

Elementos Químicos Determinados por Análisis del Cabello en Muestras de Pacientes de Varias Poblaciones Venezolanas desde 1991 a 2011

Lorena Benarroch, 1 Vinicio Revelant Hospital de Clínicas Caracas anexo. Consultorio 906. San Bernardino. Caracas.

2Laboratorio Biotecnoquímica, calle 11 Edf. Biotecnoquímica La Urbina. Caracas. Venezuela. Correspondencia: drlorena@hotmail.com, viniciorevelant@gmail.com

Resumen Se muestran los datos recopilados de 316 pacientes entre los años 1991 a 2011, de análisis de minerales en el cabello (AMC) en diferentes ciudades de Venezuela; de pacientes los cuales se intentó determinar deficiencia o exceso de elementos químicos y evaluar los niveles de elementos tóxicos. El AMC es un método que revela la concentración de elementos en un período de meses, de acuerdo al crecimiento del cabello, a diferencia de la sangre o la orina que revela un perfil de horas o días de exposición. No obstante, para la evaluación en toxicología se toman los análisis de orina de algunos elementos por ser estos mejor estudiados. Los resultados presentados de AMC ilustran el comportamiento de algunos elementos en los individuos en los años y zonas geográficas estudiadas. Se observa decrecimiento de la concentración de los siguientes elementos con, respecto de los años transcurridos: Yodo (de valores medios de $2,55 \pm 0,35$ ppm a $1,21$ en 2010 y $1,96$ en 2011), Litio (de valores medios de $0,0126 \pm 0,001$ ppm a $0,0057$ en 2011), Plomo (de valores medios de $7,05 \pm 0,56$ ppm a $2,28$ en 2010 y $1,62$ en 2011). El elemento Uranio en las muestras de cabello revela una mayor proporción en los individuos de la región insular (Porlamar, Isla de Margarita). También se observa distribución no homogénea en zonas de Venezuela del elemento Selenio, más elevado en Los Andes. El Mercurio se encontró más elevado en los resultados provenientes de la ciudad de Tucupita (Delta Amacuro). Los datos están organizados con relación a las zonas o ciudades de Venezuela, e independientemente con relación a los años en que se practicó el análisis. Los elementos reportados en este trabajo son elementos nutrientes: Yodo, Litio y Selenio; y los elementos tóxicos: Plomo, Aluminio, Uranio y Arsénico.

PALABRAS CLAVE: Elementos minerales, Cabello, Yodo, Litio, Selenio, Plomo, Aluminio, Uranio.

Abstract

CHEMICAL ELEMENTS ASSAYED IN HAIR SAMPLES FROM VENEZUELAN SUBJECTS BETWEEN 1991-2011

We present data from hair samples collected from 316 subjects for chemical elements analysis (CEA), obtained between years 1991 to 2011 in different cities of Venezuela. The objective was to determine the presence of some deficiency or excess of essential elements and to assess the levels of some toxic elements. The CEA is a method that shows the concentration of elements in a period of months, according to hair growth, because blood or urine samples only shows a profile of hours or days of exposure to a substance. For acute toxicological effects urine tests are more suitable. The findings obtained with CEA show the concentration of some chemical elements in healthy subjects and patients over the years and geographical areas studied. We observed a year time decrease of the concentration of Iodine element (mean values of 2.55 ± 0.35 ppm to 1.21 in 2010 and 1.96 in 2011), lithium (mean values of 0.0126 ± 0.001 ppm to 0.0057 in 2011), Lead (mean values of 7.05 ± 0.56 ppm to 2.28 in 2010 and 1.62 in 2011). Uranium in hair samples revealed a higher proportion in subjects of the insular region (Porlamar, Margarita's Island). Also shown is the nonhomogeneous distribution of selenium in several areas of Venezuela, which was higher in the Andes region. Mercury was found higher in Tucupita City (Delta Amacuro). The items reported are nutrients elements as iodine, lithium and selenium; and toxic elements as lead, aluminum, uranium and arsenic.

KEY WORDS: Mineral elements, Hair, Iodine, Lithium, Selenium, Lead, Aluminium, Uranium.

Introducción El análisis de minerales en el cabello (AMC) es un análisis de los elementos químicos que componen el tejido capilar que tiene potencial para revelar información retrospectiva sobre los niveles de exposición a elementos nutrientes y tóxicos de un individuo. Como los elementos son incorporados de forma permanente en el cabello durante el proceso de crecimiento, se considera un tejido excretor y no funcional.^{1,2,3,4} Los datos obtenidos de esta manera pueden ser

comparados con datos de personas sanas e inferir posibles intoxicaciones, deficiencias o excesos.^{1,2, 3,4,5,6} La concentración de elementos tóxicos puede estar desde 200 hasta 300 veces más concentrada en el cabello que en la sangre o la orina. Por lo tanto, el cabello es el tejido de elección para la detección de la exposición a elementos como el arsénico, aluminio, cadmio, plomo, antimonio y mercurio, incluso en personas fallecidas.⁵ Hay otros análisis para determinar elementos químicos en seres vivos como el análisis de sangre completa, suero, orina y heces.⁵ El análisis en sangre o suero representa un perfil del momento de la toma de la muestra, el cual puede variar con las horas, dependiendo de la cinética del alimento o medicamento que consumió el paciente. Chr(10) El análisis en orina o heces es un perfil de unas horas; es lo excretado, muy útil en determinación de toxicidad de elementos o disturbios metabólicos. Chr(10) El análisis en cabello representa un perfil de la condición y exposición del individuo en determinados rangos de tiempo, por lo general 2,5 cm de cabello, en promedio, crece en dos meses. Chr(10) El método de AMC se reportó por vez primera vez en 1857, para determinar arsénico en el cabello de un cadáver de 11 años de antigüedad⁷ y ha revelado ser un buen indicador de la presencia de elementos tóxicos.⁸ Es común el uso del AMC para determinar perfiles de elementos, como se ha hecho recientemente en Pakistán,^{9,10} en los Emiratos Árabes,¹¹ en jóvenes españoles,¹² también para determinar perfil de toxicidad en Ciudad de México,¹³ en Marruecos,¹⁴ para determinar un perfil de referencia de elementos traza en niños de Palermo, Italia;¹⁵ para determinar la influencia de medicamentos comunes y hábitos alimenticios en los niveles de elementos,¹⁶ para buscar alguna relación de toxicidad entre madre e hijos en los primeros meses de la vida;¹⁷ y para la determinación de la exposición a elementos contaminantes en el ambiente de trabajo.^{18,19,20,21} También son usados los resultados del AMC para la búsqueda de su relación con alguna patología, por ejemplo con tumores malignos y benignos,²² con diabetes mellitus,²³ en pacientes infartados,²⁴ e incluso su relación con el rendimiento académico²⁵ y la violencia; esta última en individuos en quienes se han determinado ciertos elementos individuales como el Litio por AMC.²⁶ La confiabilidad del AMC para determinar elementos tóxicos es mayor que para elementos nutrientes, porque los primeros no son necesarios para el funcionamiento metabólico y aparecen en el cabello en cantidad proporcional a la que posee el individuo.⁴ Cuando se evalúan elementos nutrientes en un paciente hay discrepancias en cuanto a la confiabilidad del AMC, ya que la deficiencia de algunos nutrientes puede hacer que el cabello crezca más lentamente y por ende concentre los minerales.⁴ El AMC puede utilizar el cabello o el vello púbico, sin embargo, la velocidad de crecimiento y estructura varía

ligeramente, pero no son diferencias significativas para una estimación de la presencia de elementos tóxicos o deficiencia de elementos nutrientes.² El análisis se realiza tomando una muestra de cabello que ha crecido recientemente, sin tratamientos de tinte o decoloración, una vez retirada la muestra de cabello se envía al laboratorio que la analiza y emite un reporte comparando los datos de concentración contra los de referencia; esto constituye un indicio para solicitar análisis de elementos tóxicos específicos, para confirmar una intoxicación, o para la interpretación de las relaciones de elementos nutrientes.

Pacientes y Métodos **S**e incluyó un grupo de 316 pacientes entre 1 - 86 de edad (promedio $31,06 \pm 1,28$) de diferentes ciudades de Venezuela (Tabla 1). Se les realizó una prueba de análisis de minerales en cabello, mediante la técnica del laboratorio Doctor's Data de Chicago, Illinois, EE.UU. entre los años 1991 y 2011. Cada análisis de minerales en el cabello fue solicitado por el médico tratante, el mismo médico o el personal entrenado retiraba la muestra del paciente para el envío y su análisis, luego recibía los resultados con la interpretación correspondiente para ser comparado con las cifras de referencia.^{1,2,4,5,6} Dependiendo de los datos obtenidos, en algunos casos se requerían otros análisis como la concentración de Plomo en orina para confirmar intoxicación por este elemento. De todos los análisis practicados, se excluyeron los pacientes con intoxicación de elementos tóxicos confirmada y de igual forma en los pacientes que recibían tratamiento con sales de Litio. Todos los pacientes estaban en consulta por alguna patología, capaz de afectar el metabolismo de los elementos nutrientes, particularmente Sodio, Potasio, Cobre, Zinc, Manganeso, Calcio, Fósforo, Molibdeno y Cobalto; razón por la cual, estos elementos no se incluyeron en el presente estudio.^{5,6} Por otra parte, los elementos tóxicos reportados son poco influenciados por patologías y si lo son por el entorno ambiental y nutricional.^{5,7,8} Los pacientes otorgaron su consentimiento escrito para esta investigación científica, sin revelar su identidad.

Materiales y métodos **E**l manejo de la muestra consistió en retirar un mínimo de 0,25 g cabello de la nuca o del vello público. Se tomó solo el cabello de 2,5 cm de largo, medido desde el cuero cabelludo, lo que representa en términos generales el crecimiento de cabello de uno a dos meses. La muestra se lavó con una solución 1:200 v/v de Triton X-100 y a continuación fue lavada tres veces con agua desionizada (18 M) y dos veces con acetona. Se secó en horno a $75 \pm 5^{\circ}\text{C}$. De la muestra lavada

y seca se tomaron 0,20 g pesados con balanza de exactitud 0,0001 g y luego fueron colocados en un tubo de polipropileno de 50 mL con tapa, la muestra fue disuelta con 3 mL de ácido nítrico concentrado (grado: libre de trazas de metales) y digerido usando un microondas de flujo MDS2000 o MDS2100 (SpectroPrep.CEM Corporation, Matthews, NC). Las muestras antes de 1998 se analizaron por método a presión atmosférica y luego de esa fecha el método fue variado a envase cerrado (APLTM).²⁷ Después de la digestión, la muestra fue enfriada y llevada a 50 mL con agua desionizada de 18 M. Todas las determinaciones se realizaron con un espectrofotómetro de masa con acoplamiento inductivo (IPC-MS) (Elan 5000, Perkin-Elmer, Norwalk, CT) usando un sistema de captación e inyección de muestra FIAS 400, Perkin-Elmer).²⁷ Los resultados se reportaron en de $\mu\text{g/g}$ de cabello (ppm) de 32 elementos entre tóxicos y nutrientes, el análisis se realizó una sola vez por cada muestra. El resultado fue comparado con la media ponderada de una población sana de referencia de estos elementos para establecer si hay niveles elevados en los 11 elementos tóxicos o si son elevados o bajos en los 21 elementos nutrientes, estas cifras de referencia son de la población ponderada de Estados Unidos.^{2,4,5,6} No se realizó el análisis en pacientes con aplicación de permanente o con cabello descolorado o pigmentado con tinte, en esos casos se esperaron dos meses sin tratamiento de descoloración o tinte en el cabello para tomar la muestra. Los gráficos y cálculos estadísticos fueron realizados con ayuda del programa Microsoft Office Excel 2003.

Resultados El estudio estándar de AMC determina 32 elementos. En el presente trabajo se reportan solo los datos de los siguientes elementos: Yodo, Litio, Selenio, Plomo, Aluminio, Arsénico, Uranio y Mercurio, siendo los últimos 5 considerados elementos tóxicos. Las zonas geográficas se citan de acuerdo a la data disponible y no a la región completa, a las ciudades que componen las zonas. El número de sujetos aparece en la Tabla 1. La cantidad de datos no es uniforme en todas las zonas de Venezuela. En la Tabla 2 se reportan por sexo y años de toma de la muestra, con sus respectivos porcentajes. En la Tabla 3 se reportan los promedios obtenidos en total y por año respecto a cada elemento con el error estándar, desviación estándar (DS) y el valor de referencia con cual se compara.⁴ En las Figuras 1-15 se presentan los cambios en concentración del elemento en relación con los años estudiados; se reportan los datos de los niveles mínimos y máximos, los cuales son una referencia de los valores de personas sanas en los Estados Unidos.^{1,4} Los elementos tóxicos no tienen un valor mínimo, por lo tanto no se grafica el valor "0" para referencia mínima, el valor máximo corresponde a la primera desviación estandar (68%), por

tanto no tiene significado de toxicidad clínica ya que es un valor epidemiológico.

Discusión Yodo La Figura 1 revela la tendencia variable del Yodo en la población, con picos entre los años 1995 a 1997 y luego entre 2001 y 2002. Esto puede deberse al aporte que recibe la población con la yodación de la sal, ²⁸ (Decreto 657 de 1966, yodación de la sal para consumo humano y animal). Al comparar el valor promedio obtenido de 2,55 +/- 0,35 ppm con respecto al de referencia entre 0,25 y 1,8 ppm, hay que considerar que la referencia es de la población de Estados Unidos donde no es obligatoria la yodación de la sal. **Litio** El Litio en la Figura 2 muestra una disminución en concentración desde 1991. Este elemento nutriente se encuentra en la sal común y alimentos del mar, en un estudio en Estados Unidos se determinó bajo nivel en las poblaciones de referencia donde hay alta violencia criminal. ²⁹ El Litio revela linealidad entre la ingesta extraalimentaria y el resultado del AMC. ²⁶ Esto se observa en pacientes que reciben carbonato de Litio por enfermedad maníaco depresiva, ya que este elemento puede mejorar ciertas condiciones psiquiátricas. ³⁰ Los resultados presentes no incluyen a los pacientes medicados con Litio, por lo tanto, los pacientes incluidos no recibieron suplementación extra-alimentaria de Litio. En los resultados de los pacientes evaluados se aprecia un descenso de la cantidad de Litio, lo que puede significar una disminución en la ingesta del venezolano en los últimos años. Si bien el valor promedio es de 0,0126 +/- 0,001 ppm (referencia 0.0070 a 0.0200 ppm) el año 2011 tiene una media de sólo 0,0057 ppm, siendo éste el valor mínimo de todos los resultados anuales. **Selenio** Se observa en la Figura 3 una disminución de la concentración de Selenio en el cabello en la población venezolana, a partir de los datos obtenidos desde 1997. Se aprecia que los resultados están por encima de los valores de referencia a pesar de la tendencia a bajar. Venezuela posee en sus suelos agrícolas elevados niveles de Selenio, ^{31,32,33} lo que contribuye a que la ingesta de alimentos sea fuente de este elemento. Desde el año 1997 los niveles han venido disminuyendo en los individuos estudiados. En la Figura 4 se observa que todas las regiones tienen niveles homogéneos de Selenio y sólo la región de los Andes revela resultados más elevados. **Plomo** Se aprecia una tendencia a la disminución de este elemento en los individuos estudiados desde el año 2001, Figura 5, esto puede deberse a la eliminación progresiva de gasolinas con aditivos de Plomo comercializadas en Venezuela, las cuales fueron retiradas en su totalidad a partir del año 2003. ³⁴ En la Figura 6 se aprecian resultados homogéneos en todas las zonas estudiadas. **Aluminio** En las Figuras 7 y 8 se observa una clara tendencia hacia el aumento de los niveles de

este elemento en la población analizada, iniciando la disminución en el año 2010 y 2011, esto podría deberse al ahorro energético que obligó a apagar los equipos de aire acondicionado. Se piensa que en las zonas con alto uso de estos equipos, los individuos presentan mayores niveles de Al en el análisis.³⁴ Corresponden al centro y occidente del país las zonas de mayores niveles de Aluminio y la zona Insular (Margarita) la de menor nivel. También el hallazgo puede estar relacionado con el aumento en el agua potable del elemento Aluminio, debido a que las sales de Aluminio se usan en el tratamiento del agua para potabilizarla.

El promedio general 17,61 +/- 0,76 ppm es mucho mayor que el valor de referencia 7,00 ppm. **Arsénico** Se observa en la Figura 9 una ligera tendencia al aumento en la concentración de arsénico en el cabello, aunque en comparación con la referencia, la mayoría de los resultados promediados de los años superan dicho nivel de referencia.

La Figura 10 revela que la zona donde las muestras resultaron tener menores niveles del elemento arsénico es la zona insular (Margarita). Los valores anuales casi no tienen cambio respecto al tiempo y el promedio general 0,078 +/- 0,008 ppm es similar al valor de referencia 0,06 ppm. **Uranio**

La Figura 11 muestra una tendencia siempre por debajo o ligeramente superior al valor de referencia del uranio; no obstante, puede apreciarse un ligero aumento entre los años 1991 a 2008, en la media de los resultados de los individuos analizados. La Figura 12 revela que los individuos con mayor proporción de este elemento residen en la región Insular. **Mercurio** La Figura 13 indica una tendencia a la disminución de los niveles de mercurio. La Figura 14 contiene una variación al separar y graficar separadamente la ciudad de Tucupita, si bien corresponde a la zona de Oriente debe una consideración especial por estar en la desembocadura del Orinoco. Las mediciones demuestran que los individuos de esta zona poseen niveles superiores a los de la zona de Oriente. Esto puede deberse a la presencia de minas de oro en la cuenca del Orinoco en las cuales el mercurio es ampliamente utilizado, lo que hace que este elemento, muy afín a las estructuras orgánicas, se fije en la cadena alimenticia y llegue por consumo de alimentos a los habitantes de la ciudad de Tucupita. El promedio general 2,247 +/- 0,15 ppm es mucho mayor que el valor de referencia 1,10 ppm.

Tabla 1

DEFINICIÓN DE LAS ZONAS Y CANTIDAD DE INDIVIDUOS ESTUDIADOS EN CADA CIUDAD				
Zona	Ciudad	Estado	Número	Porcentaje del Total
Andes	San Antonio del T	Táchira	5	1,58%
	San Cristóbal	Táchira	21	6,65%
	Barinas	Barinas	1	
Oriente	Maturín	Monagas	13	4,11%
	El Tigre	Monagas	1	0,32%
	Barcelona	Anzoátegui	4	1,27%
	Tucupita*	Delta Amacuro	9*	
G. Caracas	Caracas	Miranda/Dtto. Cap.	155	49,05%
	Baruta	Miranda	5	1,58%
	Guarenas	Miranda	4	1,27%
	Los Teques	Miranda	9	2,85%
	San Antonio de los Altos	Miranda	2	0,63%
Centro	Maracay	Aragua	25	7,91%
	San Carlos	Cojedes	1	0,32%
	Barquisimeto	Lara	9	2,85%
	San Juan de Los Morros		1	0,32%
	Puerto Cabello	Carabobo	1	0,32%
	Valencia	Carabobo	11	3,48%
	Insular	Porlamar	Nueva Esparta	9
Occidente	Cabimas	Zulia	3	0,95%
	Maracaibo	Zulia	26	8,23%
	Punto Fijo	Falcón	1	0,32%
TOTAL			316	100%

* Se incluye la data separada de la zona en el Grafico XIV

Tabla 2

DISTRIBUCION DE LOS INDIVIDUOS SEGÚN SEXO Y AÑO DE TOMA DE LA MUESTRA				
	Femeninos	Masculinos	Total	Porcentaje de individuos del total
1991	3	0	3	0,95%
1992	7	3	10	3,16%
1993	3	7	10	3,16%
1994	7	7	14	4,43%
1995	12	8	20	6,33%
1996	16	9	25	7,91%
1997	8	8	16	5,06%
1998	4	12	16	5,06%
1999	12	5	17	5,38%
2000	3	9	12	3,80%
2001	5	3	8	2,53%
2002	7	5	12	3,80%
2003	8	5	13	4,11%
2004	6	6	12	3,80%
2005	10	10	20	6,33%
2006	9	6	15	4,75%
2007	2	26	28	8,86%
2008	4	23	27	8,54%
2009	3	15	18	5,70%
2010	2	8	10	3,16%
2011	5	5	10	3,16%
Totales	136	180	316	100,0%
	43,0%	57,0%	100,0%	

Tabla 3

CONCENTRACIONES PROMEDIO DE LOS ELEMENTOS ANALIZADOS CON RESPECTO A LOS AÑOS Y PROMEDIO DE EDADES. n=316									
Elementos analizados	Yodo (I)	Litio (Li)	Selenio (Se)	Plomo (Pb)	Aluminio (Al)	Arsénico (As)	Uranio (U)	Mercurio (Hg)	Años
Concentración	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	
Edades en años									
40,0	1,160533	0,042667	2,394000	13,466667	13,333333	0,012000	0,004333	3,396667	1991
45,9	0,635000	0,015900	2,646000	11,300000	13,650000	0,149700	0,031667	5,060000	1992
37,0	1,020000	0,006700	2,123900	6,100000	8,400000	0,039400	0,017600	3,367000	1993
48,7	2,707143	0,016714	2,866143	4,900000	7,285714	0,070071	0,032571	2,990714	1994
32,0	4,852000	0,024250	2,284750	13,643000	15,380000	0,038400	0,035200	2,563158	1995
37,9	5,840000	0,017880	3,749480	10,463200	12,688000	0,069400	0,025400	2,216400	1996
42,6	5,443750	0,015938	1,696188	8,418750	11,781250	0,068438	0,057813	3,125625	1997
43,6	2,990625	0,009188	1,426875	10,357500	11,306250	0,069375	0,050813	3,985625	1998
39,7	1,455882	0,015529	1,174118	5,150588	18,952941	0,042941	0,019412	2,970588	1999
33,8	1,522500	0,017000	1,223333	8,165000	12,775000	0,036583	0,030750	2,202500	2000
40,5	7,710000	0,015000	1,120000	18,537500	22,112500	0,038375	0,031500	2,462500	2001
33,8	5,280000	0,013667	1,308333	5,458333	10,583333	0,197083	0,040545	2,865833	2002
48,1	2,161538	0,014667	1,005833	9,796154	24,230769	0,053692	0,044077	1,336923	2003
33,7	2,792500	0,008417	1,135000	5,658333	14,163636	0,057000	0,033333	2,964167	2004
27,4	0,958500	0,008050	1,052500	4,064000	22,926316	0,087550	0,057200	1,807000	2005
21,3	1,040000	0,011071	0,992000	4,182667	14,700000	0,062933	0,066133	1,503333	2006
10,8	0,856429	0,008393	1,077143	5,755714	22,615385	0,134000	0,043286	1,647500	2007
6,7	0,981481	0,007667	1,069630	4,633333	27,912500	0,094704	0,063556	0,727407	2008
14,2	1,254444	0,006000	0,975556	2,463889	35,500000	0,095000	0,024889	0,590000	2009
35,2	1,214000	0,008500	1,435000	2,284000	17,300000	0,048300	0,022800	1,837000	2010
41,9	1,960000	0,005700	0,863000	1,621000	13,710000	0,064100	0,050100	1,616000	2011
Media	31,06	2,55	0,0126	1,603	7,045	17,61	0,0781	0,0402	2,2470
DS	22,72	6,16	0,0185	2,859	9,988	13,51	0,1411	0,0806	2,6564
Error estándar	1,28	0,35	0,001	0,16	0,56	0,76	0,008	0,005	0,15
Valores de referencia (4)									
Concentración baja	0,25	0,0070	0,700						
Concentración alta	1,80	0,0200	1,200	1,000	7,00	0,0600	0,0600	1,1000	

Figura 1

NIVELES DE YODO (I) EN CABELLO ENTRE 1991 Y 2011.
VALORES DE REFERENCIA (Min- Max)

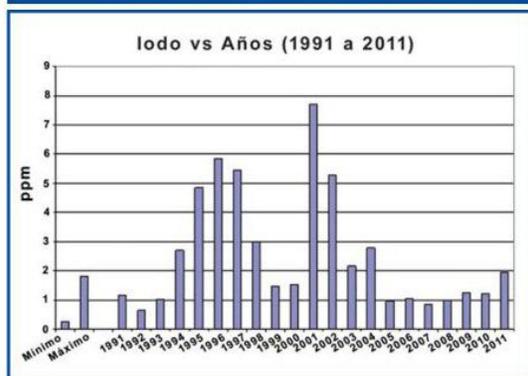


Figura 2

NIVELES DE LITIO (Li) EN EL CABELLO ENTRE 1991 Y 2011.
VALORES DE REFERENCIA (Min- Max)

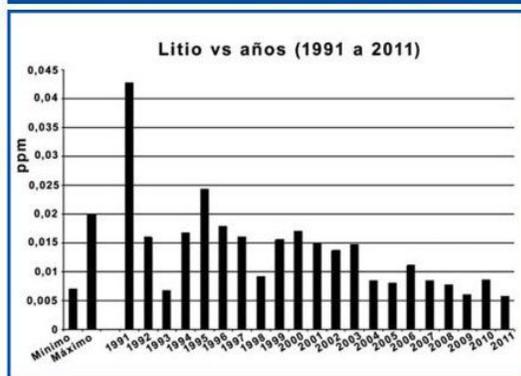


Figura 3

NIVELES DE SELENIO (Se) EN EL CABELLO ENTRE 1991 Y 2011. VALORES DE REFERENCIA (Mínimo-Máximo)

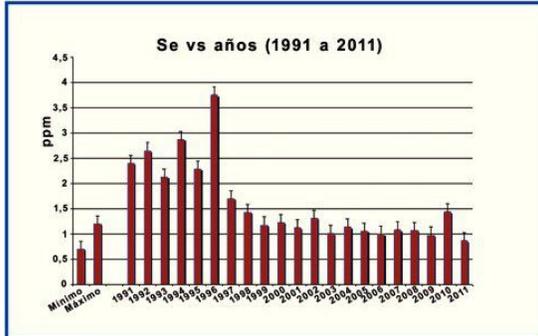


Figura 4

NIVELES DE SELENIO (Se) EN EL CABELLO POR ZONA GEOGRÁFICA.



Figura 5

NIVELES DE PLOMO (Pb) EN EL CABELLO ENTRE 1991 Y 2011. VALOR DE REFERENCIA (Máximo)

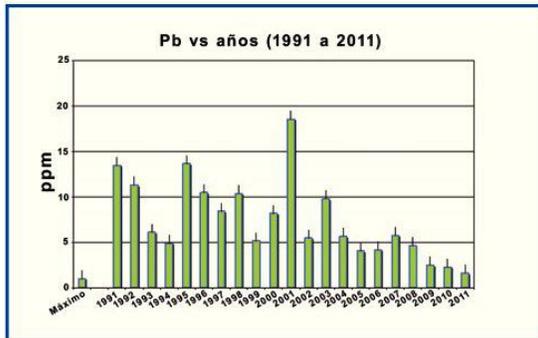


Figura 6

NIVELES DE PLOMO (Pb) EN EL CABELLO POR ZONA GEOGRÁFICA.

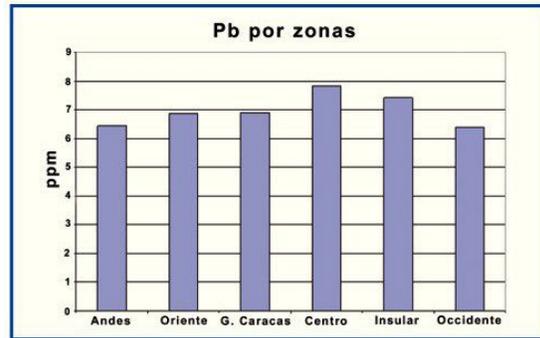


Figura 7

NIVELES DE ALUMINIO (Al) EN EL CABELLO ENTRE 1991 Y 2011. VALOR DE REFERENCIA (Máximo)

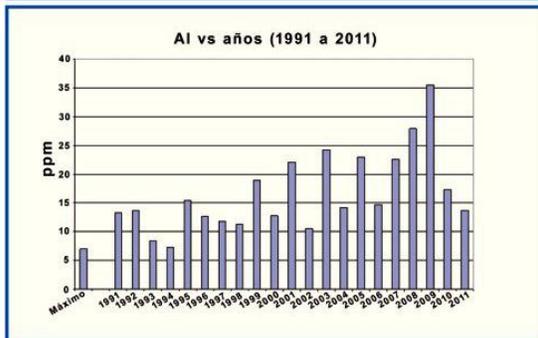


Figura 8

NIVELES DE ALUMINIO (Al) EN EL CABELLO POR ZONA GEOGRÁFICA.



Figura 9

NIVELES DE ARSENICO (As) EN EL CABELLO ENTRE 1991 Y 2011. VALOR DE REFERENCIA (Máximo)

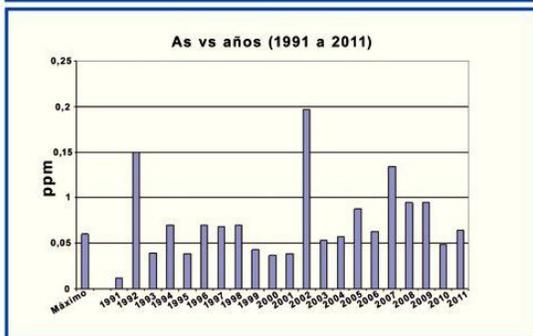


Figura 10

NIVELES DE ARSENICO (As) EN EL CABELLO POR ZONA GEOGRÁFICA



Figura 11

NIVELES DE URANIO (U) EN EL CABELLO ENTRE 1991 Y 2011. VALOR DE REFERENCIA (Máximo)

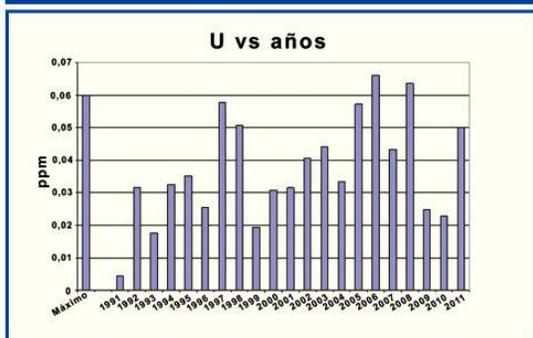


Figura 12

NIVELES DE URANIO (U) EN EL CABELLO POR ZONA GEOGRÁFICA



Figura 13

NIVELES DE MERCURIO (Hg) EN EL CABELLO ENTRE 1991 Y 2011. VALOR DE REFERENCIA (Máximo)

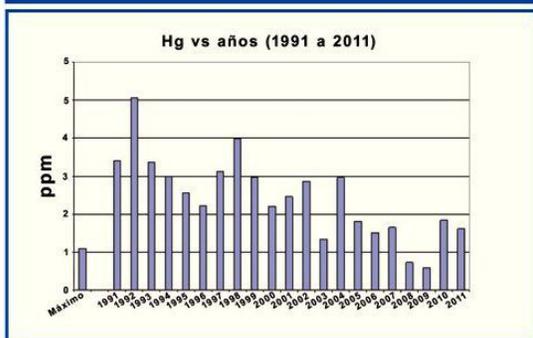


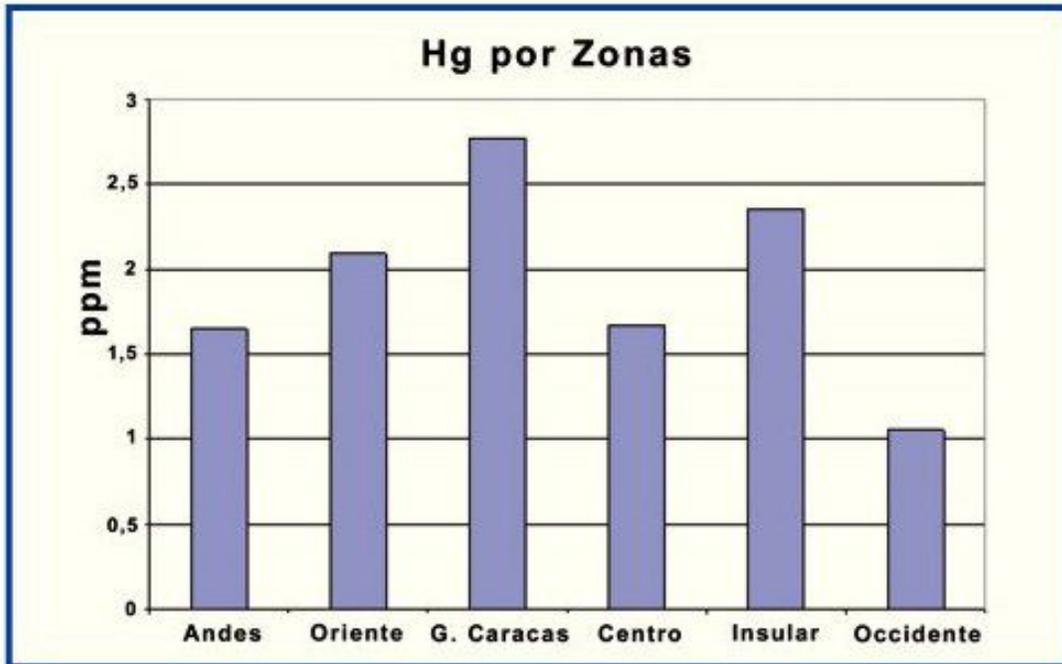
Figura 14

NIVELES DE MERCURIO (Hg) EN EL CABELLO POR ZONA GEOGRÁFICA Y CIUDAD DE TUCUPITA



Figura 15

NIVELES DE MERCURIO (Hg) EN EL CABELLO POR ZONA GEOGRÁFICA



Referencias

1. Druyan ME, Bass D, Puchyr R, Urek K, Quig D, Harm on E, Marquardt W. Determination of reference ranges for elements in human scalp Hair. *Biol Trace Elem Res.* 1998;62:183-197.
2. Jenkins D.W, *Biological Monitoring of toxic Trace Metals*, vol1., *Biological Monitoring and surveillance*, EPA Document 600/3-80-089, Las Vegas, NE (1980)
4. Gellein K, Lierhagen S, Brevik PS, Teigen M, Kaur P, Singh T, Flaten TP, Syversen T. Trace element profiles in single strands of human hair determined by HR-ICP-MS. *Biol Trace Elem Res.* 2008;123:250-260.
5. Rodrigues JL, Batista BL, Nunes JA, Passos CJ, Barbosa F Jr. Evaluation of the use of human hair for biomonitoring the deficiency of essential and exposure to toxic elements. *Sci Total Environ.* 2008;405:370-376.
6. Gibson RS, Gibson IL. The interpretation of human hair trace element concentrations. *Sci Total Environ.* 1984;39:93-101.
7. Shapiro HA. Arsenic content of human hair and nails: its interpretation. *J Forensic Med.* 1967;14:65-71.
8. Hammer DI, Finklea JF, Hendricks RH, Shy CM, Horton RJ. Air trace metal levels and environmental exposure. *Am J Epidemiol.* 1971;93:84-92.
9. Afridi HI, Kazi TG, Kazi GH, Jamali MK, Shar GQ. Essential trace and toxic element distribution in the scalp hair of Pakistani myocardial infarction patients and controls. *Biol Trace Elem Res.* 2006;113:19-34
10. Afridi HI, KaziTG, JamaliMK, KaziGH, Arain MB, Jalbani N, SharGQ, Sarfaraz RA. Evaluation of toxic metals in biological samples (scalp hair, blood and urine) of steel mill workers by electrothermal atomic absorption spectrometry. *Toxicol Ind Health.* 2006;22:381-393.
11. Hasan MY, Kosanovic M, Fahim MA, Adem A, Petroianu G. Trace metal profiles in hair samples from children in urban and rural regions of the United Arab Emirates. *Vet Hum Toxicol.* 2004;46:119-121.
12. González-Muñoz MJ, Peña A, Meseguer I. Monitoring heavy metal contents in food and hair in a sample of young Spanish subjects. *Food Chem Toxicol.* 2008;46:3048-3052.
13. Flores J, Albert LA. Environmental lead in Mexico, 1990-2002. *Rev Environ Contam Toxicol.* 2004;181:37-109.
14. Zaida F, Chadrame S, Sedki A, Lekouch N, Bureau F, Arhan P, Bouglé D. Lead and aluminium levels in infants' hair, diet, and the local environment in the Moroccan city of Marrakech. *Sci Total Environ.* 2007;377:152-158.
15. Dongarrà G, Lombardo M, Tamburo E, Varrica D, Cibella F, Cuttitta G. Concentration and reference interval of trace elements in human hair from students living in Palermo, Sicily (Italy). *Environ Toxicol Pharmacol.* 2011;36:27-34.
16. Chojnacka K, Zieliska A, Michalak I, Górecki H. The effect of dietary habits on mineral composition of human scalp hair. *Environ Toxicol Pharmacol.* 2010;30:188-194.
17. Kordas K, Queirolo EI, Ettinger AS, Wright RO, Stoltzfus RJ. Prevalence and predictors of exposure to multiple metals in preschool children from Montevideo, Uruguay. *Sci Total Environ.* 2010;408:4488-4494.

18. Walter J C. The CDC fourth national report on human exposure to environmental chemicals. *Alter Med Rew.* 2010;15:102-108.
19. Järup L. Hazards of heavy metal contamination. *Br Med Bull.* 2003;68:167-182.
20. Elenge MM, Aubry JC, Jacob L, De Brouwer C. Heavy metal in hair samples of 109 non-industrial (miners) population in Katanga. *Sante.* 2011;21:41-46.
21. Barbieri FL, Cournil A, Souza Sarkis JE, Bénéfice E, Gardon J. Hair trace elements concentration to describe polymetallic mining waste exposure in Bolivian Altiplano. *Biol Trace Elem Res.* 2011;139:10-23.
22. Pasha Q, Malik SA, Shaheen N, Shah MH. Comparison of trace elements in the scalp hair of malignant and benign breast lesions versus healthy women. *Biol Trace Elem Res.* 2010;134:160-173.
23. Kazi TG, Afridi HI, Kazi N, Jamali MK, Arain MB, Jalbani N, Kandhro GA. Copper, chromium, manganese, iron, nickel, and zinc levels in biological samples of diabetes mellitus patients. *Biol Trace Elem Res.* 2008; 122:1-18.
24. Tan C, Chen H, Xia C. The Prediction of Cardiovascular Disease Based on Trace Element Contents in Hair and a Classifier of Boosting Decision Stumps. *Biol Trace Elem Res.* 2009;129:9-19.
25. Wang CT, Li YJ, Wang FJ, Shi YM, Lee BT. Correlation between the iron, magnesium, potassium and zinc content in adolescent girls' hair and their academic records. *Chang Gung Med J.* 2008;31:358-363.
26. Schrauzer GN, Shrestha KP, Flores-Arce MF. Lithium in scalp hair of adults, students, and violent criminals. Effects of supplementation and evidence for interactions of lithium with vitamin B12 and with other trace elements. *Biol Trace Elem Res.* 1992;34:161-176.
27. Puchyr RF, Bass DA, Gajewski R, Calvin M, Marquardt W, Urek K, Druyan ME, Quig D. Preparation of hair for measurement of elements by inductively coupled plasma-mass spectrometry (ICP-MS). *Biol Trace Elem Res.* 1998;62:167-182.
28. Sánchez E, García A, Medina A, Contreras M, Marín D. Yodación de la sal para consumo humano en plantas procesadoras del estado Zulia, Venezuela. *Rev cient Maracaibo* 2010;20:25-35.
29. Schrauzer GN, Shrestha KP. Lithium in drinking water and the incidences of crimes, suicides, and arrests related to drug addictions. *Biol Trace Elem Res.* 1990;25:105-113.
30. Cade J. Lithium salt in the treatment of psychotic excitement. *Med J Aust.* 1949;2:349-351.
31. Mondragón MC, Jaffé WG. Consumption of selenium in the city of Caracas in comparison with other cities of the world. *Arch Latinoam Nutr.* 1976;26:343-352.
32. Otaiza ER, Valeri H, Cumare V. Selenium content in the blood cattle from Venezuela. I. Central and Portugueste zones. *Arch Latinoam Nutr.* 1977;27:233-246.
33. Jaffé W. Selenium, an essential and toxic element. Latin American data. *Arch Latinoam Nutr.* 1992;42:90-93.
34. Pazos H, Revelant V. Análisis de Minerales en Cabello. Oligoelementos y sus aplicaciones terapéuticas. 5ta. Ed. 2009. Fundación Sita, Venezuela, 33-34.