

La pigmentación amarilla del tejido adiposo de bovinos finalizados en pastoreo y su relación con su concentración de carotenoides y el perfil de ácidos grasos

Yellow pigmentation of adipose tissue of pasture-fed tropical cattle as related to its carotenoid concentration and fatty-acid profile

Saúl Barrón Gutierrez^a, Ofelia Mora Izaguirre^b, Víctor Castaño Meneses^c, Armando Shimada Miyasaka^b

RESUMEN

Dos grupos de bovinos alimentados en pastoreo fueron muestreados al sacrificio: 52 animales en la primavera de 1999, y 60 animales el siguiente verano. Se tomaron muestras de tejido adiposo subcutáneo (al nivel de la 13^a costilla) del primer grupo de animales y se midió el color (valores del colorímetro Minolta) y la concentración de carotenoides por cromatología líquida de alta resolución (HPLC); del segundo grupo las muestras de tejido adiposo (esternón, 13^a costilla y región perianal) fueron analizadas además para ácidos grasos, también por HPLC. En el primer grupo se tuvo una concentración de 81.5 ± 93.01 nmol carotenoides/g tejido adiposo; los coeficientes de correlación entre concentración total de carotenoides y color fueron 0.80 y 0.73 para intensidad (*C*) y amarillamiento (*b*^{*}) respectivamente ($P < 0.05$). En el grupo 2, la concentración total de carotenoides fue 237 nmol/g. Los coeficientes de correlación entre la concentración de carotenoides y color fueron 0.59 y 0.61 para *b*^{*} y *C*, respectivamente ($P < 0.05$). No hubo diferencias de color entre los diferentes sitios muestreados. No hubo correlación entre el color y el perfil de ácidos grasos ($P > 0.1$). Las ecuaciones de predicción para la concentración total de carotenoides a partir de valores de color fueron $y = 348.8 - 4.62L^* + 0.16C^2$ (donde *L*^{*} es luminosidad) y $y = 234.55 - 34.34C + 2.31C^2$ para el grupo 1 y 2 respectivamente.

PALABRAS CLAVE: Grasa amarilla, Color, β-Caroteno, Perfil de ácidos grasos, Bovinos.

ABSTRACT

Two groups of pasture-fed cattle were sampled at slaughter: 52 animals in Spring 1999, and 60 animals the following Summer. Subcutaneous adipose tissue samples (from the 13th rib region) from the first group of animals were assayed for colour (Minolta values) and carotenoid concentration by HPLC; samples from the second group (from sternum, 13th rib and rump) were additionally analysed for fatty acids. The first group had 81.5 ± 93.01 nmol carotenoids/g adipose tissue; its correlation coefficients with colour were 0.80 and 0.73, for intensity (*C*) and yellowness (*b*^{*}), respectively ($P < 0.05$). In group 2, total carotenoid concentration was 237 nmol/g. Correlation coefficients between carotenoid concentration and *b*^{*} and *C* were 0.59 and 0.61, respectively ($P < 0.05$). There were no differences in colour among sampling sites. No correlation was found between colour and fatty acid profile ($P > 0.1$). Equations predicting total carotenoid concentrations were $y = 348.8 - 4.62L^* + 0.16C^2$ (where *L*^{*} is lightness) and $y = 234.55 - 34.34C + 2.31C^2$ for groups 1 and 2, respectively.

KEYWORDS: Yellow fat, Colour, β-carotene, Fatty-acid profile, Cattle.

Los pastos frescos son ricos en pigmentos carotenoides (β-caroteno y luteína) y por lo tanto,

Fresh pasture is usually rich in carotenoid pigments (β-carotene and lutein) and cattle can ingest

Recibido el 22 de agosto de 2004 y aceptado para su publicación el 22 de junio de 2005.

^a Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Cuautitlán-Izcalli, México.

^b Facultad de Estudios Superiores-Cuautitlán, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Ajuchitlán, Qro, México. Blvd. B. Quintana 514-D. Suite 23-141. Querétaro, Qro. Tel. (442) 2381032. Fax. (442) 2381038 mora@inb.unam.mx. Correspondencia al segundo autor.

^c Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada (CFATA), Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Juriquilla, Qro. México.

el ganado bovino puede ingerir cantidades sustanciales de estos en la dieta^(1,2). Debido a que no todo el β -caroteno ingerido y absorbido es transformado a vitamina A, el excedente puede circular en la sangre y después depositarse en el tejido adiposo y en el hígado, los cuales acumulan al β -caroteno intacto^(3,4). Como resultado, se observa la “grasa amarilla” en las canales de animales que han sido finalizados en pastoreo^(4,5). El β -caroteno es el responsable de la coloración amarilla, ya que representa del 85 al 90 % del color de la grasa en bovinos, y la intensidad de dicho color está correlacionado con su contenido de carotenoides ($r=0.92$)⁽⁴⁾. También ha sido detectada luteína^(6,7). Otros autores⁽⁸⁾ sugieren que existe una relación entre el color y la cantidad de ácido palmítico presente, y otros más⁽⁹⁾ han observado que el ácido oleico todo trans (C18:1) muestra una relación negativa con la concentración de carotenoides y el valor de b^* , que es el grado de amarillamiento ($r=-0.58$ y -0.61 , respectivamente $P<0.01$).

El amarillamiento excesivo es causa de rechazo de la canal y afecta a varios mercados⁽¹⁰⁾. A los consumidores les desagrada este tipo de canales, porque asumen que la carne tiene un valor nutritivo menor y proviene de animales viejos o enfermos⁽⁶⁾. Se sabe que el color de la grasa se puede volver blanco en animales que han estado pastoreando, si se les somete a dietas altas en grano por períodos largos de tiempo sin embargo ésta no es la mejor solución, especialmente en las regiones tropicales^(3,11,12,13).

Por otro lado, existe controversia en cuanto a la ternera y palatabilidad de la carne proveniente de animales finalizados en corral y en pastoreo^(14,15,16,17). En este sentido, los perfiles de ácidos grasos han sido usados para evaluar diferencias organolépticas en las canales⁽¹⁸⁾.

El objetivo de este estudio fue determinar la relación entre la concentración de carotenoides, el color de la grasa y el perfil de ácidos grasos en el tejido adiposo subcutáneo de tres diferentes sitios anatómicos, en ganado bovino sacrificado en el trópico de México durante la primavera y el verano.

substantial quantities in the diet^(1,2). Because not all of the ingested and absorbed β -carotene is transformed into vitamin A, the surplus is present first in the blood and is then deposited in adipose and hepatic tissues, which accumulate the intact compound^(3,4). As a result, yellow fat is frequently observed in the carcasses of pasture-fed animals^(4,5). β -carotene accounts for 85 to 90 % of the colour in cattle fat and thus colour intensity is correlated ($r=0.92$) with its carotenoid content⁽⁴⁾. Lutein may also be detected in bovine adipose tissue^(6,7). Other authors⁽⁸⁾ suggested that there is a relationship between fat colour and the palmitic acid content in adipose tissue and others⁽⁹⁾ observed that *trans*-oleic acid (C18:1) showed a negative relationship with total carotenoid concentration and b^* value ($r=-0.58$ and -0.61 , respectively $P<0.01$).

Excessive yellowness is regarded as undesirable and seriously affects some markets⁽¹⁰⁾. Consumers object to carcasses with excessive yellow fat because they assume the meat has a lower nutritive quality and came from old or rejected animals⁽⁶⁾. The colour of fat in carcasses from grass-fed cattle is known to become whiter after the animals have been fed a high-grain diet for an extended period of time; however, this might not be the best solution, especially in tropical regions^(3,11,12,13).

On the other hand, there seems to be a lack of consensus regarding the effects of pasture versus finishing diets on beef tenderness and palatability^(14,15,16,17). Fatty acid profiles have been used to evaluate various differences in organoleptic characteristics of carcasses⁽¹⁸⁾.

The purpose of this study was to determine the relationship between carotenoid concentration, fat colour and fatty acids profile of subcutaneous adipose tissue from three locations on the carcasses of pasture-fed cattle slaughtered in tropical Mexico in Spring and Summer.

The study was conducted in the State of Tabasco, located in the humid tropics of southern Mexico⁽¹⁹⁾, an area where beef cattle production is one of the main economic activities.

El estudio se llevó a cabo en el estado de Tabasco, localizado en el trópico húmedo del sur de México⁽¹⁹⁾, en una área donde la producción de ganado bovino es una de las principales actividades económicas. Los animales (principalmente Cebú, Pardo Suizo, Charolais, y sus cruza) fueron pastoreados todo el año en *Cynodon plectostachyus*, *Digitaria decumbens*, *Brachiaria humidicola*, *Pennisetum purpureum*, así como otros pastos nativos con suplementación ocasional. La presencia de grasa amarilla en este tipo de animales es ampliamente reconocida por los productores de esta zona, y representa un problema importante. Datos de este rastro muestran que entre el 0.45 y el 0.86 % de las canales son rutinariamente desechadas o castigadas por esta causa⁽²⁰⁾.

Muestras

Las muestras fueron tomadas de 112 (de un total de aproximadamente 5,000) animales finalizados en pastoreo, y que fueron procesados en el rastro Tipo Inspección Federal del Frigorífico de la Unión Ganadera, localizado en Villahermosa, Tabasco, y que habían sido clasificados por un inspector como animales que presentaban grasa amarilla. Los animales fueron sacrificados, sin ayuno, con una pistola de émbolo cautivo y fueron exsanguinados. Todo el proceso fue llevado a cabo de acuerdo con las leyes mexicanas federales para el cuidado animal⁽²¹⁾. Se tomó una muestra representativa (2 g aproximadamente) de tejido adiposo subcutáneo, la cual fue colocada en envases de plástico individuales. Las muestras fueron congeladas inmediatamente y almacenadas a -80 °C hasta su posterior análisis.

El Grupo 1 consistió de 52 animales, los cuales fueron sacrificados en la primavera (del 1 al 7 de abril de 1999). Las muestras fueron tomadas a nivel de la 13^a costilla, se analizó concentración de carotenoides y color de la grasa.

El Grupo 2 estuvo formado por 60 animales, los cuales fueron sacrificados en el verano (1 al 7 de julio de 1999). Las muestras de tejido adiposo subcutáneo fueron tomadas de tres sitios diferentes (esternón, 13^a costilla y la base de la cola), se

The animals (mainly Zebu, Brown Swiss, Charolais, and their crossbreeds) are grazed all year round on *Cynodon plectostachyus*, *Digitaria decumbens*, *Brachiaria humidicola*, *Pennisetum purpureum* and other pastures, with occasional supplementation.

The presence of yellow fat has been widely recognised by livestock producers as a major problem. The analysis of data from the region's main abattoir showed that between 0.45 and 0.86 % of the carcasses are routinely downgraded because of it⁽²⁰⁾.

Samples

Samples were taken from 112 (out of approximately 5,000) pasture-finished crossbred beef cattle that were being processed at the Villahermosa, Tabasco, Federal Inspection Level abattoir and that were being classified by the meat inspectors as having yellow fat. Animals were killed, without food deprivation, by captive bolt gun followed by exsanguination. All procedures were carried out in accordance with the Mexican Federal laws for animal care⁽²¹⁾. Representative (around 2 g) samples of subcutaneous fat were collected and placed in individual plastic bottles. They were immediately frozen and stored at -80°C until analysis.

Group 1 consisted of 52 animals, slaughtered in Spring (1–7 April 1999). Samples were taken at the 13th rib level, and analysed for carotenoid concentration and fat colour.

Group 2 consisted of 60 animals processed in Summer (1–7 July 1999). The samples of subcutaneous adipose tissue were taken from three sites (sternum, 13th rib, and the rump region near the base of the tail) and analysed for carotenoid concentration, fatty-acid profile and colour.

Colour measurements

Measurements of fat colour were made using a Chroma Meter (Model C2002) with 10° and D65 light source. Results were expressed as L^* , a^* , b^* , C and hue (matrix angle, b/a). The a^* value is a measure along a colour continuum from red to green, and the b^* value is a measure along a colour

analizó la concentración de carotenoides, el perfil de ácidos grasos y el color.

Medidas de color

Las mediciones del color de la grasa se hicieron usando un colorímetro Minolta (Model C2002) con 10° y D65 como fuente de luz. Los resultados fueron expresados como L^* , a^* , b^* , C y hue (matriz del ángulo, b/a). El valor a^* es una medición del color que va de rojo a verde, y el valor b^* es el color que va de amarillo a azul, siendo éste el amarillamiento. Valores altos de L^* denotan la luminosidad del color de las muestras. Para cada muestra se tomó la media de seis mediciones realizadas sobre la superficie.

Análisis de carotenoides

Muestras de 1 g de tejido adiposo fueron hidrolizadas en 2 ml de KOH 20% metanólico a 65 °C por 45 min, al término se adicionaron 6 ml de agua. Se hicieron dobles extracciones de β -caroteno y luteína con 8 ml de éter dietílico, los extractos fueron lavados tres veces con volúmenes iguales de agua para remover el KOH⁽⁶⁾.

Todos los extractos fueron evaporados en una atmósfera de nitrógeno a temperatura ambiente. Los residuos fueron disueltos en acetona libre de agua y transferidas a un vial ámbar para su inyección en cromatología líquida alta resolución (HPLC). Se usó un HPLC Hewlett Packard modelo 1100 con detector de arreglo de diodos.

La separación se realizó en una columna analítica Prodigy C18 (Runcorn, UK). El β -caroteno y la luteína fueron eluidos con ACN-THF-agua (77.5:20:2.5, v/v/v) a un flujo de 1 ml/min, β -caroteno fue detectado a 436 nm y luteína a 474 nm. En todos los casos se inyectaron en el HPLC 15 μ l⁽²²⁾.

Análisis de ácidos grasos

La extracción y análisis por HPLC de los ácidos grasos se hizo siguiendo el método descrito por Schuster⁽²³⁾. El tejido adiposo (0.250 g) fue hidrolizado con 500 μ l de KOH/metanol (20%) a 80 °C por 40 min en un termomixer. Una vez frío

continuum from yellow to blue. Greater L^* values denote lighter coloured samples. For each sample, six measurements were performed on the surface of the adipose tissue.

Carotenoid analyses

Samples (1 g) of fat tissue were hydrolysed in 2 ml 20% KOH in methanol at 65 °C for 45 min, and then 6 ml of water was added. β -carotene and lutein were extracted twice with 8 ml diethyl ether and extracts were washed three times in an equal volume of water to remove the KOH⁽⁶⁾.

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. β -carotene and lutein were eluted isocratically with ACN-THF-water (77.5:20:2.5, v/v/v) at a flow rate of 1 ml/min, with β -carotene detection at 436 nm and lutein detection at 474 nm. In all cases, a 15 μ l aliquot was injected into the HPLC system⁽²²⁾.

Fatty acid analyses

The extraction and HPLC analyses of fatty acids were performed following the method described by Schuster⁽²³⁾. Adipose tissue (0.250 g) was hydrolysed with 500 μ 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 0.45 μ m filter and then 1 μ l was injected into the HPLC. A pre-column derivatisation was made using bromophenacyl bromide dissolved in ACN (60 mg/ml). The column used was a MOS 150 \times 4.6 mm, 5 μ m (Runcorn, UK). The FA measured 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 using SAS⁽²⁴⁾ among the

se agregan 1.5 ml ACN/THF (1:1) la mezcla se vortexea por 5 min. Dicha mezcla se pasó a través de un filtro de 0.45 μm y luego se inyectó 1 μl al HPLC. Se hizo una derivatización pre-columna usando bromuro de bromofenacilo disuelto en ACN (60 mg/ml). La columna usada fue una MOS 150 \times 4.6 mm, 5 μm (Runcorn, UK). Los ácidos grasos medidos fueron C12:0, C14:0, C16:0, C16:1, C18:0, C18:1, C18:2, C18:3 y C20:0.

Análisis estadísticos

En ambos grupos se realizó un análisis de regresión escalonada entre los valores de color L^* , a^* , b^* , C y *hue* y la concentración de carotenoides usando el SAS⁽²⁴⁾. El modelo usado fue:

$$y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \beta_5 X_5 + \beta_6 X_1^2 + \beta_7 X_2^2 + \beta_8 X_3^2 + \beta_9 X_4^2 + \beta_{10} X_5^2 + E$$

donde: y = concentración de carotenoides, β_0 = intercepto, $\beta_1 \dots \beta_{10}$ = coeficientes de regresión, $X_1 = L^*$, $X_2 = a^*$, $X_3 = b^*$, $X_4 = C$, $X_5 = hue$ y $E = error$.

Se determinaron los coeficientes de correlación de Pearson, y para determinar la relación entre la concentración de carotenoides, el color del tejido adiposo (grupos 1 y 2) y el perfil de ácidos grasos (grupo 2), se utilizó el modelo:

$$y = x$$

donde: y = concentración de carotenoides y x = color (medidas de color) o perfil de ácidos grasos.

Los datos del grupo 2 fueron sometidos a un análisis de varianza en un modelo completamente al azar, para determinar las diferencias entre la concentración de carotenoides, el perfil de ácidos grasos y el color en los diferentes sitios anatómicos muestreados de tejido adiposo subcutáneo; el modelo usado fue:

$$Y_{ij} = \mu + S_i + E_{ij}$$

donde: Y_{ij} = concentración de carotenoides, perfil de ácidos grasos o color de la grasa, μ = media general, S_i = efecto del sitio de muestreo ($i = 1,2,3$) y E_{ij} = error experimental.

L^* , a^* , b^* , C and hue values and the carotenoid concentrations. The model used was:

$$y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \beta_5 X_5 + \beta_6 X_1^2 + \beta_7 X_2^2 + \beta_8 X_3^2 + \beta_9 X_4^2 + \beta_{10} X_5^2 + E$$

where: y = concentration of carotenoids, β_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 and $E = error$.

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

The model used was:

$$y = x$$

where: y = carotenoid concentration and x = colour or fatty-acid profile.

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

$$Y_{ij} = \mu + S_i + E_{ij}$$

where: Y_{ij} = carotenoid concentration, fatty-acid profile or fat colour, μ = general mean, S_i = sampling site effect ($i = 1,2,3$) and E_{ij} = experimental error.

The statistical analyses were performed separately for each group of animals. The LSM test was used to compare means⁽²⁴⁾.

The mean (\pm SE) 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 β -carotene, lutein and total carotenoids, respectively. Total carotenoids are the algebraic sum of β -carotene and lutein. For group 2, the means were: for β -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

Los análisis estadísticos fueron realizados por separado para cada grupo de animales. Se usó la prueba de diferencias mínimo cuadráticas para comparar medias⁽²⁴⁾.

Las medias de la concentración de los carotenoides (\pm error estándar) para el grupo 1 fueron: 69.73 \pm 83, 11.73 \pm 13 y 81.46 \pm 93 nmol/g de tejido adiposo para β -caroteno, luteína y carotenoides totales, respectivamente. Los carotenoides totales son la suma algebraica de β -caroteno y luteína. Para el grupo 2 las medias fueron: para β -caroteno, 208.3 \pm 195, 262.7 \pm 331 y 186.5 \pm 216; para luteína, 16.5 \pm 25, 20.8 \pm 28 y 17.6 \pm 26, y para los carotenoides totales, 224.7 \pm 212, 283.5 \pm 346 y 204.0 \pm 231 nmol/g de tejido adiposo, para las muestras tomadas de esternón, 13^a costilla y región peri-anal, respectivamente. No se observaron diferencias significativas entre los diferentes sitios anatómicos muestreados.

Las medias para las variables de color para el grupo 1 fueron: 73.6 \pm 3.9, 4.6 \pm 2.9, 19.9 \pm 8.4, 19.9 \pm 8.1 y 77.4 \pm 5.3 para L^* , a^* , b^* , C y hue, respectivamente. En el Cuadro 1 se muestran los

Cuadro 1. Medidas de color del tejido adiposo de bovino alimentado en pastoreo, en tres diferentes sitios de muestreo. Grupo 2

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

| Color | Site | | | | | |
|-------|--------------------|------|----------------------|------|--------------------|------|
| | Sternum | | 13 th Rib | | Rump | |
| | Mean | SE | Mean | SE | Mean | SE |
| L^* | 76.08 ^a | 0.48 | 78.65 ^b | 0.52 | 77.76 ^b | 0.56 |
| a^* | 7.85 ^a | 0.33 | 6.70 ^b | 0.32 | 7.21 ^{ab} | 0.29 |
| b^* | 11.69 | 0.52 | 10.76 | 0.55 | 11.24 | 0.57 |
| C | 14.92 | 0.52 | 12.83 | 0.58 | 13.47 | 0.60 |
| Hue | 55.49 | 1.30 | 57.39 | 1.22 | 56.26 | 1.00 |

n = 60; SE = Standard error.

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

^{ab} Within rows, values with different superscripts are different ($P < 0.05$).

204.0 \pm 231 nmol/g of adipose tissue, for samples from the sternum, 13th rib and rump region, respectively. No significant differences were found between sampling sites.

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^* among sites could be due to the presence of haem pigment in the samples.

Tables 2 and 3 show Pearson's correlation coefficients for groups 1 and 2, respectively.

The equations that best predicted ($P < 0.01$) the carotenoid concentrations as functions of the colour variables, for groups 1 and 2, respectively, were:

β -carotene:

$$y = 3418 - 89.13L + 0.58L^2 + 0.14C^2 \quad (r^2=0.68) \text{ and}$$

$$y = 234.18 - 34.43C + 2.23C^2 \quad (r^2=0.43)$$

Lutein:

$$y = -34.8 + 3.36C - 0.04C^2 \quad (r^2=0.55) \text{ and}$$

$$y = 30.36 - 0.004L + 0.104b^2 \quad (r^2=0.44)$$

Total carotenoids:

$$y = 348.8 - 4.62L + 0.16C^2 \quad (r^2=0.68) \text{ and}$$

Cuadro 2. Coeficientes de correlación y medidas de color y concentración de carotenoides en tejido adiposo de bovinos alimentados con forrajes tropicales. Grupo 1

Table 2. Correlation coefficients between colour measurements and carotenoid concentrations in adipose tissue of pasture-fed tropical cattle. Group 1

| | L^* | a^* | b^* | C | Hue |
|-------------------|-------|-------|-------|------|-------|
| β -Carotene | -0.55 | 0.69 | 0.71 | 0.78 | -0.31 |
| Lutein | -0.49 | 0.61 | 0.70 | 0.70 | -0.32 |
| Total carotenoids | -0.56 | 0.70 | 0.73 | 0.80 | -0.32 |

L^* = lightness, a^* = redness, b^* = yellowness, C = intensity, Hue = matrix angle b/a.

($P < 0.05$).

datos de los diferentes sitios de muestreo de tejido adiposo subcutáneo de los animales del grupo 2. Las diferencias observadas para la variable a^* entre sitios puede ser debida a la presencia de pigmentos hem (de la sangre) en las muestras.

Los Cuadros 2 y 3 muestran los coeficientes de correlación de Pearson para los grupos 1 y 2, respectivamente. Las ecuaciones que mejor predicen ($P < 0.01$) la concentración de carotenoides en función de las variables de color para los grupos 1 y 2, respectivamente, fueron:

β -caroteno:

$$y = 3418 - 89.13L + 0.58L^2 + 0.14C^2 \quad (r^2=0.68) \text{ y}$$

$$y = 234.18 - 34.43C + 2.23C^2 \quad (r^2=0.43)$$

Luteína:

$$y = -34.8 + 3.36C - 0.04C^2 \quad (r^2=0.55) \text{ y}$$

$$y = 30.36 - 0.004L + 0.104b^2 \quad (r^2=0.44)$$

Carotenoides totales:

$$y = 348.8 - 4.62L + 0.16C^2 \quad (r^2=0.68) \text{ y}$$

$$y = 234.55 - 34.34C + 2.31C^2 \quad (r^2=0.22).$$

Aunque b^* y C mostraron los coeficientes de correlación más altos, L^* y C fueron los mejores predictores de la concentración de carotenoides.

En el Cuadro 4 se muestra el perfil de ácidos grasos de las muestras de tejido adiposo tomadas del esternón, la 13ª costilla y la región peri-anal. Del total de ácidos grasos, 31.8 % fueron saturados y 67.9 %, insaturados; de estos los mono-insaturados fueron 71.5 %, y los poli-insaturados fueron 28.5 %.

En relación a la concentración de carotenoides, en ambos grupos los valores obtenidos fueron mayores a los reportados por otros autores^(4,6,7,25), y esta diferencia podría atribuirse a las razas involucradas en cada caso⁽²⁶⁾. Por otra parte, las altas concentraciones observadas en este estudio pueden ser el resultado de los largos periodos de pastoreo a los que son sometidos los bovinos de engorda en el trópico, donde es común que los animales se lleven más de tres años en alcanzar el peso al sacrificio (450 kg). En este sentido, el grupo 2

$$y = 234.55 - 34.34C + 2.31C^2 \quad (r^2=0.22).$$

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

Table 4 shows the fatty-acid profiles of the adipose tissue samples taken from the sternum, 13th rib and the rump regions. Of the total fatty acids, 31.8 % were saturated and 67.9 %, unsaturated; from these, 71.5% were monounsaturated and 28.5 % polyunsaturated.

Related to carotenoid concentration, in both groups the values were higher than those reported by other authors^(4,6,7,25) and the difference could be attributable to the breeds involved⁽²⁶⁾. Also, the higher concentrations observed in this study could have resulted from the longer grazing periods used to finish beef cattle in the tropics, where it is not uncommon for

Cuadro 3. Coeficientes de correlación entre medidas de color y concentración de carotenoides en tejido adiposo muestreado en tres sitios. Grupo 2

Table 3. Correlation coefficients between colour measurements and carotenoid concentrations in adipose tissue sampled from three sites. Group 2

| | L^* | a^* | b^* | C | Hue |
|-------------------|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Sternum: | | | | | |
| β -Carotene | -0.08 ^{NS} | 0.40 ^{**} | 0.65 ^{**} | 0.68 ^{**} | 0.19 ^{NS} |
| Lutein | 0.02 ^{NS} | 0.11 ^{NS} | 0.59 ^{**} | 0.52 ^{**} | 0.37 ^{**} |
| Total carotenoids | -0.07 ^{NS} | 0.38 ^{**} | 0.67 ^{**} | 0.68 ^{**} | 0.22 ^{NS} |
| 13th rib: | | | | | |
| β -Carotene | -0.21 ^{NS} | 0.45 ^{**} | 0.49 ^{**} | 0.52 ^{**} | 0.05 ^{NS} |
| Lutein | -0.15 ^{NS} | 0.32 [*] | 0.49 ^{**} | 0.48 ^{**} | 0.18 ^{NS} |
| Total carotenoids | -0.21 ^{NS} | 0.46 ^{**} | 0.51 ^{**} | 0.54 ^{**} | 0.06 ^{NS} |
| Rump region: | | | | | |
| β -Carotene | -0.29 [*] | 0.63 ^{**} | 0.75 ^{**} | 0.77 ^{**} | 0.27 [*] |
| Lutein | -0.44 ^{**} | 0.39 ^{**} | 0.34 ^{**} | 0.37 ^{**} | 0.0 ^{NS} |
| Total carotenoids | -0.42 [*] | 0.64 ^{**} | 0.75 ^{**} | 0.76 ^{**} | 0.25 ^{NS} |

L^* = lightness, a^* = redness, b^* = yellowness, C = intensity, Hue = matrix angle b/a.

NS = $P > 0.05$; * = $P < 0.05$; ** = $P < 0.01$.

mostró una concentración más alta probablemente debido a un efecto estacional, lo que significa que en el verano el crecimiento y la disponibilidad de forrajes es mayor debido a factores climáticos tales como precipitación, temperatura y radiación solar⁽²⁷⁾. Guimaraes⁽²⁸⁾ encontró una alta concentración de carotenoides en los forrajes y en el plasma de vaquillas en la época de lluvias.

Las variables de color que mostraron altos coeficientes de correlación fueron, en ambos grupos *b** y *C*, lo que fue similar a lo reportado por otros autores⁽⁹⁾.

La luteína representó entre el 7 y el 15 % del total de los carotenoides, lo cual es similar a lo reportado por Yang⁽⁶⁾.

El perfil de ácidos grasos del tejido adiposo, concuerdan con lo reportado por otros autores^(29,30), quienes observaron que C14, C16, C16:1, C18, C18:1 y C18:2, representa entre el 80 y el 90 % del total de ácidos grasos del tejido adiposo subcutáneo de los bovinos. Nuestro total de ácidos grasos saturados e insaturados fue similar a reportes previos en la literatura^(9,13,30,31).

Entre los diferentes sitios de muestreo de tejido adiposo subcutáneo, la única diferencia en el perfil de ácidos grasos fue C14 y C18 en el esternón. Los resultados muestran que la grasa del esternón tiene 20 % más C14 que los otros sitios ($P < 0.08$), y 45 % menos C18 que la 13ª costilla y la región peri-anal ($P < 0.05$). No se encontraron correlaciones entre la concentración de carotenoides y el perfil de ácidos grasos en ningún sitio de muestro del tejido adiposo subcutáneo ($P > 0.1$), lo cual contrasta con reportes previos⁽⁹⁾, en donde se encontraron coeficientes de correlación de 0.70 y -0.72 entre el color amarillo de la grasa y los ácidos grasos cis-monoinsaturados y saturados, respectivamente.

Se concluye que el color de la grasa subcutánea de los bovinos, independientemente del sitio de muestreo, está relacionado positivamente con la concentración de carotenoides; sin embargo esto no predice el perfil de ácidos grasos. La estación del año influencia la pigmentación de la grasa.

Cuadro 4. Perfil de ácidos grasos del tejido adiposo subcutáneo de bovinos alimentados muestreado en tres sitios (%). Grupo 2

Table 4. Fatty-acid profiles of subcutaneous adipose tissue of pasture-fed tropical beef cattle, sampled from three sites (%). Group 2

| Fatty acid | Sternum | | 13th Rib | | Rump | |
|-------------|-------------------|------|--------------------|------|--------------------|------|
| | Mean | SEM | Mean | SEM | Mean | SEM |
| C12:0 | 0.16 | 0.02 | 0.14 | 0.02 | 0.15 | 0.03 |
| C14:0** | 2.53 ^b | 0.21 | 1.85 ^a | 0.20 | 2.12 ^{ab} | 0.20 |
| C16:0 | 26.28 | 3.65 | 29.58 | 4.05 | 26.94 | 4.06 |
| C16:1 | 6.58 | 0.51 | 7.79 | 0.95 | 6.35 | 0.45 |
| C18:0* | 1.38 ^a | 0.22 | 2.01 ^{ab} | 0.33 | 2.38 ^b | 0.27 |
| C18:1 | 43.44 | 3.8 | 44.31 | 5.3 | 44.24 | 4.3 |
| C18:2 | 13.38 | 1.36 | 6.64 | 6.57 | 10.63 | 2.87 |
| C18:3 | 6.25 | 0.76 | 7.68 | 0.95 | 7.19 | 0.86 |
| C20:0 | 0.10 | 0.06 | 0.13 | 0.08 | 0.19 | 0.15 |
| Unsaturated | 68.84 | 2.24 | 66.42 | 2.87 | 68.41 | 2.81 |
| Saturated | 30.35 | 3.84 | 33.58 | 2.87 | 31.59 | 2.81 |
| MUFAs | 71.81 | 0.69 | 68.75 | 1.08 | 73.95 | 0.75 |
| PUFAs | 28.18 | 3.12 | 31.25 | 5.3 | 26.05 | 5.35 |

MUFAs = Monounsaturated fatty acids. PUFAs = Polyunsaturated fatty acids.

^{ab} Within rows, values with different superscripts are significantly different.

*($P \leq 0.05$) **($P \leq 0.08$).

grazing animals to take more than three years to reach slaughter-weight (450 kg). In a similar way, group 2 had higher concentrations than group 1, probably showing a seasonal effect, meaning that in summer the growth and availability of forages is higher due to climatic factors such as rainfall, temperature and solar radiation⁽²⁷⁾. Guimaraes⁽²⁸⁾ found the highest concentrations of carotenoids in forages and the blood plasma of heifers in the rainy season.

The colour measurements that showed the highest correlation coefficients in both groups were *b** and *C*, and the results are similar other reports⁽⁹⁾.

Lutein represented between 7 and 15 % of the total carotenoids, which is similar to the results reported by Yang⁽⁶⁾.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Unión Ganadera Regional de Tabasco su cooperación en la recolección de muestras. Esta investigación fue financiada por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Proyecto: L0062 B96607) y la Cátedra 5.08 (FESC-UNAM), y forma parte de la tesis sometida por el primer autor para obtener el grado de Maestro en Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México. También se agradece a la Dra. Silvia Buntinx (UNAM) la revisión del manuscrito y a Nancy Boston su trabajo editorial en inglés.

LITERATURA CITADA

1. Simonne HA, Green NR, Bransby DI. Consumer acceptability and β -carotene content of beef as related to cattle finishing diets. *J Food Sci* 1996;61:1254-1256.
2. Hermann ML, Russell JR, Barnhart SK. Evaluation of hay-type and grazing tolerant alfalfa cultivars in season-long or complementary rotational stocking systems for beef cows. *J Anim Sci* 2002;80:768-779.
3. Forrest JR. Effect of high concentrates feeding on the carcass quality and fat coloration of grass-reared steers. *Can J Anim Sci* 1981;61:575-580.
4. Strachan DB, Yang A, Dillon RD. Effect of grain feeding on fat colour and other carcass characteristics in previously grass-fed *Bos indicus* steers. *Austr J Exp Agric* 1993;33:269-273.
5. Morgan JHL, Pickering FS, Everitt GC. Factors affecting yellow fat colour in cattle. *Proc N Z Soc Anim Prod* 1969;29:164-175.
6. Yang A, Larsen TW, Tume RK. Carotenoid and retinol concentrations in serum, adipose tissue and liver and carotenoid transport in sheep, goats and cattle. *Austr J Agric Res* 1992;43:1809-1817.
7. Knight TW, Ridland M, Hill F, Death A, Wyeth T. Effects of stress and nutritional changes on the ranking of cattle on plasma carotene concentrations. *Proc N Z Soc Anim Prod* 1993;53:455-456.
8. MacGregor R. Muscles and fat. In: *The structure of the meat animals*. London, UK: Technical Press; 1965.
9. Zhou GH, Yang A, Tume RK. A relationship between bovine fat colour and fatty acid composition. *Meat Sci* 1993;35:205-212.
10. Yang A, McLennan SR, Armstrong J, Larsen TW, Shaw FD, Tume RK. Effect of short-term grain feeding on bovine body-fat colour: a cautionary note. *Austr J Agric Res* 1993;44:215-220.
11. Craig HB, Blumer TN, Barrick ER. Effect of several combinations of grass and grain in the ration of beef steers on the colour characteristics of lean and fat. *J Anim Sci* 1959;18:241-248.

In Table 4 we can observe the fatty-acid profiles of the adipose tissue, these results are in agreement with other authors^(29,30), 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. Our total saturated and unsaturated fatty acids were similar to those reported previously in the literature^(30,31,32).

Among the different sampling sites of subcutaneous adipose tissue, the only difference in the fatty-acid profile was found in the sternum for C14 and C18. The results showed that sternum fat had 20 % more C14 than the other sites did ($P < 0.08$), and 45 % less C18 than the 13th rib and the rump region ($P < 0.05$). No correlation was found between carotenoid concentration and fatty-acid profile in any sampling site of subcutaneous adipose tissue ($P > 0.1$), which contradicts the data reported previously⁽⁹⁾, who found correlation coefficients of 0.70 and -0.72 between the yellow colour of fat and cis-monounsaturated and saturated fatty acids, respectively.

The colour of bovine subcutaneous body fat, regardless of the sampling site, is positively related to its carotenoid concentration; however it does not predict its fatty acid profile. The season of the year also influences fat pigmentation.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors wish to thank the Unión Ganadera Regional de Tabasco for granting us permission to work at the slaughterhouse and collect the samples. The research was supported by the Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Project: L0062 B96607) and Cátedra 5.08 (FESC-UNAM), and forms part of the thesis submitted by the senior author as a partial requirement for his M.Sc. degree from the Universidad Nacional Autónoma de México. We also acknowledge Dr. Silvia Buntinx (UNAM) who peer reviewed the manuscript and to Ms Nancy Boston for her English editorial work.

End of english version

12. Dinius DA, Cross HR. Feedlot performance, carcass characteristics and meat palatability of steers fed concentrate for short periods. *J Anim Sci* 1978;47:1109-113.
13. Hidioglou N, McDowell LR, Johnson DD. Effect of diet on performance, lipid composition of subcutaneous adipose and liver tissue of beef cattle. *Meat Sci* 1987;20:195-210.
14. Oltjen RR, Rumsey TS, Putman PA. All forage diets for finishing beef cattle. *J Anim Sci* 1971;57:791-801.
15. Bidner TD, Schupp AR, Mohamad AB, Rumore NC, Montgomery RE, Bagley CP, McMillin KW. Acceptability of beef from Angus-Hereford or Angus-Hereford-Brahman steers finished on all forage or a high-energy diet. *J Anim Sci* 1986;62:381-387.
16. Buchanan-Smith JG, Mandell IB. Opportunities to influence eating and nutritional qualities of beef. In: Eastern Nutrition Conference Proceedings. Guelph, Ontario, Canada; 1994:111-122.
17. McCaughey WP, Ciplef RL. Carcass and organoleptic characteristics of meat from steers grazed on alfalfa/grass pastures and finished on grain. *Can J Anim Sci* 1996;76:149-152.
18. Larick DK, Turner BE. Flavor characteristics of forage and grain-fed beef as influenced by phospholipid and fatty acid compositional differences. *J Food Sci* 1990;55:312-317.
19. INEGI. Anuario Estadístico de los Estados Unidos Mexicanos. Tabasco, México; 1999.
20. Barrón S, García-Bojalil C, Mora O, Shimada A. Impacto económico de la pigmentación del tejido adiposo bovino en la ganadería tropical. *Agrociencia* [en prensa].
21. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural (SAGAR). Sacrificio Humanitario de los Animales Domésticos y Silvestres. Norma Oficial Mexicana NOM-033-ZOO-1995. Diario Oficial de la Federación. 16 de Julio. México; 1997.
22. Mora O, Romano JL, González E, Ruiz F, Shimada A. *In vitro* and *in situ* disappearance of β -carotene and lutein from Lucerne (*Medicago sativa*) hay in bovine and caprine ruminal fluids. *J Sci Food Agric* 1999;79:273-276.
23. Schuster R. Determination of fatty acids in margarine and butter by on-column derivatization. *HP Application, Note* 5954-0826; 1985.
24. SAS. Statistical Analysis System Institute Inc. User's guide: Statistics. Release 6.03 ed. Statistical Analysis System Institute. Cary, NC; 1988.
25. Mora O, Romano JL, González E, Ruiz F, Shimada A. Low cleavage activity of 15,15 dioxygenase to convert β -carotene to retinal in cattle compared with goats, is associated with the yellow pigmentation of adipose tissue. *Int J Vit Nutr Res* 2000;70:199-205.
26. Barton RA, Pleasants AB. Fat colour and meat colour in different breeds of steers in five consecutive years raised on pasture and slaughtered at 30 months of age. *Proc N Z Soc Anim Prod* 1993;53:389-391.
27. Pearson AM. Desirability of beef - its characteristics and the measurement. *J Anim Sci* 1966;25:843-854.
28. Guimaraes AM, Saliba EOS, Rodríguez NM, Moreira PK. 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 Bras Med Vet Zoot* 1992;44:57-66.
29. Church DC. El Rumiante. Fisiología digestiva y nutrición. Zaragoza, España; Editorial Acribia; 1988.
30. Zembayashi M, Nishimura K, Lunt DK, Smith SB. Effect of breed type and sex on the fatty acid composition of subcutaneous and intramuscular lipids of finishing steers and heifers. *J Anim Sci* 1995;73:3325-3332.
31. Westerling DB, Hedrick HB. Fatty acid composition of bovine lipids as influenced by diet, sex and anatomical location and relationship to sensory characteristics. *J Anim Sci* 1979;48:1343-1348.
32. Malau-Aduli EO, Siebert BD, Bottema CD, Pitchford WS. Bred comparison of the fatty acid composition of muscle phospholipids in Jersey and Limousin cattle. *J Anim Sci* 1998;76:766-773.