

Colesterol y Óxidos de Colesterol en Carne de Pollo

Cholesterol and Cholesterol Oxides in Chicken Meat

Edmundo Velarde y Ana González

Departamento de Ciencias, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima 32, Perú

Resumen

Se determinó el contenido de lípidos totales, colesterol y óxidos de colesterol en carne de pollo adquiridos en 3 avícolas de Lima. La carne de pollo presentó valores de lípidos totales y colesterol diferentes por avícola. La carne de pecho presentó los menores valores de lípidos totales y colesterol, mientras que la piel presentó los mayores valores de estos.

Por cromatografía de gases acoplado a espectrómetro de masas (CG-EM) se confirmó la estructura de los siguientes óxidos de colesterol: 7-cetocolesterol, en las 3 avícolas; 7-hidroxicolesterol en ala de la avícola 1 y piel de la avícola 2; 7-hidroxicolesterol y -epoxicolesterol en piel de la avícola 2.

Abstract

The contents of total lipids, cholesterol and cholesterol oxides were determined in chicken meat purchased from three chicken farms in Lima. Chicken meat presented different values of total lipids and cholesterol. Breast chicken presented the lowest values of total lipids and cholesterol while the skin presented the highest values.

A gas chromatograph – mass spectrometer (GC – MS) was employed to confirm the structure of the following cholesterol oxides: 7-ketocholesterol was found in the three chicken farms ; 7-hydroxycholesterol was found in wing of chicken farm 1 and in the skin of chicken farm 2; 7-hydroxycholesterol and -epoxycholesterol in the skin of chicken farm 2.

1. Introducción

El colesterol (5-colestano-3 β -ol) es el principal esteroide presente en el tejido humano y en el tejido animal aislado por

primera vez en el siglo XVII e incluido en la categoría de los lípidos o grasas; es junto con los fosfolípidos uno de los componentes más importantes de las membranas celulares. Cumple numerosas funciones en el organismo humano, participa en la formación de hormonas sexuales, ácidos biliares que cumplen un rol importante en la digestión y absorción de las grasas en el tracto digestivo, producción de hormonas que regulan el balance de sodio y potasio en el cuerpo humano y participa en la síntesis de vitamina D^{1,2}.

La mayor parte de colesterol en el organismo, alrededor del 75%, se origina por biosíntesis y solo el 25% es obtenido de la dieta. Cuando la alimentación es muy rica en colesterol, ocurre un bloqueo de la síntesis endógena. Por otro lado, la reducción muy acentuada de colesterol puede aumentar su fabricación biológica.

El colesterol que es elaborado en el hígado es transportado a las membranas celulares por las lipoproteínas, el exceso de colesterol se acumula en forma de depósitos insolubles de grasa llamadas placas a lo largo de las paredes arteriales restringiendo el flujo de la sangre constituyéndose en una característica principal de la enfermedad de la arteria coronaria³.

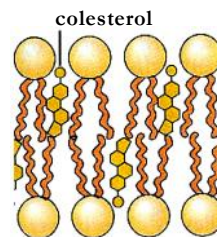


Fig. 1. Posiciones del colesterol en la membrana celular entre moléculas de fosfolípidos⁴.

La Asociación Americana del Corazón (2003)⁵ recomienda una ingesta diaria de lípidos totales menor o igual al 30% del

total de calorías y de grasa saturada menor al 10%, una ingesta de colesterol menor a 300 mg/día para personas con niveles normales de colesterol sanguíneo; mientras que la ingesta de colesterol en personas con dolencias cardíacas debe ser menor a 200 mg/día.

En la bibliografía hay poca información sobre el contenido del colesterol y óxidos de colesterol en carne de pollo. Solo se encontró un trabajo sobre óxidos de colesterol en carne de pollo pero en carne liofilizada⁶.

En base a estos hechos, los objetivos de este estudio fueron:

1. Determinar el contenido de colesterol y presencia de óxidos de colesterol en carne de pollo.
2. Realizar un estudio comparativo del contenido de colesterol y óxidos de colesterol en carne de pollo adquiridas en tres avícolas de Lima.

1.1. Estructura Química del Colesterol

El colesterol es el esteroide más abundante en los organismos vivos, se clasifica como un estero por la presencia de un hidroxilo (OH) en C-3; el grupo OH en la molécula, le da un débil carácter anfílico y el núcleo esteroide, es una estructura no polar, rígida y planar.

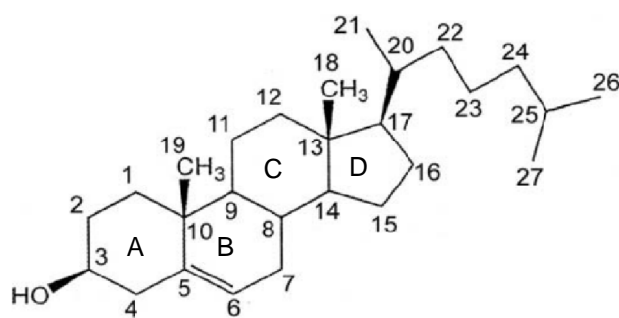


Fig. 2. Estructura química del colesterol

El colesterol es un derivado del ciclopentano perhidro-fenantreno. Esta nomenclatura se debe a que los anillos A, B y C corresponden a la estructura de los fenantrenos y el anillo D es un ciclopentano; la denominación perhidro se debe a la presencia de hidrógenos en la estructura; los hidrógenos en las posiciones 10 y 13 son sustituidos por grupos metilo y en

la posición 17 por un grupo R (C_8H_{17}), el cual forma una cadena lateral.

El doble enlace hace que C-4 del anillo A y C-7 del anillo B permanezcan en el plano. Se podría esperar que ambas posiciones tengan igual oportunidad al ataque oxidativo, sin embargo, C-7 es una posición común a este ataque. El ataque rara vez ocurre en C-4 por el efecto de apantallamiento del grupo hidroxilo en C-3 y el trialquil en C-5⁸.

En cuanto a la cadena lateral alifática, C-20 y C-25 son carbonos terciarios y, por consiguiente, más susceptibles al ataque oxidativo que los otros carbonos⁹.

1.2. Oxidación de Colesterol

La figura 3 muestra las posiciones de la molécula de colesterol susceptibles al ataque oxidativo. Los compuestos predominantes son los originados a partir de la oxidación en el C-7 y son: 7α -hidroxicolesterol, 7β -hidroxicolesterol, $5,6\alpha$ -epoxicolesterol; $5,6\beta$ -epoxicolesterol, 7 -cetocolesterol, colestano - 3,5-dieno-7-ona y 3β , 5α , 6β -colestanotriol.

En la oxidación de los carbonos terciarios C-20 y C-25 de la cadena lateral se originan 20α -hidroxicolesterol y 25 -hidroxicolesterol respectivamente.

Dentro de los óxidos de colesterol que se forman en los alimentos y en sistemas biológicos, el 7 -cetocolesterol es el de mayor predominio y los 7α -hidroxicolesterol, 7β -hidroxicolesterol y colestanotriol se forman en menor proporción¹⁰.

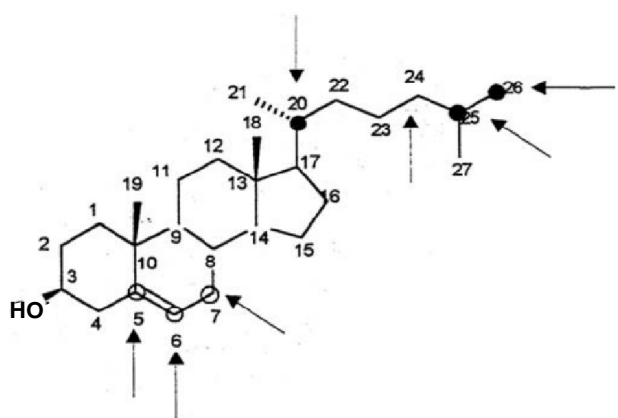


Fig. 3. Posiciones de la molécula de colesterol susceptibles al ataque oxidativo¹¹.

El colesterol es parte integral de la bicapa lipídica de la membrana celular y está asociada a los fosfolípidos. Como el colesterol contiene un doble enlace en el C- 5, la formación de cualquier radical oxígeno o radical libre puede iniciar la oxidación.

Los hidroperóxidos que se forman durante la oxidación lipídica de los ácidos grasos pueden ser utilizados para la iniciación de oxidación del colesterol. El alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados presente en los alimentos puede causar la formación de especies radicales dentro y fuera de las células. La oxidación lipídica es iniciada en la superficie de la membrana intracelular.

El mecanismo de oxidación del colesterol se puede observar en la Figura 4.

La oxidación del colesterol es un proceso complejo y corresponde a la reacción del radical 3β-hidroxicolestano -5-en-7-il; situado en el C-7 de la molécula formado por la exposición del mismo a la radiación. Luego se forma el radical peróxido en C-7 por sustracción de un hidrógeno proveniente, por ejemplo, del colesterol, el que se transforma en 7α- y 7β-hidroperoxicolesterol. Estos dos hidroperóxidos son los primeros compuestos identificados en la oxidación del colesterol. El 7β-hidroperóxido, por ser más estable termodinámicamente, es el predominante¹².

En seguida se reducen a sus correspondientes (7α- y 7β-hidroxicolesterol) y a 7-cetocolesterol¹¹. Este último compuesto puede ser a su vez degradado térmicamente a colestano 3,5-dieno-7-ona¹³.

La reacción del radical C-25 (3β-hidroxicolestano-5-eno-25-il) con el oxígeno triplete, conforme al mismo mecanismo, origina el radical 3β-hidroxicolestano-5-eno-25-peróxido, que en seguida es transformado a 25-hidroperoxicolesterol por la sustracción de un hidrógeno, que a su vez se degrada térmicamente en 25-hidroxicolesterol, como producto predominante.

Cuando el colesterol es fuertemente oxidado por el aire, se pueden formar otros peróxidos a partir de la cadena lateral de la molécula de colesterol tales como: 20α- y 20β, 20β-, 24α- y 24β-, 26α- y 26β- hidroperóxidos. Estos compuestos, por otro lado, tienden a descomponerse a través de la ruptura del enlace β C-C de la cadena lateral, produciendo sustancias volátiles como acetona y ácido acético¹¹.

Los 5,6 α-epoxicolesterol y 5,6 β-epoxicolesterol también fueron identificados como productos de oxidación de colesterol, se forman por la reacción del colesterol con diferentes compuestos de oxígeno activos, tales como H₂O₂, radicales hidroxilo (OH•), peróxido (ROO•), alcoxilo (RO•). Los 5,6-epóxidos presentan diferentes grados de estabilidad conforme al medio o pH considerados⁸.

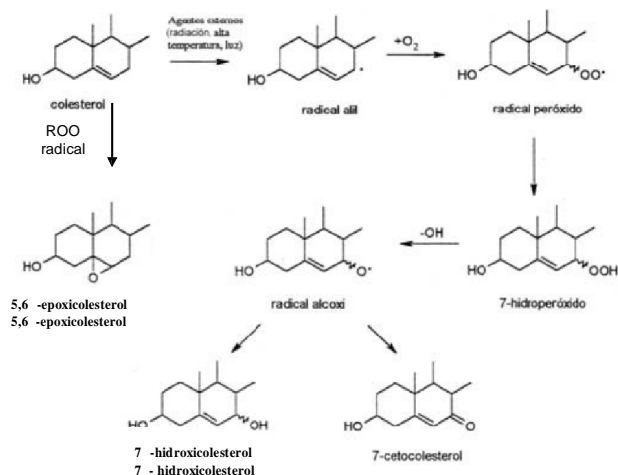


Fig. 4. Mecanismo de oxidación del colesterol¹¹

1.3.Productos de Oxidación del Colesterol

El colesterol está ampliamente distribuido en alimentos de origen animal, es un lípido insaturado susceptible a la oxidación. A temperaturas elevadas, luz, radiación o combinación de estos factores, se ha dado lugar a más de 70 productos de oxidación¹⁴, habiéndose identificado en alimentos los siguientes óxidos de colesterol:

7-cetocolesterol (7-ceto), β6-cetocolesterol (6-ceto), 7α-hidroxicolesterol (7α-OH), 7β-hidroxicolesterol (7β-OH), 5,6α-epoxicolesterol (5,6α-EP), 5,6β-epoxicolesterol (5,6β-EP), 25-hidroxicolesterol (25-OH), 20-hidroxicolesterol (20-OH) y colestanoltriol (triol)^{15,6}.

Los productos de oxidación de colesterol poseen estructuras semejantes al colesterol, presentan grupos funcionales como hidroxilos, cetona o epóxido adicionado al núcleo esteroide o a la cadena lateral de la molécula de colesterol. En la Figura 5, se puede observar las estructuras de algunos óxidos de colesterol encontrados en alimentos. Estos compuestos pueden entrar en circulación sanguínea como contaminantes¹⁶.

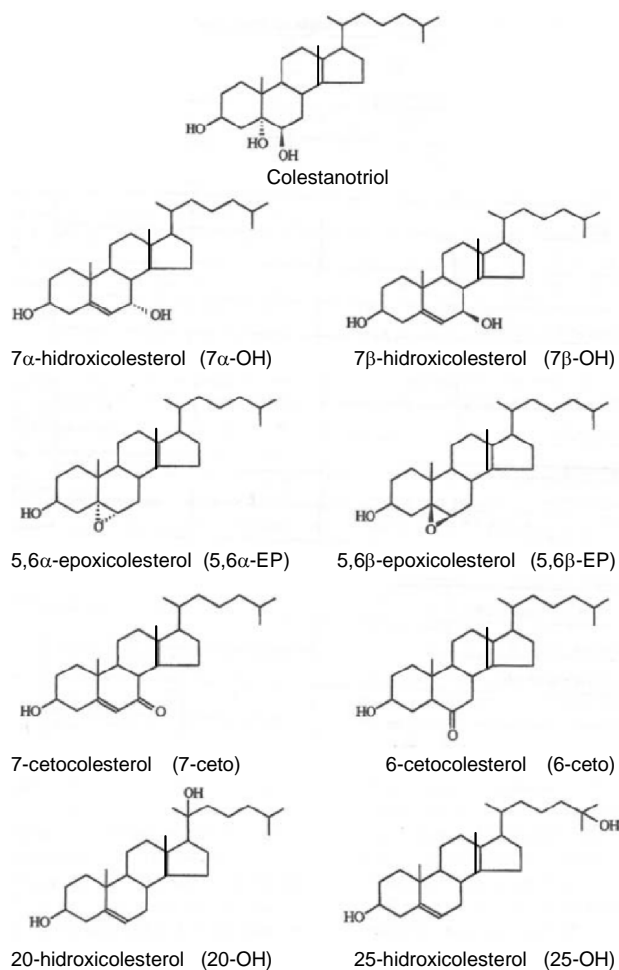


Fig. 5. Óxidos de colesterol encontrados en alimentos.

Alimentos con alto contenido de colesterol, huevos, leche y derivados, carne y productos cárnicos procesados, cuando se exponen al ambiente, temperaturas altas, luz, radiación o combinación de estos factores durante su almacenamiento o procesamiento, pueden representar fuentes importantes de óxidos de colesterol en la dieta¹¹. Estos compuestos pueden estar asociados al desarrollo de efectos biológicos indeseables como mutagenicidad¹⁷, angiotoxicidad¹⁸, carcinogenicidad¹⁹, citotoxicidad, aterogenicidad y daño en la membrana celular²⁰ e inhibición en la biosíntesis de colesterol²¹.

Estudios *in vivo* e *in vitro* han demostrado que los óxidos de colesterol poseen una serie de efectos potencialmente aterogénicos, citotóxicos, mutagénicos y carcinogénicos; causan daño en la membrana celular, impiden la biosíntesis del colesterol. Se ha demostrado que el 25-hidroxicolesterol

y el colestanotriol son los causantes de la arterioesclerosis. También se ha reportado que los α y β epoxicolesterol son carcinogénicos^{22, 23}.

2. Materiales y Métodos

Se analizaron 3 lotes de pollos con la misma edad de sacrificio. Estos lotes fueron adquiridos en 3 avícolas de Lima. Cada lote fue representado por 6 unidades y separados en 3 grupos de 2 unidades, según se indica en la Figura 6.

Se procedió a la limpieza, deshuesado y remoción de grasas visibles, fueron organizadas en piezas: ala, pierna, pecho y piel. Posteriormente molidas en un multiprocesador hasta obtener una masa homogénea.

El colesterol, los óxidos de colesterol: 20 α -hidroxicolesterol, 25- hidroxicolesterol, 7-cetocolesterol, fueron adquiridos de la Compañía Química Supelco.

Todos los reactivos y solventes usados para la extracción y preparación de la muestra fueron grado p.a. y para el análisis cromatográfico, grado cromatográfico, los que fueron filtrados y desgasificados en ultra sonido antes de su uso.

AVÍCOLA 1			AVÍCOLA 2			AVÍCOLA 3		
LOTE1			LOTE2			LOTE3		
M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3
2un.	2un.	2un.	2un.	2un.	2un.	2un.	2un.	2un.
ala	ala	ala	ala	ala	ala	ala	ala	ala
pierna	pierna	pierna	pierna	pierna	pierna	pierna	pierna	pierna
pecho	pecho	pecho	pecho	pecho	pecho	pecho	pecho	pecho
piel	piel	piel	piel	piel	piel	piel	piel	piel

Fig. 6. Toma de muestras
18 unidades de pollos adquiridas en 3 avícolas de Lima

Se emplearon para el análisis las piezas indicadas en color sumando un total de 12 piezas analizadas.

Extracción de Lípidos

Los lípidos fueron extraídos según Folch et al.²⁴ Se pesaron por duplicado muestras de 10g (ala y piel) y de 50g (pierna y pecho) de este extracto lipídico. Se tomaron alícuotas de 10 mL para determinar por gravimetría el contenido de lípidos totales.

Alícuotas de 50 mL se usaron para determinar en forma simultánea colesterol y óxidos de colesterol por cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC).

Determinación simultánea de colesterol y óxidos de colesterol por cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC)

Alícuotas de 50 mL de extracto lipídico fueron concentrados a sequedad en un rotavapor, saponificadas a temperatura ambiente y la materia insaponificable extraída con éter etílico⁶.

Se utilizó un cromatógrafo de líquidos Merck – Hitachi con bomba cuaternaria para líquidos, modelo L-7100; detector UV- visible con arreglo de diodos (DAD) modelo L-7450A; horno para columnas modelo L-7350; inyector manual «Rheodyne» modelo 9125; programa HSMD-7000; columna NOVA-PAK CN HP SS 300 x 3,9, 4 μm ; guarda columna NOVA-PAK CN 3,9 x 20 mm, 4 μm ; la temperatura fue de 32°C; la fase móvil estuvo compuesta de hexano/ isopropanol (96/4) con 1,0 mL/min de velocidad. Los espectros de absorción fueron tomados entre 200 – 400 nm y los cromatogramas registrados a 210 nm.

Las muestras se analizaron durante 18 min y los estándares durante 14 min.

Todos los solventes usados para la extracción y preparación las muestras fueron grado p.a. y para el análisis cromatográfico, de grado cromatográfico los cuáles fueron filtrados y desgasificados en ultra sonido antes de su uso.

Cromatogramas característicos de los estándares de colesterol y óxidos de colesterol así como el de una muestra de carne de pollo, se pueden observar en las Figuras 7 y 8, la identificación de los picos se hizo comparando los tiempos de retención de los estándares y de las muestras.

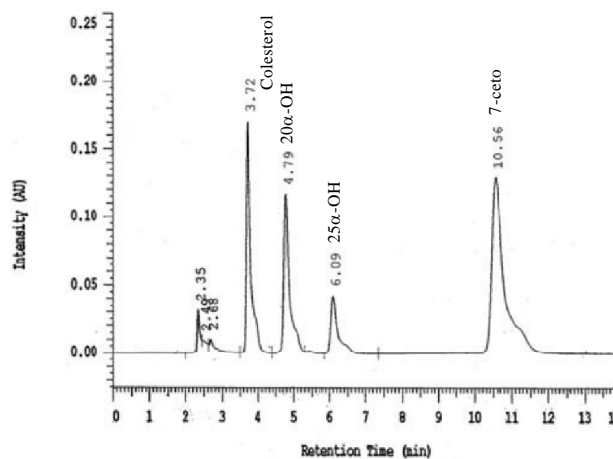


Figura 7: Cromatograma característico de los estándares de colesterol y óxidos de colesterol

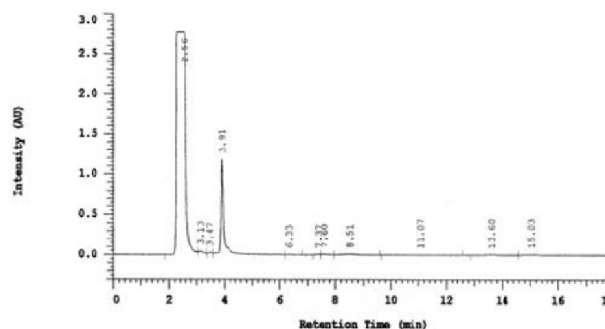


Figura 8: Cromatograma característico de colesterol y óxidos de colesterol en piel (avícola 2)

El orden de elución cromatográfico de colesterol y sus óxidos, así como sus nombres químicos comunes, se pueden observar en la Tabla 3.

La cuantificación de colesterol y sus productos de oxidación se realizó por el método de patrón externo. Se prepararon 5 concentraciones en el rango de 0,1 a 3 mg/mL para el colesterol y en el rango de 1 a 30 $\mu\text{g}/\text{mL}$ para los óxidos de colesterol, obteniéndose la curva de calibración al graficar concentración versus área.

La confirmación estructural de colesterol y óxidos de colesterol se realizó por cromatografía gaseosa con espectrómetro de masas (CG-MS) Hewlett Packard 6890 CG y 5973 MS. Las condiciones del CG-MS fueron: HP-5MS (Palo Alto, USA) columna capilar de sílica fundida (30m x 0,25mm; 0,25 μm de espesor de película); velocidad de gas de arrastre

(helio) 0,7mL/min; apertura de inyección a 290°C; la temperatura de horno programada fue: temperatura inicial 110°C/2min, se elevó hasta 235°C a una razón de 40°C/min, permaneciendo en esta temperatura por 5 min., luego se elevó hasta 310°C / 5 min. a una razón de 1 °C / min. La temperatura de interfase fue de 320°C y la energía de impacto de electrones de 70eV.

Los estándares de colesterol y óxidos de colesterol, así como las muestras fueron derivatizadas de acuerdo al método de Schmarr et. al.²⁵

Los m/z explorados fueron los fragmentos principales, para el colesterol 329, 368 y 458; α -epoxicolesterol 384, 445, 474 y 404; 7-cetocolesterol 367, 416 y 472; 7 α y 7 β -hidroxicoolesterol 366, 456 y 546.

3. Resultados

Lípidos Totales y Colesterol

Los resultados obtenidos de lípidos totales y colesterol en las 12 muestras analizadas se observan en la Tabla 1.

Tabla 1. Contenido de colesterol (mg/100g) y lípidos totales (g/100g) en carne de pollo

piezas	colesterol (mg/100g)		
	AVÍCOLA 1M*	AVÍCOLA 2M*	AVÍCOLA 3M*
ala	82,14	106,40	84,18
pierna	56,81	147,45	96,32
pecho	44,41		55,63
piel	106,25	46,12	95,78
lípidos totales (g/100g)			
ala	9,58	12,06	10,06
pierna	7,40	7,22	5,95
pecho	2,08	3,68	1,96
piel	47,82	37,76	41,12

* media de una muestra en duplicado.

Óxidos de Colesterol

En la Tabla 2 se observan los óxidos de colesterol (mg/g) en las 12 muestras de pollo analizadas.

Tabla 2. Óxidos de colesterol (μ g/g) en carne de pollo

óxido de colesterol	pieza	AVÍCOLA 1	AVÍCOLA 2	AVÍCOLA 3
25-hidroxicoolesterol	ala	D	nd	d
	pierna	D	d	d
	pecho	D	d	d
	piel	D	nd	d
7-cetocolesterol	ala	6,66	2,64	d
	pierna	0,66	d	d
	pecho	9,90	d	d
	piel	9,15	4,33	14,73
7 β -hidroxicoolesterol	ala	D	d	nd
	pierna	D	d	nd
	pecho	Nd	d	d
	piel	Nd	d	d

nd: no detectado

La confirmación estructural de colesterol y óxidos de colesterol en las muestras, fue realizada por cromatografía gaseosa con espectrometría de masas (CG-MS).

En las muestras analizadas se logró la confirmación estructural de los siguientes compuestos:

colesterol: avícola 1, avícola 2, avícola 3.

7-cetocolesterol: avícola 1, avícola 2, avícola 3.

7 β -hidroxicoolesterol: ala avícola 1, piel avícola 2.

7 α -hidroxicoolesterol: piel avícola 2.

α -epoxicolesterol: piel avícola 2.

Tabla 3. Óxidos de colesterol y sus nombres comunes

Orden de elución cromatográfica*	nombre químico	nombre común
1	Coleste-5-eno-3 β -ol	Colesterol
2	Coleste-5-eno-3 β , 20 α -diol	20 α -hidroxicoolesterol
3	Coleste-5-eno-3 β , 25-diol	25-hidroxicoolesterol
4	5,6- α -epoxi-5 α -colestan-3 β -ol	α -epoxido
5	5,6- β -epoxi-5 β -colestan-3 β -ol	β -epoxido
6	3 β -hidroxicoleste-5-eno-7-ona	7-cetocolesterol
7	Coleste-5-eno-3 β , 7 β -diol	7 β -hidroxicoolesterol
8	Coleste-5-eno-3 β , 7 α -diol	7 α -hidroxicoolesterol

* como se observa en las figuras 7 y 8.

4. Discusión

De los métodos

Lípidos totales y colesterol

Para la extracción de lípidos totales se usó el procedimiento según Folch et al.²⁴. Se usó una mezcla de CHCl₃: MeOH 2:

1 (v/v) que junto al agua del tejido forman un sistema de componente terciario que incrementan las proporciones de CHCl_3 : MeOH : H_2O a 8:4:3 (v/v/v), lográndose así la extracción de los lípidos.

La determinación de colesterol se realizó por HPLC, las muestras de grasas fueron saponificadas y la masa insaponificable extraída con un solvente.

El análisis de colesterol por HPLC permitió, de modo simultáneo, la identificación y cuantificación de los óxidos de colesterol, y por derivatización se realizó la confirmación estructural de colesterol y óxidos de colesterol en un CG-EM. Todo el proceso se realizó a temperatura ambiente.

En otro estudio, realizado en carne de pavo, se probaron varios métodos de saponificación y extracción de la masa insaponificable, y el método, según Sanders et al.⁶ para la determinación simultánea de colesterol y óxidos de colesterol, fue validado recientemente por Bragagnolo et al.²⁶ en la Universidad Estatal de Campinas - Brasil y es el que adoptamos en el presente estudio para la investigación en pollos peruanos.

De los compuestos obtenidos

Lípidos totales y colesterol

Los resultados obtenidos de lípidos totales y colesterol se pueden observar en la Tabla 1.

La carne de pecho en la avícola 3 presentó menor contenido de lípidos (1,96 g/100g), mientras que la piel en la avícola 1 fue mayor (47,82 g/100g). La carne de ala, pierna, pecho y piel no presenta diferencia significativa en el contenido de lípidos en las otras piezas.

En general, los resultados obtenidos de lípidos totales en la carne de pecho son menores y los resultados en la piel mayores.

Los resultados obtenidos en este estudio están de acuerdo a los reportados en la literatura. Bragagnolo²⁷, reportó lípidos totales en piel según Folch et. al.²⁴, de 56 ± 1 g/100g, y nuestros resultados son menores y varían de 37,76 g/100g en la avícola 2 a 47,82 g/100g en la avícola 1.

En cuanto a los resultados obtenidos de colesterol hubo diferencia significativa entre las piezas de carne de pollo analizadas. La carne de pecho en la avícola 1 presentó menor contenido de colesterol (44,41 mg/100g) mientras que la carne de pierna en la avícola 2 fue mayor (147,45 mg/100g). En general, los resultados obtenidos de colesterol en la carne de pecho son menores y los obtenidos en la piel son mayores, excepto en la pierna de la avícola 2 que son aún más altos.

En la Tabla de Composición de Alimentos²⁸ se encuentra 56,2 mg/100g para pecho y 84 mg/100g para pierna. Los resultados de colesterol obtenidos para pecho varía de 44,41 mg/100g en la avícola 1 a 55,63 mg/100g en la avícola 3; y nuestros resultados de colesterol obtenidos para pierna varía de 56,81 mg/100g en la avícola 1 a 147,45 mg/100g en la avícola 2.

Al-Naj Dawi et al.²⁹ obtuvieron por hidrólisis enzimática $58,75 \pm 5,30$ mg/100g de colesterol para carne de pollo (sin piel y deshuesado).

En general, los resultados obtenidos están de acuerdo con Bragagnolo et al.³⁰ que obtuvieron 104 ± 5 mg/100g en piel; Prusa et.al.³¹ obtuvieron 63,16 mg/100g para pecho y 93,90 mg/100g para piel.

Resultados de 63,7 mg/100g para pecho y 68,3 mg/100g para pierna fueron obtenidos por Labrador et al.³²; 90 mg/100g para pierna y 128 mg/100g para piel fueron obtenidos por Karkalas et al.³³

Las diferencias significativas entre los resultados reportados en la literatura pueden ser atribuidos a los diferentes métodos analíticos utilizados, a la toma de muestras y al tipo de tejido adiposo en la muestra³⁴.

En algunos casos se ha encontrado variaciones en el contenido de colesterol en función de la raza, sexo y alimentación^{35,36,37,38}.

Parece que existen diferencias entre la cantidad de colesterol en distintos músculos^{39,40}. Estas diferencias se han relacionado principalmente con la cantidad de fibras rojas en el músculo de forma que, a mayor contenido en este tipo de fibras (de menor diámetro que las blancas), mayor contenido de colesterol⁴¹. También se ha relacionado la mayor riqueza en fosfolípidos en los músculos con un

mayor metabolismo oxidativo, ya que el colesterol contribuye a mantener el orden de los fosfolípidos en la membrana celular⁴². Entonces a mayor contenido en fosfolípidos, hay mayor colesterol. En definitiva, las diferencias en el tipo de fibra podría ser una de las razones importantes de la variabilidad en el contenido de colesterol entre músculos de un mismo animal o especie e incluso entre el mismo músculo entre diferentes especies³⁴.

En otros estudios se ha demostrado que el contenido de colesterol en el pollo es ligeramente más alto que en la carne de vacuno y cerdo^{43,44}.

Lewis et al.⁴⁵ concluyen que un alto contenido de grasa muscular no siempre está relacionado a un alto contenido de colesterol. A similares conclusiones llegó Browning et. al.³⁹, quienes determinaron el contenido de colesterol en 100 músculos de carne vacuno de dos diferentes niveles de grasa. La relación entre el contenido de grasa y el contenido de colesterol fue insignificante.

Rhee et al.⁴⁶ concluyeron que los cambios en el contenido de colesterol derivados de diferencias en el contenido de grasa sería de poca significancia desde el punto de vista práctico.

En otras investigaciones se han reportado que el metabolismo del colesterol y la concentración celular del colesterol se incrementa en las aves con la edad^{47,48,49}. No ocurre lo mismo en la carne de rumiantes.

Finalmente, cabe destacar que el contenido de colesterol después de la cocción aumenta ya que ocurre pérdida de agua y consecuentemente concentración de colesterol.

Óxidos de colesterol

De los óxidos de colesterol analizados por cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC), 20 α -hidroxicoolesterol, 25-hidroxicoolesterol, 7-cetocolesterol y 7 β -hidroxicoolesterol sólo fueron detectados el 25-hidroxicoolesterol, 7-cetocolesterol y 7 β -hidroxicoolesterol (Tabla 2).

El 7-cetocolesterol fue un óxido de colesterol presente en todas las muestras analizadas. Los resultados obtenidos se pueden observar en la Tabla 2. Sólo se pudo cuantificar: las piezas en la avícola 1, ala, piel en la avícola 2 y piel en la

avícola 3. Los resultados variaron mucho entre piezas, siendo obtenidos 0,66 $\mu\text{g/g}$ en pierna de la avícola 1 hasta 14,73 $\mu\text{g/g}$ en piel de la avícola 3. Estas variaciones pueden estar relacionados a posibles alteraciones en las condiciones de almacenaje de los pollos antes de ser adquiridos y analizados de lo que no tenemos conocimiento.

Como se observa en la Tabla 2, el 25-hidroxicoolesterol, y el 7 β -hidroxicoolesterol fueron detectados en casi todas las muestras, pero no fue posible su cuantificación.

Estudios realizados demuestran que solo trazas de óxidos de colesterol se han encontrado en carnes frescas y, como regla, se establece que los alimentos frescos contienen mínimos niveles de óxidos de colesterol⁵⁰.

El almacenamiento, cocimiento y proceso de producción en los alimentos tienden a incrementar el contenido de óxidos de colesterol. Estos óxidos ocurren en concentraciones altas (10-150 $\mu\text{g/g}$) en: yema de huevo, carne congelada, queso, mantequilla, cremas y sebos que se calientan; productos a base de huevos (queques, bizcochos, mayonesa) también se encontraron en alimentos frescos con fecha vencida.

Sander et al.⁶ realizaron un trabajo sobre óxidos de colesterol en diversos productos alimenticios, entre los cuales fueron analizados 7 muestras de carne de pollo liofilizadas, determinándose los siguientes óxidos de colesterol ($\mu\text{g/g}$):

Muestras	7 α	β -epoxi	α -epoxi	7 β	7-ceto
1	-	-	8	-	-
2	-	4	7	4	8
3	-	10	43	6	22
4	-	4	5	6	10
5	-	4	8	3	4
6	4	27	4	-	18
7	8	4	2	-	5

En trabajos realizados con otros tipos de carne, el 7-cetocolesterol estuvo siempre presente. Por ejemplo, Csallany et al.⁵¹ y Lercker et al.⁵² encontraron, en carne de cerdo mantenido en refrigeración a 4°C por 10 días, 1,13 y 1,35 $\mu\text{g/g}$ de 7-cetocolesterol.

Kowale et al.⁵³ encontraron 10,44; 11,93 y 12,29 $\mu\text{g/g}$ de 7-cetocolesterol en carne de carnero fresco y refrigerado a 4°C en un periodo de 0,3 y 6 días respectivamente, y a -10°C

encontraron 13, 14,18 y 15,60 $\mu\text{g/g}$ en un período de 30, 60 y 90 días respectivamente.

Para confirmar la presencia de colesterol y óxidos de colesterol en las muestras de pollo analizadas en este estudio, y a consecuencia del comportamiento lábil e inestable que ellos presentan, se hizo el análisis de estos compuestos en su forma de trimetil silil éteres derivados. Se derivó las muestras, los estándares de colesterol y sus óxidos según Schmarr et al.²⁵.

La confirmación estructural de colesterol y óxidos de colesterol en las muestras fue realizada por cromatografía de gases con espectrometría de masa (CG - EM). Se confirmó la identidad de los siguientes compuestos.

Colesterol: avícola 1, avícola 2, avícola 3.
7-cetocolesterol: avícola 1, avícola 2, avícola 3.
7 β -hidroxicoolesterol: ala avícola 1, piel avícola 2.
7 α - hidroxicoolesterol: piel avícola2.
 α - epoxicoolesterol: piel avícola 2.

Uno de los problemas analíticos en la determinación de óxidos de colesterol es la formación de interferentes: triglicéridos, fosfolípidos y otros lípidos presentes según el alimento de que se trate.

En la literatura se reporta que los niveles de óxido de colesterol en el mismo tipo de alimento es difícil de comparar. La cuantificación de óxidos de colesterol en alimentos es difícil, y la inconsistencia que se observa en los resultados se debe principalmente a las diferencias en los métodos analíticos.

7. Referencias

1. Ariki, J.; Loddi, M.M.; Borges, S.A. *Rev. Bras. Cien. Avic.* **1999**, 90-96
2. Eusse, J.S. *Rev. Mundo Avícola y Porcino.* **1996**, 19,62-63.
3. Valenzuela, A.J.; Sanhuesa & Nieto, S. *Biol. Res.* **2003**, 36, 291-302
4. Alberts. *Molecular Biology of the Cell*, Garland Publishing: New York, **1994**,pp.477-488.
5. American Heart Association. Dietary Guidelines for Healthy American Adults (<http://www.americanheart.org/Heart-and-Stroke-A-Z-vidae/dietg.html>), **2003**.
6. Sander, B.D.; Addis P.B.; Park, S. W.; Smith, D.E. *J. Food. Prot.* **1989**, 52, 109-114.
7. CELLBIO.UTMB(Cell Biology Graduate Program, University of Texas Medical Branch). http://cellbio.utmb.edu/cellbio/membrane_intro.htm, **2003**.

5. Conclusiones

- La carne de pollo presentó contenido de lípidos totales y colesterol similares a los reportados en otras investigaciones y en algunas muestras mayores valores.
- Los productos de oxidación del colesterol detectados fueron:
El 7-cetocolesterol estuvo presente en todas las muestras analizadas; el 7 β -hidroxicoolesterol estuvo presente en algunas piezas de dos avícolas.
El 7 α -hidroxicoolesterol y el α -epoxicoolesterol estuvieron presentes en la piel de una avícola.
- Solo el 7-cetocolesterol pudo ser cuantificado; el mismo que presentó distintos valores entre avícolas, indicando la posibilidad de diferencias en las condiciones de almacenamiento.

6. Recomendaciones

- Dar a conocer los efectos perjudiciales de los óxidos de colesterol en el organismo humano, ya que el consumo de alimentos pre-cocidos o enlatados de origen animal se viene incrementando.
- Recomendar a la industria de carnes el uso de etiquetas con información nutricional.
- Se recomienda continuar con la investigación en otras carnes frescas y carnes procesadas, con el fin de aportar al desarrollo de la industria alimentaria en el Perú.

8. Maerker, G. ; Bunick, F.J. *J. Am. Oil Chem. Soc.* **1986**, 63, 771.
9. Smith, L.L. *Cholesterol Autoxidation*, Plenum Press: New York, **1981**.
10. Korahani, V.B. J.; Crastes de Paulet,A. *Lipids.* **1982**, 17, 703.
11. Smith, L. L. *Chem. Phys. Lipids.* **1987**, 44, 87-125.
12. Teng, J.I.; Kulig,M.J.; Smith,L.L.; Kan, G.; Van-Lier, J.E. *J. Org. Chem.* **1973**, 38, 119.
13. Van -Lier, J.E.; Smith, L.L. *J. Chrom.* **1968**, 36, 7.
14. Paniangvait, P.; King, A.J.; Jones, A.D. *J. Food Sci.* **1995**, 60, 1159-1174.
15. Finocchiaro, E.T.; Richardson, T. *J. Food Prot.* **1983**, 46, 917.
16. Tai, C-Y.; Chen, Y.C.; Chen, B.H. *Journal of Food and Drug Analysis.* **1999**, 7, 243-257.
17. Sevanian, A.; Peterson, A.R. *Food Chem. Toxicol.***1986**, 24, 1103-1110.

18. Peng, S.K.; Hu, B.; Morin, R.J. *J. Clin. Lab. Anal.* **1991**, 5,144-152.
19. Morin, R.J.; Hu, B.; Peng, S.K.; Sevanian, A. *J. Clin. Lab. Anal.* **1991**, 5, 219-225.
20. Guardiola, F.; Codony, R.; Addis, P.B.; Rafecas, R.; Boatella, J. *J. Food Chem. Toxicol.* **1996**, 34, 193-211.
21. Addis, P.B. *Nutr. Rev.* **1990**, 62,7-10.
22. Osada, K. Eds F. Guardiola, P.C., Dutta, R.; Codony; Savage, G. P. Champaign, Illinois. *AOCS Press*, **2002**, 278-318.
23. Dobarganes, C.; Marquez-Ruiz, G. *Curr. Opin. Clin. Nutr. Metab. Care.* **2003**, 6, 157-162.
24. Folch, J.; Less, M. ; Stanley, S. *J. Biol. Chem.* **1975**, 226, 497-509.
25. Schmarr, H.G.; Gross, H.B.; Shibamoto, T.; *J. Agric. Food Chem.* **1996**, 44, 512-517.
26. Bragagnolo, N.; Vicente, E. ; Baggio, S. *J. Agric. Food Chem.* **2002**, 50, 5981-5986.
27. Bragagnolo, N. *Comparative aspects of meats according to fatty acid profile and cholesterol level. Second International Virtual Conference on Pork Quality*, **2001**.
28. USDA Nutrient Database for Standard Reference, Release 13, Poultry Products. Nutrient Data Laboratory, Agricultural Research Service: Beltsville, MD, **2000**; 661 <http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/Data/SR13/sr13doc.htm>.
29. Al-Naj Dawi, R.; Abdullah, B. *Meat Science* **2002**, 61, 241-247.
30. Bragagnolo, N.; Rodriguez-Amaya, D.B. *Rev. Fam. Bioquim.* **1992**, 28, 122-131.
31. Prusa, K.J.; Lonergan, M.M. *Poultry Science.* **1987**, 66, 990-994.
32. Labrador, O.L.; Sangronis, E. *Acta Cientifica Venezolana.* **1987**, 38, 262-265.
33. Karkalas, J.; Donald, A.E.; Clegg, K.M. *Journal of Food Technology.* **1982**, 17, 281-283.
34. Chizzolini,R.; Zanardi,E.; Dorigon,I,V.; Ghidini,S.*Trends in Food Science and Technology.* **1999**, 10, 119-128.
35. Lough, D.S.; Solomon, M.B.; Rumsey, T.S.; Kahl, S.; Slyter, L.L. *Journal of Animal Science.* **1993**, 71, 1171-1176.
36. Sevi, A.; Casamassima, D.; Tantillo, G.; Muscio, A. *Italian Journal of Food Science.***1997**, 9, 223-230.
37. Lubbadeh, W.; Haddadin, M.S.Y.; Al-Tamini, M.A.; Robinson, R.K. *Meat Science.* **1999**, 52, 381-385.
38. Arsenos, G.; Zygoyannis, D.; Kufidis, D.; Katsaonis, N.; Stamataris, C. *Small Ruminant Research.* **2000**, 36, 275-283.
39. Browing,M.A.; Huffrian,D.L.; Egbert,W.R.; Jungst,S.B. *Journal of Food Science.***1990**, 55, 9-14.
40. Fernandez,C.; Gallego,L.; López,A. *XXI Jornadas Científicas de la SEOC.* **1996**, Logroño(España).
41. Smith,D.R. *Fats and cholesterol reduced food*.(Eds.Haberstroh,C.; Morris,C.E.) Portfolio Publishing,Texas (USA).**1993**.
42. Alasnier,C.; Remignon,H.; Gandemer,G. *Meta Science.* **1996**, 43, 213-224.
43. Buege,D.R.; Ingham,B.H.; Henderson,D.W.; Hentges,E.J. *J. Food Comp. Anal.* **1998**, 11, 249-261.
44. Honikel,K.O.; Armeth,W. *Fleischwirtschajt.* **1996**, 76, 1244-1249.
45. Lewis,P.K.; Rakes,L.K.; Brown,H.G.; Jhonson,Z. *Journal of Muscle Foods.* **1993**, 4, 41-56.
46. Rhee,K.S.; Smith,G.C.; Dutsen,J.R. *Journal of Food Science.* **1988**, 53,969-970.
47. Lorenz,F.W.; Entenmen,C.; Chaikoff,I.L. *J. Biol. Chem.* **1938**, 122, 619-633.
48. Wagner,W.D.; Clarkson,T.B. *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.* **1974**, 145, 1050-1057.
49. Qureshi,A.A.; Din,Z.Z.; Abuirmeileh,N.; Burger, W.C.; Ahmad,Y.; Elson, C.E. *J. Nutr.* **1983**, 113, 1746-1755.
50. Savage,G.; Dutta,P.; Rodriguez-Estrada,M. *J. Clin. Nutr.* **2002**, 11, 72-78.
51. Csallany,A.S.; Kindom,S.E.; Addis,P.B.; Lee,J. *Lipids.***1989**, 24, 645.
52. Lercker,G.; Caboni,M.F.; Capella,P. *Riv. Ital. Sostanze Grasse.* **1993**, 70, 579.
53. Kowale,B.N.; Rao,V.K.; Babu,N.P.; Sharma,N.; Bisht,G.S. *Meat Sci.* **1996**, 43, 195.

Los autores agradecen al Centro de Química de Alimentos y Nutrición Aplicada de ITAL en Campinas-Brasil, por el apoyo en la realización de este trabajo y por la ejecución de los análisis por CG-MS.