establecer una relación entre la concentración de carotenoides y luz absorbida o reflejada en la grasa.

### Literatura citada

- Davis, B. H. 1976. Carotenoids. In "Chemistry and Biochemistry of Plant Pigments" (T. W. Goodwin, Ed.) Vol. 2, 38-165. Academic Press, London.
- Fessenden, R. J y Fessenden, J. S. 1983. Química Orgánica. Ed. Iberoamericana. México, D. F.
- Gross, J. 1987. Pigments in fruits. Academic Press. London.

- Knight, T. W., Ridland, F. M., Hill, I., Death, A. F. and Wyeth, T. K.. 1993. Effects of stress and nutritional changes on the ranking of cattle on plasma carotene concentrations. *Procc. of the New Zealand Society of Anim. Prod.* **53**:455-456.
- Malacara, D. 1989. *Óptica Básica*. Fondo de cultura económica. México. D. F.
- Strachan, D. B., Yang, A., and Dillon, R. D. 1993. Effect of grain feeding on fat colour and other carcass characteristics in previously grass-fed *Bos indicus* steers. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. **33**, 269-273.
- Tippens, E. P. 1988. *Física: Conceptos y aplicaciones*. McGraw-Hill. México.
- Yang, A., S. R. McLeannan, J. Armstrong, T. W. Larsen, F. D. Shaw, and R. K. Tume. 1993. Effect of short-term grain feeding on bovine body-fat colour: a cautionary note. *Aust. J. Agric. Res.*, **44**:215-220.

## CUADROS DE ANÁLISIS DE VARIANZA

### a). Análisis económico

#### Variable Dependente: Porcentaje Ajustado

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	36	0.39653875	0.01101497	9.14	0.0001
Error	395	0.47604096	0.00120517		
Corrected Total	431	0.87257971			

R-Square	C.V.	Root MSE	AJUS Mean
0.454444	56.97875	0.03471551	0.06092713

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
YEAR	8	0.25672565	0.03209071	26.63	0.0001
SEASON	1	0.00053886	0.00053886	0.45	0.5041
TIPO	3	0.06247603	0.02082534	17.28	0.0001
YEAR*TIPO	24	0.07679822	0.00319993	2.66	0.0001

### b). Grupo 1. Muestreo: Primavera

#### Variable dependiente: $\beta$ -caroteno

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
Model	3	238391.08236	79463.69412	33.645	0.0001
Error	48	113368.32033	2361.84001		
C Total	51	351759.40269			

Root MSE	Dep Mean	R-square	Adj R-sq
48.59877	69.73131	0.6777	0.6576
	C.V.		69.69433

#### Parameter Estimates

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	T for H0: Parameter=0	Prob >  T	Type I SS	Type II SS
INTERCEP	1	3418.042146	2008.6999890	1.702	0.0953	252848	6838.725112
L	1	-89.127050	54.67420167	-1.630	0.1096	108153	6276.313585
LCUAD	1	0.579523	0.37172945	1.559	0.1256	11763	5740.341746
CCUAD	1	0.137861	0.01946497	7.083	0.0001	118475	118475

#### Variable dependiente: luteína

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
Model	3	5292.80114	1764.26705	22.818	0.0001
Error	48	3711.35814	77.31996		
C Total	51	9004.15928			

Root MSE	Dep Mean	R-square	Adj R-sq
8.79318	11.72906	0.5878	0.5621
	C.V.		74.96917

Parameter	Standard Error	T for H0:	Parameter=0	Prob >  T	Type I SS	Type II SS	
INTERCEP	1	-38.205709	10.00979673	-3.817	0.0004	7153.681306	1126.412934
B	1	0.651135	0.29607293	2.199	0.0327	4370.205761	373.969775
C	1	2.968973	0.90155572	3.293	0.0019	339.476165	838.530788
CCUAD	1	-0.047929	0.01745289	-2.746	0.0085	583.119212	583.119212

#### Variable dependiente: Carotenos totales

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
Model	2	298102.26214	149051.13107	51.028	0.0001
Error	49	143128.57900	2920.99141		
C Total	51	441230.84115			

Root MSE	54.04620	R-square	0.6756
Dep Mean	81.46037	Adj R-sq	0.6624
C.V.	66.34662		

Parameter Estimates								
Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	T for H0:	Parameter=0	Prob >  T	Type I SS	Type II SS
INTERCEP	1	348.807171	171.47325379	2.034	0.0474	345061	12087	
L	1	-4.620308	2.25340713	-2.050	0.0457	140582	12280	
CCUAD	1	0.158265	0.02155178	7.343	0.0001	157520	157520	

### c). Grupo 2. Muestreo: Verano

#### Asociación entre carotenoides y el color del tejido adiposo

##### Variable dependiente: $\beta$ -Caroteno

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
Model	2	4999316.7928	2499658.3964	66.235	0.0001
Error	177	6679796.7945	37738.964941		
C Total	179	11679113.587			

Root MSE	194.26519	R-square	0.4281
Dep Mean	219.14363	Adj R-sq	0.4216
C.V.	88.64743		

Parameter Estimates								
Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	T for H0:	Parameter=0	Prob >  T	Type I SS	Type II SS
INTERCEP	1	234.186824	114.99339661	2.037	0.0432	8644308	156520	
C	1	-34.425086	15.33758169	-2.244	0.0260	4196025	190119	
C2	1	2.225937	0.48247112	4.614	0.0001	803291	803291	

##### Variable dependiente: Luteína

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
Model	2	28521.16668	14260.58334	25.493	0.0001
Error	177	99012.46349	559.39245		
C Total	179	127533.63018			

Root MSE	23.65148	R-square	0.2236
Dep Mean	18.28580	Adj R-sq	0.2149
C.V.	129.34342		

Parameter Estimates								
Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	T for H0:	Parameter=0	Prob >  T	Type I SS	Type II SS
INTERCEP	1	30.355547	17.34672243	1.750	0.0819	60187	1713.002001	
L2	1	-0.004480	0.00277902	-1.612	0.1087	4191.4559	1453.647128	
B2	1	0.103689	0.01572255	6.595	0.0001	24330	24330	

##### Variable dependiente: Carotenoides totales

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
Model	2	5727296.1125	2863648.0563	68.534	0.0001
Error	177	7395781.1303	41784.074183		
C Total	179	13123077.243			

Root MSE	204.41153	R-square	0.4364
Dep Mean	237.42943	Adj R-sq	0.4301
C.V.	86.09359		

Variable	DF	Parameter Estimates		T for H0: Parameter=0	Prob >  T	Type I SS	Type II SS
		Parameter Estimate	Standard Error				
INTERCEP	1	234.556468	120.99942366	1.938	0.0542	10147092	157014
C	1	-34.340957	16.13865317	-2.128	0.0347	4863113	189191
C2	1	2.308762	0.50767026	4.548	0.0001	864183	864183

## Color en diferentes sitios de la canal

### Variable dependiente: Luminosidad (L)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	2	203.28646332	101.64323166	6.22	0.0025
Error	177	2893.75989549	16.34892596		
Corrected Total	179	3097.04635881			

R-Square	C.V.	Root MSE	L Mean
0.065639	5.217288	4.04338051	77.49965944

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
SIT	2	203.28646332	101.64323166	6.22	0.0025

### Variable dependiente: Rojos (A)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	2	40.15033404	20.07516702	3.39	0.0361
Error	177	1049.58750699	5.92987292		
Corrected Total	179	1089.73784103			

R-Square	C.V.	Root MSE	A Mean
0.036844	33.55199	2.43513304	7.25779056

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
SIT	2	40.15033404	20.07516702	3.39	0.0361

### Variable dependiente: Amarillos (B)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	2	25.82018747	12.91009373	0.73	0.4852
Error	177	3146.72818031	17.77812531		
Corrected Total	179	3172.54836778			

R-Square	C.V.	Root MSE	B Mean
0.008139	37.53153	4.21641143	11.23431778

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
SIT	2	25.82018747	12.91009373	0.73	0.4852

### Variable dependiente: Cromaticidad (C)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	2	64.10603215	32.05301608	1.66	0.1936
Error	177	3422.78272125	19.33775549		
Corrected Total	179	3486.88875341			

R-Square	C.V.	Root MSE	C Mean
0.018385	32.48990	4.39747149	13.53488833

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
SIT	2	64.10603215	32.05301608	1.66	0.1936

### Variable dependiente: Ángulo (H)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	2	109.07195304	54.53597652	0.65	0.5238
Error	177	14873.70956914	84.03225745		
Corrected Total	179	14982.78152219			

R-Square	C.V.	Root MSE	H Mean		
0.007280	16.25860	9.16691101	56.38192611		
Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
SIT	2	109.07195304	54.53597652	0.65	0.5238

### Perfil de ácidos grasos en diferentes sitios de la canal

#### Variable dependiente: Láurico (C12:0)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	2	0.04955137	0.02477568	0.37	0.6924
Error	174	11.70500238	0.06727013		
Corrected Total	176	11.75455375			

R-Square	C.V.	Root MSE	C120N Mean		
0.004216	73.06738	0.25936486	0.35496670		
Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
SITIO	2	0.04955137	0.02477568	0.37	0.6924

#### Variable dependiente: Linoléico (C18:3)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	2	0.01696756	0.00848378	0.40	0.6706
Error	174	3.68558415	0.02118152		
Corrected Total	176	3.70255171			

R-Square	C.V.	Root MSE	C183N Mean		
0.004583	63.27930	0.14553872	0.22999419		
Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
SITIO	2	0.01696756	0.00848378	0.40	0.6706

#### Variable dependiente: Mirístico (C14:0)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	2	0.25107558	0.12553779	2.69	0.0710
Error	174	8.13300078	0.04674138		
Corrected Total	176	8.38407637			

R-Square	C.V.	Root MSE	C140N Mean		
0.029947	48.23019	0.21619756	0.44826188		
Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
SITIO	2	0.25107558	0.12553779	2.69	0.0710

#### Variable dependiente: Palmitoleico (C16:1)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	2	0.01573663	0.00786832	0.69	0.5026
Error	174	1.98228663	0.01139245		
Corrected Total	176	1.99802327			

R-Square	C.V.	Root MSE	C161N Mean		
0.007876	43.35204	0.10673543	0.24620624		
Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
SITIO	2	0.01573663	0.00786832	0.69	0.5026

#### Variable dependiente: Linoleico (C18:2)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	2	0.01359688	0.00679844	0.20	0.8198
Error	174	5.94503603	0.03416687		
Corrected Total	176	5.95863292			

R-Square	C.V.	Root MSE	C182N Mean
0.002282	48.80888	0.18484284	0.37870736

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
SITIO	2	0.01359688	0.00679844	0.20	0.8198

### Variable dependiente: Palmítico (C16:0)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	2	0.03293242	0.01646621	0.10	0.9011
Error	174	27.48922473	0.15798405		
Corrected Total	176	27.52215715			

R-Square	C.V.	Root MSE	C160N Mean
0.001197	85.44458	0.39747207	0.46518116

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
SITIO	2	0.03293242	0.01646621	0.10	0.9011

### Variable dependiente: Oleico (C18:1)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	2	0.01693355	0.00846678	0.76	0.4692
Error	174	1.93861469	0.01114146		
Corrected Total	176	1.95554824			

R-Square	C.V.	Root MSE	C181N Mean
0.008659	61.01712	0.10555313	0.17298937

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
SITIO	2	0.01693355	0.00846678	0.76	0.4692

### Variable dependiente: Esteárico (C18:0)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	2	0.06604589	0.03302294	4.91	0.0084
Error	174	1.16942943	0.00672086		
Corrected Total	176	1.23547532			

R-Square	C.V.	Root MSE	C180N Mean
0.053458	73.23659	0.08198084	0.11193974

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
SITIO	2	0.06604589	0.03302294	4.91	0.0084

### Variable dependiente: Araquídico (C20:0)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	2	0.00021181	0.00010591	0.08	0.9250
Error	174	0.23612122	0.00135702		
Corrected Total	176	0.23633304			

R-Square	C.V.	Root MSE	C200N Mean
0.000896	409.9944	0.03683773	0.00898494

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
SITIO	2	0.00021181	0.00010591	0.08	0.9250

### Variable dependiente: Insaturados

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	2	698.66007232	349.33003616	0.83	0.4393
Error	174	73554.11075932	422.72477448		
Corrected Total	176	74252.77083164			

R-Square	C.V.	Root MSE	INSAT Mean
0.009409	60.61512	20.56027175	33.91937853

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
SITIO	2	698.66007232	349.33003616	0.83	0.4393

### Variable dependiente: Saturados

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	2	698.92617740	349.46308870	0.83	0.4392
Error	174	73558.16722712	422.74808751		
Corrected Total	176	74257.09340452			

R-Square	C.V.	Root MSE	SAT Mean
0.009412	31.11472	20.56083869	66.08073446

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
SITIO	2	698.92617740	349.46308870	0.83	0.4392

### Variable dependiente: Mono-insaturados

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	2	136.66715932	68.33357966	1.55	0.2145
Error	174	7654.31951186	43.99034202		
Corrected Total	176	7790.98667119			

R-Square	C.V.	Root MSE	MUFAS Mean
0.017542	60.81572	6.63252154	10.90593220

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
SITIO	2	136.66715932	68.33357966	1.55	0.2145

### Variable dependiente: Poli-insaturados

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	2	277.08209266	138.54104633	0.47	0.6235
Error	174	50898.29050508	292.51891095		
Corrected Total	176	51175.37259774			

R-Square	C.V.	Root MSE	PUFAS Mean
0.005414	74.31822	17.10318423	23.01344633

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
SITIO	2	277.08209266	138.54104633	0.47	0.6235

ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA