

# Evidencia de Arsenicismo Crónico en Momias del Valle Camarones. Región Tarapacá, Chile.\*

LEONARDO FIGUEROA T.\*\* BLAGO RAZMILIC B.,  
MARVIN ALLISON, MARILUZ GONZÁLEZ U.

## RESUMEN

Se presentan los resultados de análisis para determinar el grado de arsenicismo crónico en un grupo de 31 momias (1356 d.C. - Post Europeo), procedentes del valle de Camarones, Chile. El agua de este valle presenta una contaminación natural con arsénico. Cada individuo fue autopsiado y análisis químicos de los huesos y material blando del cuerpo fueron realizados, para evaluar las patologías. Los datos obtenidos permiten señalar una alta incidencia de arsenicismo en las poblaciones que habitaron en dicho valle.

## ABSTRACT

*The degree of chronic arsenic poisoning was measured in a group of 31 mummies (1356 AD-Post Conquest) from the Camarones Valley, Chile. The water of the valley is naturally contaminated with arsenic.*

*Each individual was autopsied and chemical analysis of bone and soft tissue was done. The pathology was evaluated. The information obtained from this study indicates a high percentage of chronic arsenic poisoning within this population.*

## Introducción.

La Quebrada Camarones es un bioma desértico donde elevados taludes encierran el valle, a través del cual fluye el río Camarones, rodeado por mesetas y pampas desérticas de altura de hasta 1000 m sobre el nivel del cauce (Borgoño, M. y Greiber, R., 1971). A lo largo del Valle Camarones y en su desembocadura en el Océano Pacífico a 19° L.S. y 69° 47' L.W., el sustento de la vida se genera a partir del agua salobre del río con un rango de aproximadamente 1,000 a 5,200 mg/l de sales disueltas (Zumaeta, 1981.), las que se incrementan desde el sector Illapata a 2150 m.s.n.m. hacia la desembocadura en el mar.

Estas aguas permiten el riego de los suelos y sus cultivos, dando lugar dentro de su sistema hídrico al desarrollo de la especie *Cryphiops caementarius*, un camarón muy abundante y de buen sabor, obteniéndose de esta manera el recurso alimenticio desde el agua, vegetales y animales terrestres probablemente combinados con productos que se extraen del mar tales como peces y mariscos.

El hábitat en la Quebrada Camarones, se caracteriza por estar profunda y extensamente "marcado" por la presencia de arsénico (Figueroa, 1986), elemento que se difunde en el medio por el transporte de sus compuestos solubles e insolubles en las aguas del río (Zumaeta, 1981). El arsénico se encuentra solubilizado en concentraciones variables, según el sector a lo largo del valle y, a la época del año, alcanzando valores de 0.72 a 1.20 mg/l, según los registros de los autores en el año 1979 y hasta 2.19 en el año 1986.

\* Financiado por FONDECYT # 102-1987 y Dirección Investigación U. de Tarapacá.

\*\* Universidad de Tarapacá, Departamento de Química, Casilla 7D, Arica, Chile.

▲ Recibido: 25.04.90; Aceptado: 9.10.90 (p.p.)

Luego, en el crustáceo camarón de río, los valores de concentración de arsénico registrados en ejemplares enteros en categorías de pequeño, mediano y grande, se distribuyen en un rango entre 18.4 y 34.6 ug/g sobre base húmeda (B.H.), con un promedio de 24.0 ug/g (Gil, R. *et al.*, 1981).

Si a estos antecedentes se suma el reconocimiento de que la fuente de origen del arsénico está en la presencia de volcanes en la zona cordillerana de Los Andes (Zumaeta, 1981; Guillier, 1983), y que la presencia del hombre data de épocas tempranas, 2030 a 1790 a.C. (Niemeyer *et al.*, 1971) y hasta 5000 años a.C. (Schiappacasse y Niemeyer, 1984), es válido sostener que el hombre antiguo poblador de esta zona estuvo sometido al impacto del medio arsenical, especialmente por el agua de bebida que, por la presencia de elevadas concentraciones de las especies arsenicales solubles tales como arsenito y arseniatos, sustancias de la mayor toxicidad entre los compuestos arsenicales de origen natural (National Academy of Sciences, 1977), han debido dejar señales en los restos humanos momificados.

Esta agua puede haberse consumido en un promedio de dos litros diarios con una ingesta de aproximadamente 2 mg de As por día. (Borgoño y Greiber, 1971) señala que "el alto contenido de arsénico de las muestras procedentes de momias descubiertas en la Provincia de Antofagasta, demuestra que desde antiguo existía una alta ingestión de arsénico en la población" (Borgoño y Greiber, 1971).

El objetivo del presente estudio es describir el nivel de concentración arsenical en diversos tejidos y órganos correspondientes a individuos momificados. También, evaluar las "lesiones patológicas" atribuibles al tóxico arsénico, y finalmente establecer evidencia clara de la existencia de un proceso de intoxicación arsenical crónica en la población humana antigua de este valle.

## **Materiales y Métodos.**

### *1.- Ubicación de las muestras.*

Se trabaja con un conjunto de 31 momias de un cementerio, CAM-9, localizado en una meseta elevada sobre el nivel del valle en la zona de la desembocadura al mar. Las momias pertenecen a individuos que fallecieron hace  $630 \pm 80$  a  $570 \pm 80$  años antes del presente (a.P.) de acuerdo a fechados C-14 de tres momias, realizado en el laboratorio de Teledyne en New Jersey, con edades que fluctúan entre 15 meses y 60 años, de ambos sexos. Todas presentan momificación natural y están perfectamente cubiertas con tejidos lanares, con su cuerpo contraído en una posición flexionada.

El enterramiento está ubicado a una profundidad entre 1 y 1.5 m en un suelo absolutamente árido, cuya concentración de arsénico total obtenido luego de una enérgica digestión con ácidos fuertes, es de  $17.0 \pm 8.0$  ug/g sobre base seca (B.S.) y una humedad de  $2.2 \pm 1.2\%$ .

### *2.- Preparación de las muestras.*

A cada momia se le practica una autopsia y un examen patológico, en sus diferentes tejidos y órganos por inspección visual. A partir del material autopsiado, se toman diversas partes del cuerpo como muestra, obtenidas con instrumental quirúrgico; se descartan todas aquellas que presentan signos evidentes de pigmentos ajenos al cuerpo, posteriormente son preparadas para el análisis químico con procesos de limpieza mecánica, cepillado, raspado, lavado con acetona/agua 1:1 (Cortés, 1981) y secado con aire caliente. Las muestras limpias y reducidas de tamaño por medio de cortes con bisturí y tijera, son pesadas y secadas a  $105^\circ\text{C}$ . Con la muestra seca se procede al proceso de mineralización por vía húmeda en un sistema  $\text{HNO}_3$  -  $\text{HClO}_4$  (Griffin *et al.*, 1975).

### *3.- Cuantificación del arsénico.*

La medición se realiza por espectroscopía de absorción atómica (EAA) en un equipo Perkin Elmer modelo 503 a través del sistema de generación del hidruro de arsénico,  $\text{AsH}_3$  (g), usando solución de  $\text{NaBH}_4$ . Las condiciones de la solución matriz que contiene al analito son: 50 ml de volumen, acidez equivalente a 1M de HCl (Griffin *et al.*, 1975), analito en estado de oxidación (III) por adición de solución de KI al 20% (Kang y Valentine, 1977).

La generación del hidruro se realiza en un frasco de reacción, al cual se hace llegar en forma continua, la solución reductora  $\text{NaBH}_4$  al 2% en  $\text{NaOH}$  al 1%, en una razón de flujo de 30 ml/min.; el gas generado, arsenamina e hidrógeno, es transportado desde la solución agitada constantemente, a través de un flujo constante de argón que es suministrado por medio del sistema aire-auxiliar del equipo. La disociación, atomización del analito y registro de la señal se realiza bajo las siguientes condiciones instrumentales:

- a) Lámpara de descarga de As.
- b) EDL Power supply 8 W.
- c) Corrector de fondo de Deuterio.
- d) Línea de resonancia 193.7 nm, rango UV, Slit 0.7 nm.
- e) Mechero de ranura simple, 4".
- f) Llama  $\text{Ar}/\text{H}_2$ , razón de flujo 21/19.
- g) Registrador Gow-Mac 70-700, Full-scale 1 mV.
- h) Velocidad de carta 1 cm/min.

La calibración se realiza con estándar de As (III), en un rango de 0.1 a 1 ug, bajo las condiciones de matriz ya descritas.

Cada solución analizada se mide en triplicado y cada muestra se duplica.

### Resultados y Discusión.

1) Observaciones del tejido cutáneo.

1.1) Nivel arsenical:

Los análisis realizados en la piel de diversas partes del cuerpo, en el conjunto de momias, revela la presencia de arsénico en niveles elevados en relación a los que se reconocen como normales bajo condiciones de no exposición al elemento, con un rango de 0.009 a 0.59 ug/g B.S.(8). La Tabla 1 muestra los resultados obtenidos para un conjunto de 25 muestras de piel torácica, abdominal y de las extremidades.

TABLA 1 : ARSENICO TOTAL (ug/g B.S.) EN MUESTRAS DE PIEL CORRESPONDIENTE A 14 MOMIAS					
	<i>Abdomen</i>	<i>Planta</i>	<i>Palma</i>	<i>Tórax</i>	<i>Edad</i>
	10.3	-	-	4.4	1
	-	-	-	5.8	5
	-	8.0	-	11.9	11
	-	10.6	-	9.2	12
	-	-	-	6.8	15
	3.1	4.0	6.1	-	16
	-	6.2	-	25.7	18
	-	-	-	1.1	30
	7.5	-	-	-	35
	-	3.2	5.4	-	35
	-	-	-	11.0	40
	-	6.2	-	-	45
	20.1	9.9	21.6	-	50
	-	9.0	6.0	3.1	60
Med.	10.2	7.1	9.8	8.8	
Máx.	20.1	10.6	21.6	25.7	
Mín	3.1	3.2	5.4	1.1	
D.S.	7.2	2.7	7.9	7.3	
n.	4	8	4	9	

De acuerdo a estos resultados, existe un nivel de arsénico muy significativo, donde el 100% de las muestras presenta un valor mayor que el dado como máximo normal, desde 1.9 a 44 veces. No se observa, para el nivel arsenical en la piel, correlación significativa en función de la edad ( $r=0.002$ ).

### 1.2) Lesiones patológicas:

El examen patológico indica un conjunto de lesiones en la piel, para el 83.9% de las 31 momias estudiadas, cuyas características son las de ser visibles a simple vista, que se presentan como erupciones sobresalientes de tamaño variable entre 1 y 5 mm dispersas, que cubren superficies de diversa magnitud y que son asociadas al arsenicismo. Al respecto cabe señalar que en individuos modernos del mismo valle, la proporción de las tres patologías típicas del arsenicismo crónico alcanza valores para leucodermia de 94%, para melanodermia de 71% y para queratosis palmo plantar de 5% (Figueroa, 1988).

TABLA 2: MAGNITUD DE LESION EN 38 MUESTRAS DE PIEL DE DISTINTA UBICACION CORPORAL. (ND= No Disponible)

<i>Edad</i>	<i>Tronco</i>	<i>Brazos</i>	<i>Piernas</i>
1	0	0	0
1	0	0	0
4	0	0	0
5	3	0	0
8	4	4	4
12	4	ND	ND
24	2	2	0
30	2	0	ND
35	2	2	2
40	2	2	2
40	4	ND	ND
40	2	2	2
42	4	3	3
50	4	ND	ND
60	3	3	3
Nº momias	15	12	11
Nº lesionadas	12	7	6
% lesionadas	80	58	55
Promedio lesión	2.4	1.5	1.45

Las lesiones a la piel que en 15 momias fueron evaluadas en una escala de 0 a 4, desde sin lesión hasta un máximo de superficie lesionada, se presentan con mayor frecuencia en el tronco. La Tabla 2 indica el grado de lesión epidérmica en un conjunto de 15 momias donde se observa que de las 15 momias que preservaron piel en su tronco, doce presentan lesión y de éstas son siete (58.3%) las que presentan un grado igual o superior a 3 con lesión de carácter severo, cinco con grado entre 1 y 2 (47.7%) con lesiones de carácter moderado. Sólo tres del total observado no presenta lesiones.

Luego, de doce momias que preservaron piel en los brazos, siete presentan lesión y de éstas son tres (42.9%) las que tienen carácter severo y cuatro (57.1%) con carácter moderado. Sólo cinco del total observado no presenta lesiones.

De las once momias que preservaron piel en las piernas, seis presentan lesión y de éstas son tres (50%) las que tienen carácter severo y tres (50%) con carácter moderado. Sólo cinco del total observado no presenta lesiones.

Del total de observaciones, un 65.8% refleja algún grado de lesión, de éstas un 34.2% en carácter severo y 31.6% en carácter moderado. Un 34.2% no presenta lesiones. La distribución porcentual de los valores medios para los grados de lesión entre las 38 muestras observadas, son de un 44.9% en el tronco, 28.0% en los brazos y 27.1% en las piernas. El grado de lesión tiende a ser mayor en el tronco que en las extremidades. No se observa correlación significativa del grado de lesión cutánea en función de la concentración arsenical en la piel ( $r=0.078$ ), esto probablemente a la incidencia significativa de un segundo factor predictor como lo es el tiempo de exposición al arsénico.

Se destaca la correlación significativa del grado de lesión cutánea en función de la edad, Figura 1 y 2, ya sea considerando el grado de lesión total o sumatoria de los grados de lesión en tronco, brazos y piernas, así como el grado de lesión medio en el que se consideran los valores desde 0 a 4, en las tres zonas cutáneas observadas.

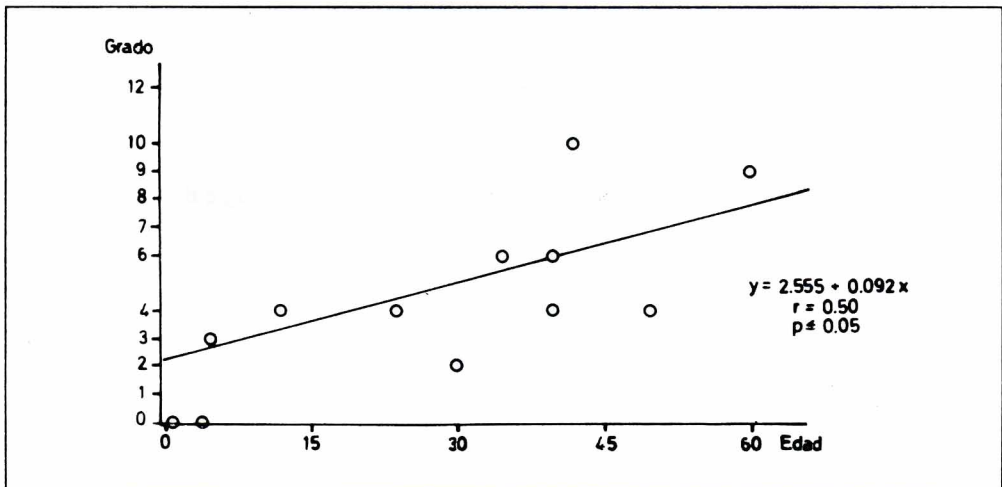


Figura 1: Lesión Total

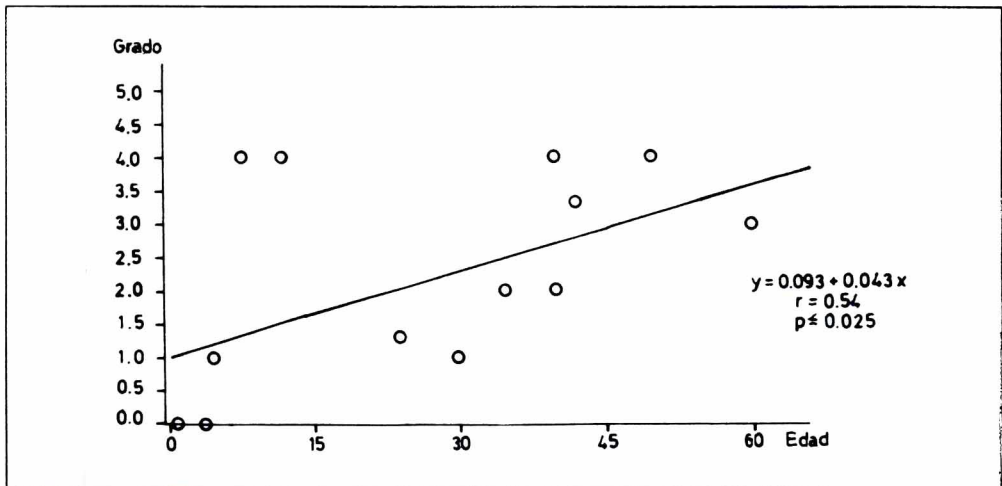


Figura 2: Lesión Media

2) *Observaciones en órganos y tejidos internos del cuerpo.*

2.1) Nivel arsenical.

*Arsénico en el hígado:* Se mide el contenido de arsénico en el hígado de 15 momias, donde los datos reflejan una elevada concentración con respecto a lo establecido como normal (National Academy of Sciences, 1977). Como en la referencia los datos se dan en base húmeda, se estima que existe un 50% de agua en el órgano para expresar los datos en base seca, resultando el rango normal entre 0.18 y 0.60 ug/g B.S.

Los resultados se dan en la Tabla 3 y se observa que todos superan el máximo normal desde 4 hasta 113 veces. No se observa correlación significativa de la concentración de arsénico en el hígado en función de la edad ( $r=0.028$ ).

TABLA 3 : CONCENTRACION DE ARSENICO TOTAL (ug/g B.S.)  
EN EL HIGADO DE 15 MOMIAS.

	<i>Valor</i>	<i>Edad</i>
	8.2	1
	3.9	5
	2.6	11
	6.1	15
	2.7	15
	7.6	18
	4.8	19
	68.0	24
	43.1	30
	6.5	35
	8.7	40
	28.8	42
	12.6	45
	3.1	50
	17.0	60
Med.	14.9	
Máx.	68.0	
Mín.	2.6	
D.S.	18.4	
n.	15	

*Arsénico en riñón:* El análisis de riñón en 8 momias, cuyos resultados se dan en la Tabla 4, revelan valores mayores, desde 9 hasta 342 veces, que los considerados como normales (National Academy of Sciences, 1977). de 0.14 a 0.28 ug/g B.S., también estimando un 50% de humedad en el órgano fresco. No se observa correlación significativa del nivel arsenical en el órgano en función de la edad ( $r=0.245, p<0.25$ ).

TABLA 4 : CONCENTRACION DE ARSENICO TOTAL (ug/g B.S.) EN RIÑON DE 8 MOMIAS.		
	<i>Valor</i>	<i>Edad</i>
	3.6	11
	6.2	15
	2.6	16
	16.3	37
	13.3	40
	68.7	42
	95.9	50
	7.8	60
Med.	26.8	
Máx.	95.9	
Mín.	2.6	
D.S.	35.3	
n.	8	

*Arsénico en tejido óseo y queratinoso:* Finalmente se determinan las concentraciones de arsénico en costilla, cabello y uña de 26 momias, cuyos resultados se dan en la Tabla 5, y que para el caso de cabellos y uñas revelan una concentración significativamente más elevada que la considerada como normal (National Academy of Sciences, 1977) entre 0.3 y 1.75 ug/g B.S., con 1.8 hasta 34.4 veces en el cabello y desde 3.7 hasta 29.3 veces mayor en las uñas con un máximo normal de 1.7 ug/g B.S. (National Academy of Sciences, 1977). No se observa correlación significativa tanto en cabello ( $r=0.015$ ) como en uña ( $r=0.077$ ) en función de la edad.

Con respecto a los datos correspondientes a las muestras de costilla, la referencia (National Academy of Sciences, 1977) indica como normal desde 20 a 27 ug/g, expresado en la ceniza, equivalente a 12 y 16.2 ug/g expresado en el hueso con un promedio de 60% de ceniza, valores significativamente mayores que los obtenidos en este estudio. Sin embargo, basándose en los datos de las otras muestras corporales analizadas, es posible señalar por inferencia, que las costillas de individuos expuestos al arsénico, a través de la vía de los alimentos naturales, alcanzarían valores de concentración en un rango de 1 a 13 ug/g y que probablemente, los valores normales en condiciones de no exposición al tóxico, serían inferiores a 1 ug/g. No se observa correlación significativa del nivel arsenical en costilla en función de la edad ( $r=0.075$ ).

TABLA 5: CONCENTRACION DE ARSENICO TOTAL ( $\mu\text{g/g}$  B.S.)  
EN TEJIDOS QUERATINOSOS Y OSEOS DE 26 MOMIAS.

	<i>Uña</i>	<i>Cabello</i>	<i>Costilla</i>	<i>Edad</i>
	-	-	3.0	1
	27.7	-	8.3	1
	29.4	-	2.6	4
	19.2	-	1.3	5
	37.4	-	4.0	8
	23.0	-	-	11
	22.0	6.5	3.1	12
	10.7	18.9	1.9	15
	-	3.1	1.2	15
	8.0	13.8	1.8	16
	8.7	-	2.1	16
	-	-	5.7	18
	12.0	-	6.7	19
	12.0	4.3	1.7	30
	9.7	3.7	1.4	35
	-	6.0	1.8	35
	25.4	-	2.3	40
	49.8	60.4	2.0	40
	19.3	-	3.4	40
	-	-	8.0	42
	7.9	4.2	4.8	45
	9.2	16.7	12.8	50
	-	-	10.5	50
	6.3	6.7	1.9	60
	-	7.6	-	
	-	-	1.8	
Med.	18.8	12.7	3.9	
Máx.	49.8	60.4	12.8	
Mín.	6.3	3.1	1.2	
D.S.	11.9	15.9	3.2	
n.	18	12	24	

## 2.2) Lesiones patológicas:

El examen patológico de 31 momias que presentan lesiones atribuidas al arsenicismo, muestra en la Tabla 6, que diferentes órganos del cuerpo, incluida la piel, aparecen lesionados pero no siempre en todos los casos. La distribución que existe entre los valores porcentuales de órganos lesionados es de un 50.1% en piel, 22.0% en pulmón, 13.5% en hígado, 5.4% en corazón, 3.2% en riñón, 3.2% en diafragma y 2.6% en intestino; dando un resultado muy significativo para la piel, con lo que se refuerza el hecho de que el máximo efecto en cuanto a zonas corporales lesionadas corresponde al tejido cutáneo. Se observa con claridad que el arsénico ingerido se distribuye a todas partes del cuerpo.



TABLA 6: EVALUACION DEL NUMERO DE ORGANOS DEL CUERPO QUE PRESENTAN LESION ENTRE 31 INDIVIDUOS MOMIFICADOS DE CAM-9.

<i>Nº Momias con órgano</i>	<i>Organos</i>	<i>Nº Organos lesionados</i>	<i>%Organos lesionados</i>
31	Piel	26	83.9
22	Hígado	5	22.7
19	Pulmón	7	36.8
19	Riñón	1	5.3
11	Corazón	1	9.1
23	Intestino	1	4.3
19	Diafragma	1	5.3

### Conclusiones.

Reconociendo que durante los años comprendidos entre 1356 y 1416 la intoxicación por arsénico en esta región sólo pudo haber ocurrido por su ingestión natural en el consumo de alimentos y aguas zonales contaminadas geológicamente, resulta claro y evidente que la absorción de arsénico fue un proceso crónico e inevitable en esta región geográfica.

La detección de arsénico en concentraciones elevadas en distintos tejidos corporales de los individuos momificados observados, demuestra que existió un impacto severo del medio ambiente sobre el individuo.

La absorción crónica del arsénico en los individuos observados, se manifiesta además, con signos patológicos caracterizados primariamente como "lesiones", las que son evidentes a partir de los 5 años de edad.

Habría una etapa, en individuos de menos de cinco años, en que el desarrollo del arsenicismo crónico no es evidente a través de lesiones corporales, aún bajo condiciones de ingestión crónica del tóxico y con significativo nivel de arsénico en el cuerpo.

Ninguno de los tejidos u órganos analizados y que revelaron concentraciones significativas de arsénico, correlacionan en función de la edad.

El grado de lesión cutánea correlaciona positiva y significativamente, en función de la edad, de manera que el proceso de intoxicación se desarrolla a largo plazo, intensificándose a través del transcurso de los años.

Finalmente, los datos obtenidos son evidencia de un arsenicismo crónico desarrollado en la población humana de épocas antiguas, habitantes de tan particular zona geográfica.

## BIBLIOGRAFIA

- BORGOÑO, M. J. y GREIBER. R. 1971. Estudio epidemiológico del arsenicismo en la ciudad de Antofagasta. *Rev. Med. Chile* 99:702-707.
- CORTES, E. *et al.* 1981. Monitorium environmental pollution of arsenic and mercury through neutron activation analysis of human hair. *Radio chem. Radial letters* 50 (3):177-184.
- FIGUEROA, Leonardo. 1986. Quebrada Camarones: Un hábitat marcado por el arsénico. *Resumen 2º Encuentro científico sobre el medio ambiente*. CIPMA, Chile:130-131.
- FIGUEROA, Leonardo. 1988. Perfil arsenical en la cadena de alimentos de tres valles de la Provincia de Arica y su efecto sobre la población humana residente. *Rev. Semana de la Química*, Universidad Tarapacá (5):38-49.
- GIL, E. *et al.* 1981. Contenido de arsénico en *Cryphiops caementarius* (Molina 1782) (Crustacea, Decapoda, Palaemonidae) y en dos ríos de la Provincia de Arica. *Rev. Arica*, Universidad del Norte 8:223-286.
- GUILLIER, O. A. 1983. Mecanismo de la acción contaminante natural en las fuentes de agua de la Segunda Región. *III Simposio sobre contaminación ambiental, orientado al recurso agua*. INIA, Chile, Tomo I:94-103.
- GRIFFIN, R. *et al.* 1975. Arsenic determination in tobacco by atomic absorption spectrometry. *Anal. Chem.* 47 (2):229-231.
- KANG, H. K. and VALENTINE, J. 1977. Acid interference in the determination of arsenic by atomic absorption spectrometry. *Anal. Chem.* 49 (12):1829-1832.
- NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES 1977. *Arsenic. Committee on Medical and Biologic Effects of Environmental Pollutants*. Washington D.C.
- NIEMEYER, Hans *et al.* 1971. Patrones de poblamiento en la Quebrada de Camarones. Separata de *Actas del VI Congreso de Arq. Chilena*, Universidad de Chile, Depto. de CS. Ant. y Arq. Soc. Chil. de Arq.
- SCHIAPPACASSE, V. y NIEMEYER, H. 1971. Descripción y análisis interpretativo de un sitio arcaico temprano en la Quebrada de Camarones. *Museo Nacional de Historia Natural, No. 41*.
- ZUMAETA, Oscar. 1981. Constituyentes químicos de varias aguas de riego de las Provincias de Arica y Parinacota, I Región, Chile, *Rev. Arica*, Universidad del Norte 8:137-169.
- ZUMAETA, Oscar. 1981. Evaluación de la presencia de arsénico en las aguas y sedimentos del río Camarones, Provincia de Arica, I Región, Chile, *Rev. Arica*, Universidad del Norte 8:205-222.