

Rev.MVZ Córdoba 16(1):2391-2401, 2011.

ORIGINAL

Detección de metales pesados en bovinos, en los valles de los ríos Sinú y San Jorge, departamento de Córdoba, Colombia

Detection of heavy metals in cattle, in the valleys of the Sinu and San Jorge rivers, department of Cordoba, Colombia

Aura Madero G,^{1*} M.Sc, José Marrugo N,¹ Ph.D.

¹Sistema Estatal de Universidades del Caribe, SUE CARIBE. Maestría en Ciencias Ambientales. Grupo de aguas, Química Aplicada y Ambiental, Universidad de Córdoba, Montería, Colombia.

*Correspondencia: auramadero@hotmail.com

Recibido: Agosto de 2009; Aceptado: Julio de 2010.

RESUMEN

Objetivo. Evaluar la presencia de metales pesados: plomo(Pb), cobre (Cu), cadmio (Cd) y mercurio (Hg) en hígado y músculo pectoral derecho de bovino, procedentes de fincas de la zona del Sinú y San Jorge. **Materiales y métodos.** Se muestrearon bovinos machos, adultos, de raza cebú mestizo, entre 2 a 7 años los cuales fueron sacrificados para consumo humano durante seis meses. Las muestras se analizaron mediante: espectroscopia de absorción atómica, empleando lámparas de cátodo hueco y un quemador de aire acetileno para determinar Cu; vapor frío para la detección de Hg y polarografía para la detección de Cd y Pb. **Resultados.** Se observó que Los rangos de Hg, Cu, Cd y Pb estaban por debajo de los parámetros de referencia de la Comisión Europea y la Norma Oficial Mexicana. En el 4% de las muestras se encontraron niveles de Cu no permisibles para consumo humano. **Conclusiones.** La industria cárnica de la región presenta una gran potencialidad para acceder a mercados internacionales, debido a que el 96% de las reses presentaron niveles de metales por debajo de los límites permisibles de México y Europa. A pesar de que los niveles de mercurio se encuentran en los límites permisibles, la evaluación del riesgo basado en el índice de peligrosidad, sugiere que el consumo diario de 100 gramos de productos cárnicos con niveles de 0.08 ppm, podría incrementar el riesgo de envenenamiento a una persona de 70Kg.

Palabras clave: Metales pesados, bovinos, seguridad alimentaria. (Fuentes: MeSH, AIMS)

ABSTRACT

Objective. To evaluate the presence of heavy metals: lead (Pb), copper (Cu), cadmium (Cd), and mercury (Hg) in the liver and right pectoral muscle veal, from farms located in the Sinu and San Jorge area. **Materials and methods.** Adults, crossbred zebu, male cattle, approximated 2 to 7 years of age were sampled. SAMPLES were taken during a period of six months from animals slaughtered for human consumption. The metals were assessed by atomic absorption spectroscopy, using lights and tasted a hollow air-acetylene burner to determine Cu; cold vapor for the detection of Hg and polarography to detect Cd and Pb. **Results.** The ranges of Hg, Cu, Pb and Cd are below the benchmarks of the European Commission and the Norma Oficial Mexicana. Levels were not permissible for human consumption of Cu in 4% of the samples. **Conclusions.** The meat industry in the region has great potential to access international markets, since 96% of cattle had levels of metals below the permissible limits of Mexico and Europe. While Hg levels are in the permissible limits, risk assessment based on the hazard index suggested that the daily consumption of 100 grams of meat products with levels of 0.08 ppm, might increase the risk of poisoning for a person of 70 kg weight.

Key words: Heavy metals, cattle, food safety. (Sources: MeSH, AIMS)

INTRODUCCIÓN

En Colombia, el departamento de Córdoba se destaca por las actividades agrícolas y ganaderas. El 70% del territorio del departamento, está destinado a actividades de ganadería extensiva (1). Según la Encuesta Nacional Agropecuaria – ENA; para el año 2007 el inventario total de ganado bovino en el departamento de Córdoba es de 2.366.960 reses, distribuidas en una población de 1.526.899 machos y 840.061 hembras (2). Esta población se encuentra localizada en un 95%, en las zonas de la cuenca del río Sinú y la cuenca del río San Jorge, el restante 5% se encuentra ubicada en la cuenca de Canalete y Costanera, según el ordenamiento ambiental departamental realizado por la Corporación Autónoma regional de los valles del Sinú y del San Jorge (CVS) (3,4).

A nivel nacional e internacional se han creado una serie de normas con el fin de que se garantice a través de la cadena de producción, la inocuidad de los productos cárnicos y lácteos. Dentro de esta normatividad cobra un papel destacado el control de los metales pesados en especies bovinas con el fin de mitigar el impacto ambiental e incentivar la producción más limpia, las buenas prácticas ganaderas y la llamada "agricultura orgánica" o

"agricultura limpia" (5,6). Frente al pobre desarrollo de estas alternativas de producción, hay que destacar el apoyo que puede brindar la implementación de estudios científicos en éste campo, entre ellos la detección de metales.

Los metales pesados son especies químicas no degradables. Por tal motivo, una vez arrojados al medio ambiente, sólo pueden distribuirse entre los entornos aire - agua - suelo, a veces cambiando su estado de oxidación, o incorporarse a los seres vivos (7). La presencia de metales pesados en alimentos constituye un tema de actualidad debido a la contaminación de la cadena trófica involucrada y a los daños que ocasionan a la salud pública (8,9).

Estudios de metales que se han realizado en el departamento de Córdoba, relacionados con la detección de niveles de mercurio en especies ícticas de la cuenca del río San Jorge, demuestran que en su mayoría, este metal sobrepasa el umbral estipulado (200 ng/g) para las poblaciones en riesgo establecido por la Organización Mundial de la Salud (OMS) (10), otros estudios evidencian la contaminación con mercurio en plantas, peces y sedimentos en algunos cuerpos de agua en la región de

la Mojana (11,12). En el mismo sentido, se encontraron concentraciones apreciables de mercurio en aguas, plantas, peces y sedimentos de la Ciénaga de Ayapel (13). Las fuentes sugieren que toda la problemática de la contaminación con metales está asociada con las actividades mineras desarrolladas en la principal zona aurífera de Colombia y en la cuenca del Río San Jorge.

El objetivo del presente estudio fue evaluar la contaminación por metales en ganado bovino del Sinú y el San Jorge y establecer el riesgo potencial para la salud humana.

MATERIALES Y MÉTODOS

Selección, recolección y tratamiento de muestras. Para evitar falsos positivos debido a deficiencias en el sistemas de sacrificio, en este estudio, todas las muestras se obtuvieron de reses que llegaron a un frigorífico Clase I, que cumple con los requisitos legales y las disposiciones de los gremios y sectores dedicados a la ganadería en Colombia. 90 muestras se recolectaron durante un periodo de seis meses, entre septiembre del 2008 y marzo del 2009, y como requisito de inclusión de las especies bovinas se tuvo en cuenta:

- Que sean reses con las siguientes características; bovinos adultos, edad promedio 2-7 años, sexo macho, raza cebú mestiza siendo la más común Brahman mestizo por *Bos taurus*.
- Cuyas procedencias sean de las cuencas del río Sinú y del río San Jorge.
- Como grupo control fueron seleccionadas 20 reses que provenían de fincas inscritas en programa de buenas prácticas ganaderas (BPG) del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), este grupo se denominó: BPG de las cuales se tomaron 20 muestras procedentes de 4 fincas.

Para la selección de número de reses a analizar se empleo el método de muestreo aleatorio estratificado (14), seleccionando dos categorías (Sinú y San Jorge), a las cuales se le asignó una proporción igual

teniendo en cuenta que en estas zonas se concentra el 95% del ganado de todo el departamento y la proporción de ganado bovino macho, tanto para la zona del Sinú como la del San Jorge es del 95%. De este modo, e incluyendo el grupo control, se colectaron 90 muestras de musculo pectoral derecho y 90 muestras de hígado, en lotes de cinco reses de 18 fincas (Tabla 1).

Tabla 1. Descripción de las zonas de muestreo.

GRUPOS	Códigos de fincas	Nº reses/finca	Municipio	
Sinú	6	5	Tierralta	
	7	5	San Pelayo	
	11	5	Lorica	
	12	5	Cereté	
	13	5	Cereté	
	17	5	Montería	
San Jorge	18	5	Montería	
	1	5	Ayapel	
	3	5	Ayapel	
	4	5	Buenavista	
	5	5	Buenavista	
	8	5	Montelíbano	
	9	5	Pueblo Nuevo	
	10	5	Ayapel	
	BPG	2	5	Puerto Escondido
		14	5	Montería
15		5	Montería	
16		5	Montería	
Total		90		

En total, se tomaron 180 muestras de 10 a 50 g, las cuales fueron empacadas en bolsas plásticas etiquetadas y congeladas hasta su análisis, para la detección de mercurio (Hg), cobre (Cu), cadmio (Cd) y plomo (Pb).

Geoposición de fincas. De cada res muestreada se registró el número de lote y la fecha de muestreo, nombre de la finca y propietario, con esa información se obtuvo la geoposición en latitud y longitud.

Estos datos fueron transformados mediante el software Geocal y se exportaron a dbf y al Software Arc gis 9.2, de esta manera se corroboró la localización dentro del departamento de Córdoba y se construyó un mapa con la ubicación geográfica de las fincas muestreadas, mostrando la relación de estos puntos con las zonas de alto, medio y bajo riesgo de inundación según los registros publicados por la CVS (3,4).

Dado que es importante establecer si existe alguna relación entre Las zonas inundables, según la ubicación geográfica se clasificaron las fincas en inundable y no inundable. Esto parámetros se evaluaron debido a que en la inundación se producen condiciones de anoxia, las cuales conducen a la formación de ácido de sulfuro volátil (AVS) y la unión de metales que se encuentran en el terreno. Este efecto produce variaciones espaciales temporales en los sedimentos de los ríos y las llanuras de inundación (15).

Detección de mercurio. Se tomaron para el análisis 0.5 g de muestra tanto de musculo como de hígado, las cuales fueron digeridas en una mezcla oxidante de ácido sulfúrico-acido nítrico, a temperatura entre 90 y 100°C por un tiempo máximo de tres horas. Se dejó enfriar, y se adicionó una solución saturada de $KMnO_4$, seguidamente se calentó a la misma temperatura por media hora, se enfrió y se adicionó una solución de cloruro de hidroxilamina al 1.5% para neutralizar el exceso de agente oxidante. A la solución con la muestra digerida, se agregó cloruro de estaño ($SnCl_2$) al 10% para reducir el Hg en su totalidad a su forma elemental, luego se empleó espectroscopia de absorción atómica mediante la técnica de vapor frío adaptada de Sadiq (16) y Environmental Protection Agency (EPA) (17).

Detección de cobre. Se cuantificó por el método de absorción atómica con llama adaptando una digestión de muestra acorde a Hülya (18), previamente validado en el laboratorio con el siguiente procedimiento de digestión y análisis: Se pesaron 0.5 g de muestra de tejido en un erlenmeyer de reacción previamente lavados con una solución 1:1 de HNO_3 , enjuagados con agua desionizada y totalmente secos. Se adicionaron 8.0 ml de una mezcla ácida 6:2 de $HNO_3 - HCl$ y se calentó la mezcla en un baño de agua termostatado a 95°C por 3 horas. Luego de enfriarse, la solución se filtró por una membrana de 0.45 μm , se aforó hasta 25.0 mL con agua acidulada (0.15% de ácido nítrico) y se procedió a su análisis. Se registró el valor de máxima absorbancia de la muestra en el equipo

de absorción atómica (Thermo Electron Corporation, S4-SERIE con flujo de aire-acetileno y corrector de fondo de Deuterio) y se determinó su concentración de Cu utilizando la curva de calibración. Los análisis fueron realizados por duplicado y los resultados se expresaron en $\mu g/g$.

Detección de cadmio y plomo. Estos metales se cuantificaron por el método de voltimetría de redisolución anódica de pulso diferencial adaptando una digestión de muestra acorde a Hülya (18,19), previamente validado en el laboratorio con el siguiente procedimiento de digestión y análisis: Se pesaron 0.5 g de muestra de tejido en un erlenmeyer de reacción previamente lavados con una solución 1:1 de HNO_3 , enjuagados con agua desionizada y totalmente secos. Se adicionaron 8.0 ml de una mezcla ácida 6:2 de $HNO_3 - HCl$ y se calentó la mezcla en un baño de agua termostatado a 95°C por 3 horas. Luego de enfriarse, la solución se filtró por una membrana de 0.45 μm , se aforó hasta 25.0 ml con agua acidulada (0.15% de ácido nítrico), se depositaron 10.0 ml de esta muestra diluida en la celda electroquímica y se adicionaron 2 ml de solución buffer de acetato de sodio-cloruro de sodio. Se registró el valor de intensidad de la muestra en el equipo polarógrafo (Polarógrafo Metrom Procesador 747 con V Stand 746) y determinó su concentración de Cd y Pb utilizando la curva de calibración. Los análisis se realizaron por duplicado y los resultados se expresaron en $\mu g/g$.

Criterios de control de calidad. Se tuvieron en cuenta: linealidad, exactitud, precisión, límite de detección y porcentaje de recuperación. Los límites de detección de los metales fueron: 0.005 $\mu g/g$ para Cd y Pb, 2.0 $\mu g/g$ para Cu y 0.01 $\mu g/g$ para Hg. Simultáneamente se proceso un estándar de tejido IAEA-407 (International Atomic Energy Agency), para determinar el porcentaje de extracción de las muestras y el coeficiente de variación (Tabla 2).

Índice de peligrosidad (HI). El HI se definió como la relación entre el nivel de exposición de una sustancia en particular (E) y una dosis de referencia (RfD) ó

Tabla 2. Análisis del material de referencia (IAEA-407) para comprobación de los métodos analíticos.

Analito	Valor referencia ($\mu\text{g/g}$)	Valor encontrado ($\mu\text{g/g}$)	CV (%)	%R	Método
Cd	0.043 ± 0.008	0.040 ± 0.009	2.2	97.3	ASV
Pb	0.065 ± 0.007	0.070 ± 0.006	1.8	98.7	ASV
Cu	2.34 ± 0.16	2.46 ± 0.13	2.4	96.4	A.A
Hg	4.64 ± 0.26	4.60 ± 0.21	1.1	98.8	CVAS

%CV: Coeficiente de Variación, %R: Porcentaje de recuperación, A.A : Absorción atómica , CVAS: espectrofotometría de absorción atómica de vapor frío, ASV: Voltametría de redisolución anódica (Método polarográfico).

dosis de riesgo mínimo (MRL). El E para el consumo de MeHg se calculó utilizando la fórmula: $E=CxI/W$, donde C es la concentración promedio de MeHg de la especie en consideración. Considerando que el 90% del Hg-T encontrado en las muestras es MeHg, entonces $C=0.90xHg-T$ (20); I es la ingesta diaria de carne ó hígado establecida en 100 g/día; y W es el peso promedio de una persona adulta normal (70 kg). La EPA (Environmental Protection Agency) ha propuesto una RfD para MeHg de 0.0001 mg/kg/día (21), para el Cd 0.001 mg/kg/día (22). En el caso del Pb y Cu, no existen valores de RfD establecidos por la EPA, por lo que se tuvo en cuenta los reportes encontrados en la literatura; de este modo, la RfD para Pb es 0.000357 mg/kg/día (23) y para Cu es 0.01 mg/kg/día (24).

Análisis estadístico. Se realizó un ANOVA bajo un modelo de efectos anidados y prueba least square mean de comparación de medias, para evaluar si existía diferencia entre las zonas y los tipos de terreno. Los datos fueron analizados para comprobar su distribución normal (prueba Shapiro-Wilk) y homogeneidad de varianzas (prueba de Levene). Todos los análisis estadísticos se desarrollaron en el programa SAS (Statistical Analysis System) versión 9.0 y para todos los análisis el criterio de significancia estadística se definió como $p < 0.05$. Los resultados de expresaron en $\mu\text{g/g}$ de peso.

RESULTADOS

Con los datos obtenidos de la posición geográfica de las fincas muestreadas, se elaboró un mapa de su ubicación en el departamento y su relación con las zonas en riesgo de inundación (Figura 1).

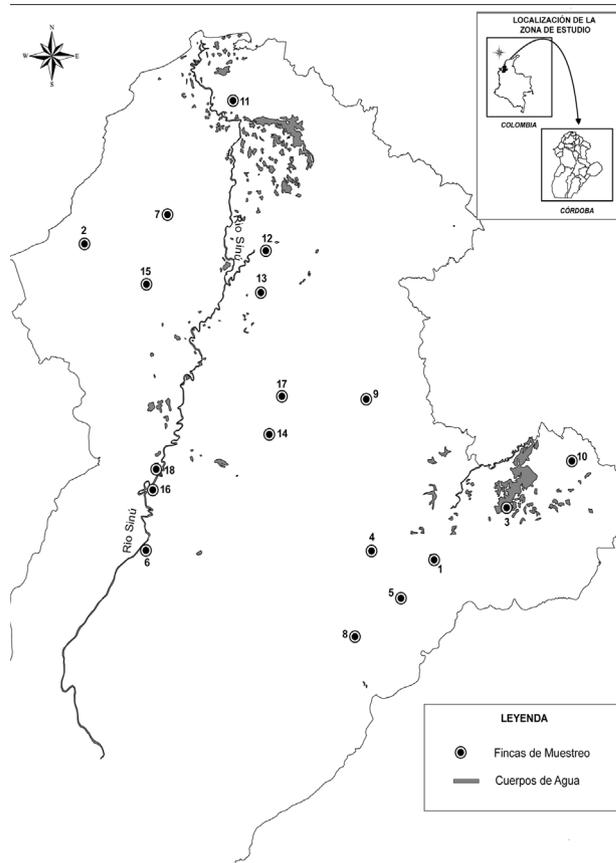


Figura 1. Localización geográfica de las fincas muestreadas.

Las concentraciones medias de Hg, Cd, Pb y Cu para el total de muestras tanto en musculo dorsal como en hígado de bovinos machos, fueron inferiores a los valores de referencia de la Norma Mexicana (25) y la Comisión Europea-CE (26), excepto en dos muestras de musculo (2.2%) y dos de hígado (2.2%), que excedieron estos valores para la concentración de Cu (Tabla 3).

En cuanto a las diferentes zonas muestreadas y tipos de terreno, las mayores concentraciones de Hg tanto en musculo como en hígado se registraron en el San Jorge y las BPG sin diferencias estadísticas

Tabla 3. Concentraciones medias y desviación estándar (M±SD) de metales en musculo dorsal e hígado de bovinos machos, para el total de muestras.

Metal	Tejido	Concentración de metales (µg/g)		NM ^a	CE ^b	NM>L ^c	n
		M±SD	Intervalo				
Hg	Musculo	0.027 ± 0.019	0.008-0.104	0.7	ND	0	90
	Hígado	0.028 ± 0.025	0.003-0.110	1.4	ND	0	90
Cd	Musculo	0.007 ± 0.004	0.001-0.016	2	0.05	0	90
	Hígado	0.011 ± 0.006	0.001-0.026	10	0.5	0	90
Pb	Musculo	0.044 ± 0.022	0.007-0.095	0.5	0.1	0	90
	Hígado	0.059 ± 0.020	0.020-0.098	2	0.5	0	90
Cu	Musculo	0.155 ± 0.499	0.000-2.800	2	ND	2	90
	Hígado	44.23 ± 24.32	0.17-177.30	60	ND	2	90

^a=Limite permisible por la Norma Oficial Mexicana (norma 004-ZOO-1994). ^b=Limite permisible por la Comisión Europea (Nº466/2001). ^c=Número de muestras que excedieron el limite permisible por las normas descritas arriba

significativas entre ellas ($p>0.05$), pero estadísticamente diferentes a la zona del Sinú ($p<0.05$). La mayor concentración de Cu en hígado se registró en el San Jorge con diferencias significativas respecto al Sinú y las BPG (<0.05); no se encontraron diferencias estadísticas significativas en las concentraciones de Cu en musculo, ni de Cd y Pb en musculo e hígado entre las diferentes zonas de muestreo (Tabla 4). Igualmente no se registraron diferencias estadísticas significativas en las concentraciones de Hg,

Tabla 4. Comparación de las concentraciones de metales en musculo dorsal (M) e hígado (H) de bovinos machos, entre zonas de muestreo (Sinú y San Jorge) y entre tipos de terrenos (inundables y no inundables). Letras diferentes entre columnas muestran diferencias estadísticas significativas ($p<0.05$).

Zona	Concentración de metales (µg/g)							
	Hg		Cu		Cd		Pb	
	M	H	M	H	M	H	M	H
Sinú	0.016±0.004 ^b	0.015±0.007 ^b	2.00±0.01 ^a	15.340±11.816 ^{ab}	0.007±0.004 ^a	0.011±0.006 ^a	0.046±0.022 ^a	0.063±0.022 ^a
San Jorge	0.034±0.027 ^a	0.038±0.032 ^a	2.01±0.18 ^a	35.651±31.622 ^a	0.006±0.003 ^a	0.009±0.005 ^a	0.039±0.021 ^a	0.054±0.022 ^a
BPG	0.031±0.021 ^a	0.034±0.020 ^a	2.00±0.01 ^a	10.280±12.758 ^b	0.009±0.004 ^a	0.014±0.007 ^a	0.050±0.025 ^a	0.060±0.013 ^a
Tipo de terreno								
I ^c	0.029±0.022 ^a	0.032±0.028 ^b	2.01±0.18 ^a	22.301±29.808 ^a	0.007±0.004 ^a	0.010±0.006 ^a	0.043±0.020 ^a	0.059±0.023 ^a
NI ^d	0.024±0.021 ^a	0.026±0.022 ^b	2.00±0.01 ^a	21.995±20.388 ^a	0.007±0.004 ^a	0.011±0.006 ^a	0.045±0.024 ^a	0.060±0.019 ^a

^c=inundable, ^d=No inundable

Cu, Cd y Pb en musculo e hígado entre los tipos de terrenos (Tabla 4). En todos los casos, las concentraciones de todos los metales evaluados fueron inferiores a los valores de referencia de la norma mexicana y de la CE, excepto para las concentraciones de Cu en musculo que estuvieron en el límite de la norma, tanto en las diferentes zonas y tipos de terreno.

Se registraron correlaciones positivas significativas entre las concentraciones de Cd y Hg en musculo e hígado, en las diferentes zonas y tipos de terreno, excepto para las concentraciones de Hg en la zona del Sinú (Tabla 5). No se registraron correlaciones significativas entre las concentraciones de Cu y Pb en musculo e hígado en las diferentes zonas y tipos de terreno, excepto para las concentraciones de Pb en el terreno inundable (Tabla 5).

Tabla 5. Coeficiente de correlación lineal para el contenido de metales entre músculo e hígado.

Metal	Zona			Tipo terreno		General
	Sinú	San Jorge	BPG	Inundable	No inundable	
Hg	0.17 ns	0.89 ***	0.83 ***	0.88 ***	0.89 ***	0.88 ***
Cu		0.01 ns		0.04 ns		0.03 ns
Cd	0.99 ***	0.97 ***	0.99 ***	0.99 ***	0.98 ***	0.99 ***
Pb	0.24 ns	0.27 ns	0.16 ns	0.42 *	0.14 ns	0.25 *

ns=No significativa ($p>0.05$), *=Significativa ($p<0.05$), ***=Altamente significativa ($p<0.01$).

La tabla 6, presenta el análisis de correlación lineal entre los contenidos de metales en todas las muestras en forma independiente para musculo e hígado. Los resultados muestran una positiva significativa entre las concentraciones de Cd y Pb tanto en musculo como en hígado. Los demás metales no se correlacionaron entre sí.

Tabla 6. Coeficiente de correlación lineal para el contenido de metales en general.

Metal	Musculo			Hígado		
	Hg	Cu	Cd	Hg	Cu	Cd
Cu	-0.03 ns			-0.04 ns		
Cd	-0.12 ns	0.12 ns		-0.10 ns	-0.11 ns	
Pb	-0.12 ns	0.12 ns	0.95 **	-0.18 ns	-0.08 ns	0.22 *

ns=No significativa ($p>0.05$), *=Significativa ($p<0.05$), **=Altamente significativa ($p<0.01$)

El HI, excedió la unidad (valor crítico) para el consumo diario de 100 g tanto de musculo como de hígado con las concentraciones de Hg descritas en este estudio, y también para el consumo diario de 100 g de musculo con las concentraciones de Cu descritas en este estudio (Tabla 7).

Tabla 7. Valores de Índice de Peligrosidad (HI) estimados para un consumo diario de 100 g (musculo e hígado) para el total de muestras.

METAL	HIGADO		MUSCULO	
	Intervalo (min-max)	HI	Intervalo (min-max)	HI
Hg	0.008-0.104	0.103-1.337	0.003-0.110	0.038-1.28
Cd	0.001-0.016	0.001-0.023	0.001-0.026	0.001-0.037
Pb	0.007-0.095	0.028-0.380	0.020-0.098	0.080-0.392
Cu	0.000-2.800	0.000-0.400	0.170-177.3	0.024-25.33

DISCUSIÓN

Las concentraciones hepáticas de metales pesados en ganado bovino también han sido evaluadas por otros investigadores. Para el Pb, (27) registró 0.00–0.26 mg/kg; (28), 15.30±1.14 mg/kg (29), no detectables (ND)–411 µg/kg para zonas industriales y ND–174 µg/kg para zonas rurales (como es el caso del presente estudio); (30), ND–509 µg/kg (31), 0.09–7.32 mg/kg. Las concentraciones hepáticas de Pb registradas en este estudio (0.020–0.098 µg/g), encajan dentro de los valores antes descritos, excepto con los de Liu (28), los cuales son marcadamente superiores.

Los niveles hepáticos de Cd reportados en los estudios citados, variaron entre 3.39–131 µg/kg para zonas industriales y 6.43–221 µg/kg para zonas rurales (29); ND–85.5 µg/kg (30); 0.03–0.13 mg/kg (27); 7.92±2.36 mg/kg (28); 0.001–0.02 mg/kg (31). Estas concentraciones son similares a la reportadas en este estudio (0.001–0.026 µg Cd/g), excepto por los mayores valores de Liu (28).

Los niveles hepáticos de Cu reportados por estos mismo autores variaron entre 1.86–137 mg/kg para zonas industriales y 2.28–139 mg/kg para zonas rurales (29); 3.72–38 mg/kg (30); 0.46–4.89 mg/kg (27); 284.1±35.9 µg/kg (28); 0.03–2.20 mg/kg (31). Las concentraciones de Cu (0.17–177.30 µg/g) reportadas en este estudio en hígado de bovinos, están igualmente en acuerdo con los reportes descritos, destacando las diferencias con el valor registrado por Liu (28).

La tabla 8 presenta los valores hepáticos considerados tóxicos, para Cd, Pb y Cu. En general, las concentraciones hepáticas de estos metales registradas en el presente estudio, fueron inferiores a estos valores,

Tabla 8. Concentraciones de metales consideradas tóxicas en hígado de ganado. Datos tomados de la revisión de Reis et al (32).

Metal	Concentración (ppm)	Referencia
Cd	50 - 160	Suttle, 2001
Pb	oct-20	Radostits, 2007
Cu	1905 maximo	Radostits, 2007

lo cual estaría indicando que no hay efectos tóxicos de los mismos que afecten la salud del ganado en las zonas evaluadas. Sin embargo, se debe resaltar que la exposición crónica a estos elementos en concentraciones relativamente menores que los niveles tóxicos, pueden generar a largo plazo, algunas alteraciones en la condición de salud del ganado (32).

Las concentraciones de Hg tanto en musculo (0.008–0.104 µg/g) como en hígado (0.003–0.110 µg/g) registradas en el presente estudio, son superiores a las registradas por otros autores en musculo (ND–4.69 µg/kg) e hígado (ND–26.4 µg/kg) (33). Con relación a la alimentación bovina lo ideal es que no se detecte elementos tóxicos como el Hg y Pb; sin embargo, a pesar de que el departamento de Córdoba no ha sido impactado fuertemente por la industrialización, se detectaron niveles de Hg y Pb. Esta situación debe ser atendida con mayor atención para evitar el incremento de estos metales en el ganado y su potencial riesgo para la salud humana por consumo de productos cárnicos.

Respecto a las concentraciones de los elementos esenciales Cu y Cd, algunos autores han señalado que síntomas de deficiencia por Cu aparecerían cuando los valores hepáticos llegan a ser menores o iguales a 20 ppm y los síntomas por intoxicación se presentan cuando los valores son mayores de 50 ppm (34). En este estudio se encontró que en el 40% de las reses (36 reses) presentaron deficiencias en Cu, las cuales se distribuyeron entre las diferentes zonas así: 27% en la zona del Sinú, 9% en la zona del San Jorge y 4% en fincas con BPG. Es decir, en la zona del San Jorge, se encuentra el mayor número de reses con concentraciones mayores de 20 y menores de 50 ppm, lo que sugiere que para algunas fincas de estas zonas no es necesaria la suplementación con Cu. Se debe resaltar que altos niveles de Cu (177.3 y 113.1 ppm) en el hígado, registrados en fincas del San Jorge, fueron considerados atípicos y pueden deberse a casos puntuales y aislados de contaminación, los cuales no son representativos de los lotes muestreados por finca.

De otro lado, las fuertes correlaciones entre las concentraciones de Pb y Cd a nivel hepático y muscular, denotan una acción sinérgica entre estos dos metales, que puede ir desde un efecto acumulativo a nivel hepático sin presencia de manifestaciones clínicas en el animal (asintomático), hasta crisis agudas y muerte, con los respectivos riesgos en la salud pública que puede ocasionar (35). Afortunadamente en este estudio, las concentraciones de Pb y Cd fueron menores de 3 y 0.27 ppm respectivamente, lo que reflejan mínimos grados de contaminación para bovinos clínicamente sanos criados en forma extensiva (36) y son como se expuso anteriormente, son inferiores a las concentraciones consideradas tóxicas a nivel hepático (Tabla 8).

En cuanto a los efectos de la acumulación de los metales evaluados en la salud humana, el alto valor de HI (25.33) para el consumo de hígado con las concentraciones máximas de Cu registradas en este estudio, denotan posibles repercusiones en la salud humana, aumentando el riesgo de sufrir de cáncer por bioacumulación de este metal. Las recomendaciones nutricionales para el consumo de Cu en humanos oscilan entre 1.5 y 3 mg/día dependiendo del individuo. Así, haciendo una estimación del consumo de hígado de bovinos con concentraciones de Cu de 75 ppm (base seca), todo el requerimiento diario de Cu de una persona podría ser cubierto mediante la ingestión de sólo 40 g de este hígado (en base seca) (5). Desde este punto de vista, no sería aconsejable el consumo diario de hígado con las concentraciones máximas Cu registrada en este estudio. Sin embargo, es conveniente recordar que solo dos muestras excedieron los límites permisibles por la NOM (Tabla 3).

Aunque todas las muestras evaluadas mostraron niveles permisibles de mercurio, El HI estimado para el consumo tanto de musculo como de hígado con las concentraciones máximas de Hg registradas en este estudio, muestra un riesgo ligeramente incrementado para la salud de las personas (Tabla 7). Sin embargo, al igual que para el Cu, se debe resaltar

que esta situación solo se presenta para los máximos valores registrados (entre 0.008 y 0.11 $\mu\text{g/g}$ que representan el 6% de las muestras), por tanto los valores promedios de concentración de Hg no representan riesgo para la salud huma.

En general, aunque en bajos niveles, es evidente la presencia de metales tóxicos como el Pb y Hg en ganado bovino de las zonas del Sinú y San Jorge; por tanto, para evitar que estos se incrementen, y mantener controlados los niveles de los metales esenciales, se sugiere que las autoridades ambientales y de salud junto con el gremio de los ganaderos y el ICA, deberían evaluar el riesgo por metales al implementar las buenas prácticas ganaderas. Para ello es aconsejable iniciar con el diagnóstico del grado de contaminación por finca, luego establecer los puntos críticos de contaminación e implementar medidas preventivas.

La industria cárnica en el departamento de Córdoba, posee un gran potencial para acceder a los mercados de México y Europa, dado que el 96% de las reses presentaron niveles de metales por debajo de los límites permisibles de estos países; por tanto, en lo que respecta a los metales evaluados, la carne es apta para consumo humano.

Finalmente, con este estudio se evidenció el papel de las especies bovinas como biomonitor de la contaminación por metales en la cadena productiva, en donde un ambiente contaminado, unido a deficiencias en las buenas prácticas ganaderas con lleva a la alteración de los productos cárnicos los cuales repercuten en la salud humana.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la empresa Frigosinú S.A, por el apoyo logístico para la realización del muestreo, y a la Universidad de Córdoba por el apoyo financiero del estudio.

REFERENCIAS

1. CVS. Corporación Autónoma regional de los valles del Sinú y San Jorge, Centro Nacional de Producción más limpia. Diagnóstico regional de producción más limpia. Montería, Colombia: CVS; 2006.
2. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. República de Colombia. Encuesta nacional Agropecuaria -ENA. [en línea] 2008. [Consultado mayo 20 del 2008]. URL disponible en: http://www.agronet.gov.co/www/docs_agronet/20095694411_ENA_2008.pdf.
3. CVS. Corporación Autónoma regional de los valles del Sinú y San Jorge. Diagnóstico Ambiental de la cuenca hidrográfica del río Sinú. Montería, Colombia: CVS; 2004.
4. CVS. Corporación Autónoma regional de los valles del Sinú y San Jorge. Diagnóstico Ambiental de la cuenca hidrográfica del río San Jorge. Montería, Colombia: CVS; 2005.
5. Alcocer V. M, Castellanos A, Herrera Francisco, Chel L. y Betancur D. Detección de metales pesados y dicloro difenil triclor etano en músculos y órganos de bovinos en Yucatan. Tec Pecu Mex 2007; 45(2): 237-247
6. Pulido JI. Guía para la implementación de las buenas prácticas ganaderas. Colombia: CORPOICA, Ministerio de Agricultura y Desarrollo; 2007.

7. Vullo D. Microorganismos y metales pesados: una interacción en beneficio del medio ambiente. [Revista electrónica] Química Viva 2003; 2(3). [Consultado octubre 29 del 2008]. URL disponible en: <http://www.quimicaviva.qb.fcen.uba.ar/Actualizaciones/metales/metales>
8. Mubbasher Sabyr S, Waheed K and Hayat I. Effect of environmental pollution on quality of meat in district Bagh, Azad Kashmir. Pakistan J ourl of Nutr 2003; 2(2):98-101.
9. Rodríguez H, Sánchez E, Rodríguez M, Vidales J A., Acuña K A., Martínez Gavo y Rodríguez J. Metales pesados en leche cruda de bovino. México. [Revista electrónica] Salud Pública y Nutrición. 2005; 6(4). [Consultado octubre 15 del 2008]. URL disponible en: <Http://www.respyn.uanl.mx/vi/4/articulos/metales>.
10. Marrugo J, Olivero J, Lans E, Benítez L. Total mercury and methylmercury concentrations in fish from the Mojana region of Colombia. Environ Geochem Health 2007; 3.
11. Olivero J, Jhonson B, Arguello E. Human exposure to mercury due to fish consumption in San Jorge river basin, Colombia (South America). Sci Total Environm 2002; 289:41- 47.
12. Olivero J, Johnson B, Mendoza C, Paz R, Olivero R. Mercury in the aquatic environment of The Village of Caimito at The Mojana Region, North of Colombia. Water Air Soil Pollut 2004; 159:409-420.
13. Marrugo J. y Lans E. Impacto ambiental por contaminación con níquel, mercurio y cadmio en aguas, peces y sedimentos en la cuenca del río San Jorge, en el departamento de Córdoba. [Internet] 2006. [Consultado junio 21 del 2008]. URL disponible en: <http://academico.unicordoba.edu.co:8080/dspace/bitstream/123456789/407/1/Informe+Final.pdf>.
14. Portella J, Villeta, M. Muestreo Estadístico. Teoría y Ejemplos. Madrid: Ed CERSA; 2007; 125 -300.
15. Poot A, Gillissen F, Koelmans A.A. Effects of flow regime and flooding on heavy metal availability in sediment and soil of a dynamic river system. Environm Pollu 2007; 148:779-787.
16. Sadiq M, Zaidi T, Al-Mohana M. Sample weight and digestion temperature as critical factors in mercury determination in fish. Bull Environ Contam Toxicol 1991; 47:335-341.
17. EPA. Environmental protection Agency. Methods 245.1, 245.5 and 245.6 for determination of mercury. Cincinnati. Ohio (USA): EPA; 1994.
18. Hülya K. A and Erhan Ü. Heavy Metal Concentrations in Water, Sediment, Fish and Some Benthic Organisms from Tigris River, Turkey. Environ Monit Assess 2007; 131:323-337.
19. Skoog D.A, Holler F.J, West D.M y Crouch S.R. Métodos polarográficos y voltamétricos de impulsos. Fundamentos de Química Analítica. Octava Edición. Mexico: Thomson. 2005.
20. Marrugo J., Lans E., Benítez L. Hallazgo de mercurio en peces de la ciénaga de Ayapel, Córdoba, Colombia. Rev MVZ Córdoba 2007; 12(1):878-886.
21. EPA. Environmental protection Agency. CASRN 22967-92-6. Methylmercury. [Internet] 1997. [Consultado julio 22 del 2009]. URL disponible en: http://cfpub.epa.gov/ncea/iris/index.cfm?fuseaction=iris.showQuickView&substance_nmbr=0073#reforal.
22. EPA. Environmental protection Agency. CASRN - 7440-43-9 cadmio. [Internet] 1994. [Consultado julio 22 del 2009]. URL disponible en: <http://www.epa.gov/iris/subst/0141.htm>.

23. Health Canada. Health based tolerable daily intakes/concentrations and tumorigenic doses/concentrations for priority substances. Canada, Ottawa: Minister of Supply and services; 1996.
24. ATSDR. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Minimal Risk Levels (MRLs) for Hazardous Substances. [Internet] 2008. [Consultado julio 22 del 2009]. URL disponible en: <http://www.atsdr.cdc.gov>.
25. Norma Oficial Mexicana. NOM (Norma Oficial Mexicana) 004-ZOO-1994. Grasa, hígado, musculo y riñones en aves, bovinos, caprinos, cérvidos, equinos, ovinos y porcinos. Residuos tóxicos. Límite máximo permisible y procedimiento de muestreo. Mexico; Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación; 1994.
26. Reglamento (CE) 1881/2006 DE LA COMISIÓN de 19 de diciembre de 2006 por el que se fija el contenido máximo de determinados contaminantes en los productos alimenticios. Diario Oficial de la Unión Europea; 2006.
27. Iwegbue CMA. Heavy metal composition of livers and kidneys of cattle from Southern Nigeria. *Vet Arch* 2008; 78:401-410.
28. Liu ZP. Lead poisoning combined cadmium in sheep and horses in the vicinity of non-ferrous metal smelters. *Sci Total Environ* 2003; 309:117-126.
29. Miranda M, Lopez-Alonso M, Castillo C, Hernandez J, Benedito JL. Effects of moderate pollution on toxic and trace metal level in calves from a polluted area of Norther Spain. *Environ Int* 2005; 31:543-548.
30. Blanco-Penedo I, Cruz JM, Lopez-Alonso M, Miranda M, Castillo C et al. Influence of copper status on the accumulation of toxic and essential metals in cattle. *Environ Int* 2006; 32:901-906.
31. Nwude DO, Okoye PAC, Babayemi JO. Assessment of heavy metal concentrations in the liver of cattle slaughter during three different seasons. *Res J Environ Sci* 2011; 5(3):288-294.
32. Reis LSL, Pardo PE, Camargos AS, Oba E. Mineral element and heavy metal poisoning in animals. *J Med Med Sci* 2010; 1 (12):560-579.
33. Lopez-Alonso M, Benedito JL, Miranda M, Castillo C, Hernández J, Shore RF. Mercury concentration in cattle of NW Spain. *Sci Total Environ* 2003; 302:93-100.
34. BOILA R.J, DEVLIN R.A, DRYSDALE L.E. The severity of hypocupremia in selected hers of beef cattle in north Western Manitoba. *Can J Anim Sci* 1984; 64:919-936.
35. Castillo, Mayela; Padilla, Adriana; Suniaga, José; Betancourt, Arquimedes y Marcano, Enid.. Análisis de la Lemna sp. Del lago de Maracaibo para su eventual utilización en la alimentación de rumiantes. *Agricultura andina*. 2005; 10:3-8. [Consultado 12 de Noviembre de 2009]. URL disponible en: http://ecotropicos.saber.ula.ve/db/ssaber/Edocs/pubelectronicas/agricultura_andina/vol10/articulo1.pdf.
36. Palavicino H, Meléndez R, Bergqvist A, Gálvez L. Determinación de metales pesados (Cu,Mo,Zn,Cd,Pb) en hígados de bovinos procedentes de la Región Metropolitana y VI,VII,VIII,IX,X y XI Regiones de Chile. [Revista Internet] 1991. *Avances de Medicina Veterinaria*. 1991; 6(1). [Consultado julio 22 del 2009]. URL disponible en: http://www.avancesveterinaria.uchile.cl/CDA/avan_vet_completa/0,1424,SCID%253D9648%2526ISID%253D472,00.html.