



UNIVERSIDAD DE CHILE

Facultad de Ciencias Sociales

Departamento de Antropología

**EVALUACIÓN PALEOEPIDEMIOLOGICA DE LA FRECUENCIA
DE ESPINA BÍFIDA OCULTA Y SU POSIBLE RELACIÓN CON EL
ARSÉNICO AMBIENTAL EN LA QUEBRADA DE CAMARONES
(NORTE DE CHILE)**

Memoria para Optar al Título de Antropóloga Física

VERÓNICA PATRICIA SILVA PINTO

Profesor Guía: SR. EUGENIO ASPILLAGA FONTAINE

Universidad de Chile

Profesor Tutor: DR. BERNARDO ARRIAZA TORRES

Universidad de Tarapacá

Santiago, Chile

2010



ALTURAS DE MACHU PICCHU CANTO III

“El ser como el maíz se desgranaba en el incansable
granero de los hechos perdidos, de los acontecimientos
miserables, del uno al siete, al ocho,
y no una muerte, sino muchas muertes llegaba a cada uno:
cada día una muerte pequeña, polvo, gusano, lámpara
que se apaga en el lodo del suburbio, una pequeña muerte de alas gruesas
entraba en cada hombre como una corta lanza
y era el hombre asediado del pan o del cuchillo,
el ganadero: el hijo de los puertos, o el capitán oscuro del arado,
o el roedor de las calles espesas:
todos desfallecieron esperando su muerte, su corta muerte diaria:
y su quebranto aciago de cada día era
como una copa negra que bebían temblando.”

PABLO NERUDA

CANTO GENERAL, 1950



**A mi hija y mi madre, por todo el tiempo que dediqué a
los muertos más que a los vivos...**



AGRADECIMIENTOS

A Eugenio Aspillaga profesor guía de la presente memoria, por sus correcciones, sugerencias y apoyo continuo.

Al Dr. Bernardo Arriaza tutor de esta memoria, por su invitación a participar de sus proyectos, su valiosa crítica y en especial por acogerme como parte de su propia familia durante mis primeros meses en Arica.

A Vivien Standen por su constante entrega de conocimiento, su paciencia, sus correcciones a mis manuscritos y por su acogida en el Laboratorio de Antropología Física del Museo Universidad de Tarapacá-San Miguel de Azapa de Arica, donde me dio un lugar más allá de un mero espacio físico.

A Lorena Cornejo y su equipo por la ayuda prestada en la búsqueda de antecedentes y por sus recomendaciones al presente estudio.

Al Dr. Mark Hubbe por sus enseñanzas y ayuda en el difícil y extremadamente necesario campo de la estadística.

Al Dr. James Watson por la traducción del resumen al inglés.

A la Dra. Marietta Ortega, Directora del Departamento de Antropología y del Museo Universidad de Tarapacá-San Miguel de Azapa de Arica, por hacerme parte del cuerpo docente y en especial por hacerme sentir parte integrante del propio museo.

A la Dra. Ana María Carrasco, Liliana Ulloa, Dra. Julia Córdoba y Mariela Santos, por su amistad, apoyo y por la confianza que depositaron en mi y en mi trabajo.

A la Dra. Marcela Sepúlveda, por posibilitar con su generosidad, confianza y amistad mi estadía en Arica y por colaborar con apoyo logístico directamente al desarrollo de esta memoria de título.



A Leticia Latorre, Octavio Lagos y Maritza Espinoza, por el continuo apoyo a mi labor, su generosidad, colaboración y por hacer de cada día que compartimos en el Laboratorio de Antropología Física un agradable momento.

A todo el personal del Museo Universidad de Tarapacá-San Miguel de Azapa de Arica y del Departamento de Antropología, funcionarios y profesores, en especial a Soledad Palma por la acogida y por hacerme sentir parte de esta gran familia que conforman.

A mi padre Dr. Robinson Silva, por su apoyo en momentos difíciles cuando todo parecía imposible y también en los buenos, por su constante estímulo, sus consejos profesionales en el ámbito de la radiología y la edición del manuscrito final.

A mi hermano Sebastian Escobar, estudiante de arqueología, por su ayuda en la edición de los manuscritos y en especial por sus correcciones a la bibliografía.

Finalmente, un especial agradecimiento a Manuel Alarcón, comunicador gráfico, no sólo por su apoyo y comprensión en momentos en que sólo tenía mi atención en el trabajo y el desarrollo de la tesis, sino también por las fotografías y la edición de textos y figuras de esta memoria.

Esta investigación se llevó a cabo con el patrocinio económico de CONICYT a través del proyecto FONDECYT N° 1070575 a cargo del investigador responsable Dr. Bernardo Arriaza y las coinvestigadoras Vivien Standen y Lorena Cornejo.



INDICE DE CONTENIDOS

	Pag.
Resumen	x
Abstract	xi
Prólogo	xii
I. Introducción	1
II. Objetivos	
2.1 Objetivo principal	5
2.2 Objetivos específicos	5
III. Problema de Investigación	
3.1 Paleoepidemiología de la espina bífida oculta	6
3.2 Arsénico y Paleopatología	
8	
IV. Marco Teórico	
4.1 Desarrollo normal del tubo neural y la columna vertebral	
10	
4.2 Malformaciones congénitas y defectos del tubo neural	
11	
4.3 Arsénico Ambiental	14
4.4 El Arsénico como Agente Teratógeno	19



V.	Marco Geográfico Cultural	
5.1	Contexto Geográfico	21
5.2	Contexto Cronológico-Cultural	26
5.3	Los sitios	31
VI.	Hipótesis	
6.1	Hipótesis nula	33
6.2	Hipótesis alternativa	33
VII.	Metodología	
7.1	Material	34
7.2	Método	34
VIII.	Resultados	37
IX.	Discusión y Conclusiones	38
X.	Referencias Bibliográficas	43
XII.	Anexo	
12.1	Ficha de registro y análisis	68



INDICE DE TABLAS Y FIGURAS

Tabla 1. Niveles de concentración de arsénico en los valles	54
Tabla 2. Segmentos afectados en el sacro por espina bífida oculta.	54
Tabla 3. Posibles variantes de hiato sacro.	54
Tabla 4. Distribución poblacional de adultos por sexo y sitio	55
Tabla 5. Ocurrencia de espina bífida oculta sacra por sitio y segmentos afectados	55
Figura 1. Mapa satelital de los valles occidentales	55
Figura 2. Fotografía panorámica del valle de Lluta	56
Figura 3. Fotografía del humedal en la desembocadura del río Lluta	56
Figura 4. Fotografía del valle de Azapa, vista desde el sitio San Lorenzo	57
Figura 5. Fotografía panorámica de la Quebrada de Camarones	57
Figura 6. Fotografía de laguna acuifera en la Quebrada de Camarones	58
Figura 7. Mapa satelital de los sitios Lluta 54 y Azapa 140	58
Figura 8. Mapa satelital de los sitios Camarones 8 y Camarones 9	59
Figura 9. Fotografía del sitio Lluta 54, sector del Huaylacan	59
Figura 10. Fotografía sitio Lluta 54, sector Huaylacan	60
Figura 11. Fotografía sitio Azapa 140, ladera Sur del Valle de Azapa	60
Figura 12. Fotografía de contextos funerarios destruidos, por acción de huaqueo	61
Figura 13. Fotografía del sitio Camarones 8	61



Figura 14. Fotografía del sitio Camarones 9	62
Figura 15. Dibujo esquemático de sacros en vista posterior	62
Figura 16. Dibujo esquemático de variantes normales del hueso sacro	63
Figura 17. Espina bífida oculta sacra. Sitio Camarones 8 Tumba A2	63
Figura 18. Espina bífida oculta sacra. Sitio Camarones 9 Tumba 12	64
Figura 19. Espina bífida oculta sacra. Sitio Camarones 9 Tumba 39	64
Figura 20. Espina bífida oculta sacra completa. Sitio Azapa 140 Tumba 36	65
Figura 21. Gráfico comparativo de la frecuencia de espina bífida oculta por sitio	65
Figura 22. Hueso sacro vista posterior. Sitio Lluta 54 tumba 20	66
Figura 23. Hueso sacro vista posterior. Sitio Azapa 140 tumba 38	66
Figura 24. Gráfico comparativo de la frecuencia de espina bífida oculta	67



RESUMEN

La quebrada de Camarones, ubicada en la XV Región de Arica y Parinacota en el extremo norte de Chile, se caracteriza por su ambiente desértico, marcadamente arsenical, poblaciones habitando el área hace más de 7.000 años y evidencia de arsenicismo crónico en las poblaciones prehispánicas y actuales. La exposición crónica al arsénico produce daño multisistémico, y puede inducir malformaciones congénitas especialmente relacionadas al desarrollo del tubo neural, entre las cuales la espina bífida es una de las más comunes.

Se analizó una muestra prehispánica de 120 individuos adultos, en busca de evidencia de espina bífida oculta sacra en las colecciones: Camarones 8, Camarones 9, Azapa 140 y Lluta 54, depositadas en el Museo Universidad de Tarapacá de Arica- San Miguel de Azapa. El diagnóstico se consideró positivo cuando se encuentran afectadas al menos la S1, S2 y/o S3. Se propone como hipótesis que la frecuencia de espina bífida oculta está relacionada con la exposición crónica al arsénico ambiental.

Los resultados arrojan que la muestra en estudio proveniente de la costa de la quebrada de Camarones registra una frecuencia en porcentaje de espina bífida oculta del 13,5%, frente a la muestra control de los valles Azapa y Lluta con un 2,4 % del total de los adultos estudiados. Dado que se trata de muestras contemporáneas (700 al 1.540 d.C.), en teoría no existirían diferencias significativas en dieta o conductas que pudieran estar generando tales diferencias, lo que junto a los datos obtenidos respaldan la hipótesis ambiental propuesta.



ABSTRACT

The Camarones River Valley, located in Region XV of Arica and Parinacota in the extreme north of Chile, is characterized by its arsenic marked environment and arid desert with human inhabitation for the past 7,000 years. Evidence exists for chronic arsenic poisoning in both prehispanic and present populations residing in the area. Chronic arsenic exposure causes multi-systemic problems, and can induce congenital malformations, especially associated with the development of the neural tube, of which spina bifida is one of the most common forms.

One-hundred and twenty prehistoric adult individuals were analyzed for evidence of spina bifida occulta of the sacrum in skeletal samples from the sites of Camarones 8, Camarones 9, Azapa 140 and Lluta 54, held in repository at the Museo Universidad de Tarapacá de Arica- San Miguel de Azapa. A diagnosis was considered positive when minimally S1, S2 and/or S3 were affected. The hypothesis tested is that the frequency of spina bifida occulta in these samples is the result of elevated exposure to arsenic from the environment.

The results identify samples from the Camarones coast with a frequency of spina bifida occulta of 13.5%, compared to the control sample from the Lluta and Azapa Valley with a frequency of 2.4%. Given that these were contemporaneous samples (700-1,540 A.D.), there should not have been any significant differences in diet or other factors that would have produced such differences in frequencies. The results support the hypothesis for an association with environmental exposure.



PRÓLOGO

Esta memoria de título se enmarca dentro del proyecto FONDECYT N° 1070575 denominado “Bioarqueología de Poblaciones Chinchorro, Norte de Chile: Estudio de las Condiciones de Salud en Ambientes Ecotóxicos, Mediante el Análisis Arsenical y Osteopatológico en Restos Momificados y Esqueletales” de los investigadores Bernardo Arriaza, Vivien Standen y Lorena Cornejo. Proyecto que busca verificar los efectos a la salud de las poblaciones humanas prehistóricas de la provincia de Arica, por la presencia de arsénico en el ambiente, a través del estudio de los niveles de arsénico actuales, en aguas, suelos y plantas de los valles de Lluta, Azapa, Vitor y Camarones, contrastándolas con distintas muestras de momias y a través análisis de paleopatologías óseas como: malformaciones congénitas, anemias y problemas en el crecimiento y desarrollo óseo.

La presente memoria de título intenta aportar al proyecto antes mencionado, a través de la formulación de una problemática puntual dentro de la gran gama de posibles patologías producidas por el arsenicismo crónico. Para ello se realizó una exhaustiva revisión bibliográfica sobre las consecuencias del arsenicismo crónico, concluyéndose que las patologías mejor relacionadas al arsenicismo crónico son las referidas a una falla en el desarrollo del tubo neural y de estas la más frecuentes es la espina bífida oculta, que aunque parece fácil de analizar presenta importantes desafíos a nivel metodológico, debido a la falta de consenso en ese ámbito.



I. INTRODUCCIÓN

Hoy en día sabemos, gracias a estudios epidemiológicos, que existe un sinnúmero de contaminantes ambientales, que acarrearán desfavorables consecuencias a la salud de las poblaciones afectadas. Muchos de estos contaminantes son producto de la acción antropogénica (actividad minera, industrial y uso de pesticidas, entre otros), a las que se suman sustancias tóxicas de origen natural, dentro de las cuales el metaloide arsénico es uno de los más comunes (Castro, 2004; Cornejo et al., 2003; Figueroa, 2001; WHO, 2005).

Una de las áreas más ecotóxicas de Chile, corresponde a la quebrada de Camarones, ubicada en el extremo Norte del país en la XV Región de Arica y Parinacota; se caracteriza por su ambiente marcadamente desértico, con niveles de arsénico en el agua que varían según la época del año y el sector a lo largo del valle, en un rango de 1.000 a 5.100 $\mu\text{g L}^{-1}$. Estos valores son muy superiores a los 10 $\mu\text{g L}^{-1}$ de arsénico en agua de bebida, que establece la Norma Chilena 409/1.Of2005, en concordancia con los límites establecido por la OMS y la Unión Europea a través de la Directiva 98/83/EC (Bundschuh et al., 2008) (Tabla 1).

La ruta más común de ingreso del arsénico al organismo humano, es a través del agua de bebida, el consumo de alimentos contaminados y la inhalación por vía respiratoria (WHO, 2001), ocasionando daño multisistémico, afecciones a la piel, desórdenes vasculares periféricos, neuropatías, anemia, hepatomegalia, hiperpigmentación, diarreas crónicas e incremento del riesgo a contraer cáncer (Borgoño et al., 1977; Centeno, 2002; Cornejo et al., 2003; Mansilla y Cornejo, 2001). Además trae consecuencias a la reproducción, crecimiento y desarrollo humano, ya que puede inducir abortos espontáneos, muerte perinatal, bajo peso al nacer y malformaciones congénitas (Hopenhayn-Rich et al., 2000, 2003).

Algunos elementos tóxicos son definidos como mutagénicos, cuando actúan a nivel celular alterando el ADN o teratógenos, cuando interfieren con el normal desarrollo del embrión o el feto. La etapa de mayor susceptibilidad frente a la acción de agentes



teratógenos, corresponde a los períodos somítico y prefetal, entre la 3^a y 8^a semanas del desarrollo embrionario, tiempo durante el cual se produce la organogénesis (Posada y Leyton, 1999).

Según los modelos propuestos, el arsénico inorgánico cruza la barrera placentaria y se acumula selectivamente en el neuroepitelio, incidiendo directamente en el desarrollo de malformaciones congénitas, especialmente relacionadas con el cierre del tubo neural (Desesso, 2001; Fem, 1977; Machado et al., 1999; Martín et al., 2003).

Las malformaciones congénitas se definen como alteraciones estructurales presentes al nacimiento, resultantes de una falla, detención o desviación del desarrollo durante la embriogénesis. Las alteraciones estructurales pueden ser tanto a nivel molecular, celular, tisular u orgánico (Posada y Leyton, 1999), siendo una de las formas más comunes de malformaciones congénitas, los defectos del tubo neural. Estos involucran una gran gama de malformaciones, relacionadas a las estructuras de soporte y contención del sistema nervioso central (Acuña et al., s.a.).

Una de las malformaciones más comunes del tubo neural es la espina bífida, ésta se produce por una falla en el proceso de formación y cierre del tubo neural, originando una apertura en la línea media del arco neural posterior de las vertebrae y la exposición de las estructuras neurales. Se diferencian dos categorías: espina bífida abierta o cística, en donde la médula y/o las meninges protruyen hacia el exterior y la espina bífida cerrada u oculta, sin protrusión de las estructuras neurales presentándose más frecuentemente en la región lumbo-sacra (Aufderheide y Rodríguez-Martín, 1998; Albrecht et al., 2007). En general la aparición de estos defectos es esporádica y rara vez consecuencia de anomalías cromosómicas o rasgos heredados (Nye et al., 1999; Posada y Leyton, 1999).

En algunos casos la espina bífida oculta es descrita como una anomalía anatómica que no produce manifestaciones clínicas, pudiendo pasar desapercibida durante toda la vida del individuo afectado (Aufderheide y Rodríguez-Martín, 1998; Boone et al., 1985). Sin embargo, la mayoría de los estudios concuerda en que la espina bífida oculta como tal, suele



relacionarse a una sintomatología específica que incluye: dolor, debilidad, sensación de hormigueo y/o entumecimiento de espalda y/o piernas; deformidades ortopédicas en piernas, pies y/o espalda; y cambios en la función intestinal, urinaria y/o sexual.

Esporádicamente se presentan manifestaciones externas en la piel de la región afectada por espina bífida, tales como: coloraciones o decoloraciones, vellosidad, un abultamiento por quistes sebáceos o una hendidura dérmica (Albrecht et al., 2007; Barnes, 1994; Galloway y Tainsh, 1985; Gordon, 1997; Kinsman, 2007; Saluja, 1988).

Gran parte de los estudios paleopatológicos de espina bífida oculta sacra, son netamente descriptivos y aunque intentan tener un enfoque epidemiológico, al determinar ocurrencia y posibles causas, no utilizan una metodología de diagnóstico replicable. Es común, por tanto, encontrar trabajos que incorporan casos con hiato sacro u otras variantes a la ocurrencia total de la patología, sobrevalorando su aparición e impidiendo definir la posibles causas de su origen (Barnes, 1994; Isidro y Malgosa, 2003).

Este estudio tiene por objetivo principal determinar la ocurrencia, distribución y posibles causas de la espina bífida oculta en el hueso sacro, bajo un enfoque paleoepidemiológico. Para ello se propone como criterio metodológico, considerar cuatro factores limitantes para su diagnóstico: 1) Existe dificultad para establecer su presencia en infantes; 2) Diferenciar entre espina bífida cística versus oculta; 3) Diferenciar entre espina bífida oculta y otras anomalías producidas en el crecimiento y desarrollo del arco neural posterior, que no involucran al tubo neural; 4) Establecer la presencia del hiato sacro como una variante normal en S4-S5 y S5 por sí sola.

Teniendo en cuenta que la etiología de la espina bífida, es preponderantemente multifactorial (genética, dieta y factores ambientales), con un significativo componente ambiental y considerando el efecto teratógeno del arsénico; se propone como hipótesis que la ocurrencia de espina bífida oculta en el sacro de la muestra de Camarones es mayor, con una diferencia estadísticamente significativa, en comparación con la muestra control de



Lluta y Azapa, donde los niveles de arsénico, se acercan más a la norma de $10 \mu\text{g}/\text{L}^{-1}$ de agua.

Esta hipótesis ambiental propuesta difiere de las teorías tradicionales sobre las posibles causas de una mayor ocurrencia de espina bífida oculta y busca entregar nuevos antecedentes paleopatológicos al estudio de la problemática del arsénico ambiental en la región.



II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general:

Esta investigación tiene como objetivo principal determinar la ocurrencia, distribución y posibles causas de la espina bífida oculta en el hueso sacro. Se evalúa la posible relación entre niveles de arsénico en el ambiente del valle de Camarones y la ocurrencia de espina bífida oculta en una muestra representativa de restos humanos prehispánicos proveniente de los sitios Camarones 8 y 9; para ello se compara la frecuencia de espina bífida oculta con una muestra control, proveniente de los sitios AZ 140 y Lluta 54.

2.2. Objetivos específicos:

- 2.2.1. Analizar sexo y edad y la distribución de estas variables en la muestra y muestra control.
- 2.2.2. Analizar la presencia y frecuencia de Espina bífida oculta en la muestra y muestra control.
- 2.2.3. Comparar la ocurrencia de Espina bífida oculta entre la muestra y muestra control.
- 2.2.4. Proponer una metodología replicable para la observación y estudio de la espina bífida oculta en esqueletos y momias.



III. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

3.1. Paleoepidemiología de la Espina Bífida Oculta

La paleoepidemiología es una disciplina científica que estudia, aplicando métodos de la epidemiología, la distribución, ocurrencia y determinantes de los factores relacionados con la salud y enfermedad de las poblaciones humanas del pasado. Al igual que la epidemiología clásica estudia la relación causa-efecto entre exposición y enfermedad, bajo la premisa de que las enfermedades no se producen de forma aleatoria; y por tanto deben tener una causal, que puede ser de origen socio-cultural o natural (Rothman, 1987).

En general la paleoepidemiología aplica el método científico formulando hipótesis, que intenta contrastar a través de metodologías replicables. Sin embargo, en relación a la epidemiología, la paleoepidemiología tiene importantes limitantes que son inherentes a la naturaleza del material de estudio y a los métodos de observación y diagnóstico utilizados. Los métodos de muestreo estadístico tienen limitaciones y no siempre pueden ser aplicados en contextos arqueológicos, debido a que sólo contamos con una muestra reducida de la población. Como regla general, nunca se excavan los sitios cementerios por completo y además, puede existir diferenciación de los sectores de entierro, ya sea por grupo étnico, de género, clases sociales, castas, entre otros, a los que se suman otros factores como la reutilización de los sitios, entierros aislados, mala conservación de éstos, etc., todo lo cual dificulta la representatividad de la muestra (Arsuaga y Perez, 1979, Wood et al., 1992).

El material osteológico constituye, debido a la escasez de material momificado, la primera fuente de información para la investigación paleopatológica, sin embargo la inespecificidad de las lesiones óseas al utilizar métodos y técnicas de observación macroscópica y radiológica, hace que los límites entre normalidad y anormalidad no siempre sean claros, los fenómenos patológicos se confunden con la variabilidad o con factores tafonómicos que pueden simular una patología o enmascarar otra (pseudopatología) (Arsuaga y Perez, 1979; Campillo, 1999; Ortner y Putschard, 1981). Es necesario entonces utilizar una metodología consensuada en paleopatología, que pueda ser replicada, que



permita determinar la verdadera ocurrencia de afecciones óseas y posibilite llegar a conclusiones sobre su etiología.

Los estudios paleoepidemiológicos deben idealmente, contribuir al mejoramiento de las condiciones de salud de las poblaciones actuales, al menos al dar una voz de alerta sobre las afecciones a la salud, que por parentesco genético o por condiciones ambientales similares, pueden estar afectando a las poblaciones del presente como en el pasado (Castro y Aspillaga, 2004).

En contextos bioarqueológicos muchos casos de espina bífida oculta han sido reportados en diversas regiones del mundo: Norte de África, Próximo Oriente, América y Europa en diferentes períodos. En contraste con los pocos casos informados de espina bífida cística (Aufderheide y Rodríguez-Martin, 1998; Turkel, 1989). Ejemplo de esta última es el reporte de Dickel y Doran (1989) que presentan un probable caso de espina bífida cística que abarca de L3 a S2 en un subadulto, con una data de 5500 a.C., éste presenta severos trastornos relacionados a la patología entre los que destaca escoliosis y atrofia difusa en huesos largos. Otro caso es el de un infante (6 años) reportado por Castro y Bonavia (1980) de Perú precolombino, con una data de 3000 a.C., presenta el arco neural posterior abierto desde la 5ª vértebra lumbar hacia caudal, afectando una 6ª lumbar (adicional) y todas las vértebras sacras.

La espina bífida oculta sacra en contextos bioarqueológicos ha sido en general asociada a grupos endogámicos y a aislamiento biocultural, ésta explicación se presenta en los trabajos de Ferembach (1963) para una población de Taforalt en Marruecos, con una data de 10070 a 8500 a.C. que presenta una ocurrencia de espina bífida oculta cercana al 33%; Rodríguez- Martin (1995) reporta que el 30% de la población Guanche de Tenerife en Islas Canarias, presenta espina bífida; Mas-Pascual et al. (2003) para la población del Hierro también en Islas Canarias reporta una ocurrencia de 28,7 %.

Para la población prehispánica del valle de Azapa en Arica y de Ica en Perú, Gerszten et al. (2001) reporta una ocurrencia de espina bífida oculta de 92%, así mismo



Allison y colaboradores (1982) reportan que más del 60% del total de individuos del sitio Azapa 140 del valle de Azapa en Arica, presentan espina bífida oculta. Ésta alta frecuencia se observa en poblaciones agroalfareras y en menor frecuencia en poblaciones más tempranas (Allison et al., 1982; Allison, 1989; Bordach, 2006). Como en todos los casos antes mencionados, se propone que la endogamia sería la principal causa de esta alta ocurrencia.

3.2. Arsénico y Paleopatología

Uno de los estudios pioneros en la problemática paleopatológica sobre la ingesta de arsénico durante la prehistoria, corresponde al trabajo de Borgoño y Greiber (1971), quienes analizaron 51 muestras extraídas de 35 momias naturales. El estudio dio por resultado que el pelo de las momias presentaba concentraciones en un rango de 0,8-3,8 mg. de arsénico por cada 100 g. del espécimen (8-38 ppm); la muestra de músculo dio un rango de 0,5 a 0,9 ppm; la muestra de hueso compacto 9,0 ppm; la de hueso esponjoso 24,8 ppm; y los dientes niveles de 1,2 ppm (Aufderheide y Rodríguez-Martin, 1998). Considerando que se debían consumir cerca de dos litros de agua diarios y que ésta es la principal vía de ingreso del arsénico al organismo, la ingesta debía ser aproximadamente de 2 mg de As por día, concluyéndose una alta ingesta de arsénico durante la prehistoria (Borgoño y Greiber, 1971).

Figueroa y colaboradores (1988) decidieron abordar la problemática del arsénico desde la paleopatología, considerando que el ambiente del valle de Camarones se caracteriza por sus altos niveles de de arsénico, se analizaron 31 momias naturales del Cementerio Camarones-9 pertenecientes al período tardío (Inca). Los resultados indican que el 83,9% de las momias presentaba alguna lesión en la piel, teniendo una alta correlación con la edad y el grado de severidad de estas lesiones; se presentaron en menor porcentaje órganos lesionados, no encontrándose en éstas lesiones una correlación con la edad. Se determinó, además, que el 100% de las momias presentaba niveles de arsénico significativos en grados variables dependiendo del órgano analizado, con un rango que va de 0,009 a 0,59 $\mu\text{g/g}$., a



través de este estudio se verificó la presencia de arsenicismo crónico en el valle de Camarones durante la prehistoria (Figueroa et al., 1988).

Arriaza (2005b) ha postulado que la práctica de momificación artificial Chinchorro, la más antigua del mundo, tendría su origen en un arsenicismo crónico de la población costera del valle de Camarones. Esta teoría se sustenta en el supuesto de que la alta ingesta de arsénico habría tenido como consecuencia altas tasas de abortos espontáneos, nacidos prematuros, y muerte prenatal, neonatal, postneonatal e infantil, con una consecuente reacción cultural de la población, que los llevaría a momificar intencionalmente a sus fetos e infantes en función de preservar y mantener a los individuos dentro del grupo familiar. Práctica mortuoria que luego se extendería dentro de la población, a otros grupos étnicos.

El arsenicismo crónico ha sido utilizado en investigaciones arqueológicas, incluso como un marcador migracional, que indicaría la residencia en el valle de Camarones por más de 4 años, tiempo que demorarían en manifestarse clínicamente las afecciones relacionadas al consumo crónico de arsénico (Allison, 1989).

Estudios paleopatológicos no han identificado lesiones esqueléticas que puedan clasificarse como características del arsenicismo crónico (Aufderheide y Rodríguez-Martin, 1998), sin embargo, las altas concentraciones de este metaloide, a las que estuvieron expuestas las poblaciones que habitaron el valle de Camarones durante la prehistoria y dadas las características teratógenas del arsénico, que afecta en especial el normal desarrollo del tubo neural, se esperaría observar una mayor frecuencia de espina bífida oculta en la quebrada de Camarones que en los valles de Lluta o Azapa, donde los niveles de arsénico son más cercanos a la norma.



IV. MARCO TEÓRICO

4.1. Desarrollo Normal del Tubo Neural y la Columna Vertebral.

Durante la cuarta semana de gestación se forman los primordios de los órganos y la conformación de la estructura vertebrada básica, a partir de la diferenciación de los somitos y del sistema nervioso. Durante este proceso los somitos se dividen en tres tipos de primordios mesodérmicos: esclerotomos, miotomos y dermatomos. Los esclerotomos originan los cuerpos y arcos vertebrales y contribuyen a la formación de la base del cráneo, los miotomos se diferencian en la musculatura segmentaria de la espalda, y pared anterolateral del cuerpo y los dermatomos dan lugar a parte de la dermis del cuero cabelludo, del cuello y del tronco (Larsen, 2003; Otárola y Rostion, 2007).

A principios de la cuarta semana (22 a 23 días) se inicia la neurulación, proceso de transformación de la placa neural en tubo neural, que ocurre mediante un proceso de plegamiento hacia ventral y fusión de los pliegues neurales en la línea media, estos establecen su primer contacto el día 22. Esta fusión se produce en direcciones craneal y caudal en la futura región cervical del embrión, donde se desarrollaron los primeros somitos, quedando solamente unas pequeñas zonas no fusionadas en ambos extremos. Las zonas no fusionadas se denominan neuroporos craneal y caudal. La abertura craneal se cierra alrededor de los días 24 o 25 de gestación y el neuroporo caudal lo hace el día 27 o 28 a nivel del somita 31 (Larsen, 2003; Otárola y Rostion, 2007).

Hacia la octava semana se produce la denominada neurulación secundaria, proceso de formación de la porción más caudal del tubo neural, que involucra los niveles sacro inferior, coccígeo y la extensión caudal de las cubiertas de la médula espinal que se forman a partir de la prominencia caudal (Larsen, 2003; Otárola y Rostion, 2007).



4.2. Malformaciones Congénitas y Defectos del Tubo Neural.

Las malformaciones congénitas se definen como alteraciones estructurales presentes al nacimiento, resultantes de una falla, detención o desviación del desarrollo durante la embriogénesis. Las alteraciones estructurales pueden ser tanto a nivel molecular, celular, tisular u orgánico (Posada y Leyton, 1999).

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) se estima que entre el 3 y el 5% de los nacidos vivos presenta alguna malformación congénita, constituyendo en la actualidad una de las principales causas de mortalidad neonatal en los países desarrollados. Este porcentaje estimado no incluye a los abortos y mortinatos producidos por problemas durante el desarrollo embrionario, que podría ascender a cerca del 68% (Posada y Leyton, 1999).

Las malformaciones congénitas tienen etiología diversa, pudiendo ser causados por factores genéticos, ambientales y mixtos o multifactoriales, que involucra una predisposición genética y condiciones ambientales desencadenantes. Las causas genéticas son responsables de alrededor del 18% de las malformaciones congénitas, en tanto los factores ambientales sólo explicarían el 7%, las causas multifactoriales son responsables del 25% y el 50% restante es de etiología desconocida (Posada y Leyton, 1999).

La tasa de malformaciones congénitas de causa genética ha ido en aumento a nivel mundial, gracias a un mejor diagnóstico, distinguiéndose principalmente anomalías monogénicas (mutaciones) y anomalías cromosómicas. Las anomalías monogénicas involucran: fallas en los genes autosómicos dominantes, en genes recesivos y ligadas al cromosoma X o Y. Un gran número de anomalías son resultado de la acción de productos mutágenos, que pueden poner en riesgo la viabilidad del embrión o generar síndromes con diversos signos clínicos. Las anomalías cromosómicas pueden afectar a los cromosomas sexuales y/o autosómicos, existen alteraciones cromosómicas numéricas, estructuras, mosaicos y quimeras, que van a generar diferentes cuadros clínicos dependiendo del tipo de alteración y a qué cromosomas afecta (Posada y Leyton, 1999).



Una de las formas más comunes de malformaciones congénitas corresponde a los defectos del tubo neural, que alteran a las estructuras del sistema músculo-esquelético que dan protección al sistema nervioso central, pueden ocurrir en forma aislada o formando parte de un síndrome. Estos desordenes involucran una gran gama de malformaciones relacionadas a las estructuras de soporte y contención del sistema nervioso central (Acuña et al., s.a.).

Dentro de las fallas del tubo neural los grados de severidad pueden variar, siendo muchas de estas incompatibles con la vida. Cerca de la mitad de los casos corresponden a anencefalia, la que consiste en ausencia o desarrollo deficiente de gran parte de la bóveda craneana y por tanto la gran mayoría de los infantes nacen muertos o mueren al corto plazo. La otra mitad de los casos corresponden a fallas en el cierre a lo largo del tubo neural, el que se produce en dirección céfalo-caudal, que dependiendo del nivel afectado puede producir malformaciones como encefalocele, al afectar el desarrollo de los huesos craneales o espina bífida cuando afecta al conducto raquídeo (Acuña et al., s.a.).

La espina bífida consiste en el cierre incompleto en la línea media del arco neural, pudiendo diferenciarse dos categorías: Espina bífida abierta o cística y espina bífida cerrada u oculta (Aufderheide y Rodríguez-Martin, 1998; Ghi et al., 2006). La espina bífida abierta o cística (SBA) es la forma más severa y puede ser fatal, dentro de esta clasificación se reconocen tres grados de severidad: a) Meningocele: las meninges y las raíces nerviosas protruyen a través de la apertura defectuosa del arco neural posterior, pero la médula espinal permanece en el canal vertebral; b) Mielomeningocele: la medula espinal junto con las meninges protruyen a través del área defectuosa; y c) Mielocele: La piel y la dura madre no cierran en el lugar del defecto, pudiendo ocasionar la muerte del infante por infección, ocurrida durante el nacimiento (Aufderheide y Rodríguez-Martin, 1998; Ghi et al., 2006).

La espina bífida oculta (SBO) se define como la incompleta fusión del arco neural posterior, que involucra uno o más segmentos sacros. Generalmente las meninges o estructuras neurales no protruyen y el defecto puede pasar inadvertido durante toda la vida



del individuo afectado. En general esta categoría tiene mucho mejor pronóstico, siendo en muchos casos una patología asintomática, solo detectada en exámenes radiológicos de rutina. La prevalencia de espina bífida en S1 es alta, presentándose en un 5 a 25% de la población (Aufderheide y Rodríguez-Martin, 1998).

La espina bífida tiene una causa preponderantemente multifactorial con un significativo componente ambiental (Nye et al., 1999). En general la aparición de estos defectos es esporádica y rara vez consecuencia de anormalidades cromosómicas o rasgos heredados, aunque se ha determinado que incrementa el riesgo que un infante nazca con espina bífida si en su familia existen antecedentes de esta malformación (Acuña et al., s.a.).

Dentro de los factores ambientales de riesgo destaca el estado nutricional de la mujer antes y durante el embarazo, la deficiencia de folatos en la dieta es causa directa de un gran porcentaje de malformaciones del tubo neural. El ácido fólico se encuentra presente en forma natural, según orden de importancia en: cereales, legumbres, frutas cítricas, coles, verduras de hojas verdes y oscuras, en hígado de ave y vacuno, y en menor proporción en carnes rojas, blancas y en mariscos (Acuña et al., s.a.). En Sudamérica precolombina el acceso al ácido fólico debió ser a través del consumo de alimentos cultivados como el poroto (*Phaseolus vulgaris*), la quínoa (*Chenopodium quinoa*) y el maíz (*Zea mays*), y de los productos carneos y de mariscos.

Se ha comprobado que incorporar a la dieta alimentos ricos en ácido fólico o consumir suplementos de este, disminuye enormemente el riesgo de aparición de espina bífida y otras malformaciones congénitas en general (Acuña et al., s. d.). Esto ha sido demostrado por las investigaciones del Centro para el Control y la Prevención de Enfermedades (CDC), donde se calcula que si toda mujer en condiciones de quedar embarazada consumiera diariamente 400 mg. de ácido fólico, se prevendrían el 50 a 70% del total de casos de espina bífida y anencefalia (Acuña et al., s.a.).

Otro importante factor de riesgo ambiental es la exposición de la mujer antes y durante el embarazo a agentes teratógenos, dentro de estos se distinguen agentes químicos,



físicos e infecciosos entre otros, que pueden ser de origen natural o consecuencia de la acción antropogénica. |

4.3. Arsénico Ambiental

En Sudamérica las zonas más afectadas por la presencia de arsénico corresponden al norte chileno, noroeste argentino, sur peruano y suroeste boliviano, entre el paralelo 14° y 28° sur. Tiene su origen en la cordillera de Los Andes, encontrándose principalmente en napas freáticas, ríos y lagos, con una dispersión definida y focalizada aunque diseminada regionalmente y con concentraciones muy variables (Castro, 2004, 2006; Fernández-Turiel et al., 2005; Figueroa, 2001; WHO, 2005).

El norte de Chile, entre los 17°30'S y 28°30'S, tiene un área de aproximadamente 250.000 km², de los cuales 35.000 km² corresponden a rocas cuaternarias, existiendo también en esta zona 420 volcanes, algunos de los cuales se encuentran activos (Bundschuh et al., 2008). Esto condiciona algunas de las características tóxicas del agua, como la presencia de boro, flúor, sílice, vanadio, litio y arsénico, entre otros.

El arsénico en su forma orgánica e inorgánica tiene un origen natural en Chile, se disuelve desde los suelos movilizándose hacia los cuerpos de agua a través de procesos biogeoquímicos, cambios en el pH, volcanismo y acción microbiológica (Bundschuh et al., 2008), se encuentra en aguas subterráneas y superficiales, en los suelos, plantas, animales y aire (Castro, 2004, 2006).

El arsénico inorgánico se encuentra presente en forma natural en los distintos ecosistemas de los valles de la Región de Arica y Parinacota, condicionando la salud de la población que habita la zona desde hace 10 mil años hasta la actualidad (Arriaza, 2005a). Los ríos de los valles de Azapa, Lluta y Camarones presentan distintos niveles de concentración, siendo Azapa el que presenta concentraciones más cercanas a la norma con aproximadamente 20 µg L⁻¹; Camarones en el otro extremo presenta un rango de 1.000 a 5.100 µg L⁻¹, esto es cien a quinientas veces más arsénico de lo normado como límite



máximo, encontrándose además, en sustratos del suelo y en vegetales cultivados de comunidades rurales que utilizan el agua del río para regadío (Bundschuh et al., 2008).

Dado que los efectos del arsénico tienen una alta correlación dosis-respuesta, a mayor nivel de concentración de arsénico en el ambiente mayor va a ser la ingesta, mayor acumulación en los tejidos y por tanto efectos más severos. Al mismo tiempo existe una alta correlación entre el tiempo de exposición y los efectos en la salud, es decir, mientras más viva una persona en una región arsenical, presentará mayor número de patologías asociadas al arsenicismo y mayor gravedad de las lesiones desarrolladas (Figueroa et al., 1988; Rivara y Corey, 1995; Ferreccio et al., 1998, 2000).

En el agua el arsénico se encuentra especialmente en su forma reducida o trivalente, el arsenito (AS III) que predomina en aguas profundas y en forma oxidada o pentavalente el Arseniato (AS V) que predomina en aguas superficiales. En general, los compuestos arsenicales inorgánicos son más tóxicos que los orgánicos y el arsenito es más tóxico que el arseniato (WHO, 2001). En Camarones se presenta principalmente Arseniato (AS V) lo que disminuye el impacto a la salud de la población a nivel epidemiológico, si se compara por ejemplo con regiones de Argentina que tienen concentraciones de arsénico menores pero con efectos para la población más severos (Bundschuh et al., 2008).

La ruta más común de ingreso del arsénico inorgánico al organismo humano, es a través del agua de bebida, del consumo de alimentos contaminados y de la inhalación por vía respiratoria (Fernández-Turiel et al., 2005). El arsénico ingerido es absorbido y eliminado gradualmente por metilación, siendo filtrado en los riñones y excretado en la orina. Cuando los niveles de arsénico ingeridos son mayores que los excretados, este se acumula en el tejido ectodérmico, cabello, uñas, piel, huesos, músculos y en menor medida en hígado y riñones (Castro, 2004, 2006; Centeno et al., 2002). La exposición crónica al arsénico inorgánico produce múltiples efectos nocivos a la salud, que se han agrupado en lo que se denomina Arsenicosis o Hidroarsenicismo crónico regional endémico (HACRE), pudiendo ser ordenadas según el sistema afectado:



- 4.3.1. Sistema Respiratorio: Coriza crónica, sinusitis, faringotraqueobronquitis, bronquiectasia, neumonía crónica y cáncer broncopulmonar (Puga et al., 1973; Ferreccio et al., 1998, 2000; Hopenhayn-Rich et al., 1998).
- 4.3.2. Sistema Digestivo: Diarreas crónicas, dolor abdominal, cirrosis, falla hepática, diabetes mellitus, carcinoma y angiosarcoma (Puga et al., 1973; Borgoño et al., 1977; Centeno et al., 2002).
- 4.3.3. Piel: Melanodermia con puntos leucodermicos, principalmente en las zonas axilar, inguinal y áreas de flexión en los miembros. Además se incluye acrodermatitis atrófica, queratosis, hiperqueratosis, paraqueratosis, hipopigmentación, hiperpigmentación, carcinoma de células escamosas, carcinoma de células basales y fibrosis (Puga et al., 1973; Smith et al., 2000a; Fernández et al., 2005).
- 4.3.4. Sistema Nervioso: Polineuritis, Neuropatías y Retinopatías (Puga et al., 1973; Cebrián et al., 1994).
- 4.3.5. Sistema cardiovascular: hipertensión, arteriosclerosis, cardiopatías, enfermedades vasculares periféricas, endoangiítis, arteritis obstructiva, síndrome de Raynaud, isquemias, enfermedad de pie negro, gangrena en las extremidades, enfermedades microvasculares y anemias, (Cebrián et al., 1994; Puga et al., 1973, Chiou et al., 2005).
- 4.3.6. Sistema Urinario: Fallas renales, nefritis túbulointersticial, cánceres vesical y renal (Rivara y Corey, 1995; Hopenhayn-Rich et al., 1998; Vanholder et al., 2002).
- 4.3.7. Sistema reproductor: Alta incidencia de abortos espontáneos, nacidos prematuros, nacidos muertos, bajo peso al nacer, malformaciones congénitas (Ahmad et al., 2001; Hopenhayn-Rich et al., 2000).

En Antofagasta, II Región del norte de Chile los niveles de arsénico entre 1955 a 1970 presentaron una concentración media ponderada de $598 \mu\text{g}/\text{L}^{-1}$, con una población



total expuesta de 265.000 personas por más de 12 años y en comunidades rurales por casi 40 años (Cebrián et al., 1994). Durante 1960 fueron detectadas las primeras manifestaciones dermatológicas, especialmente en niños, severos casos de patologías sistémicas fueron atribuidas al arsenicismo, entre las que destacan: bronquiectasias, melanosis arsenical, trombosis mesentérica, infarto al miocardio, isquemia y síndrome de Raynaud (episodios vasoespásticos isquémicos en manos y pies, que se caracteriza por cambios en la coloración cutánea distal, como cianosis o palidez seguida de rubor intenso) (Borgoño et al., 1977; Puga et al., 1973).

Estudios epidemiológicos realizados entre 1994 a 1996, en las provincias de Arica e Iquique, Antofagasta y Copiapó (XV, I, II y III Regiones), han concluido que existe fuerte evidencia de una relación “dosis-respuesta” entre el promedio de arsénico ingerido y el riesgo a contraer cánceres internos (Vesical, broncopulmonar y renal), aumentando este riesgo proporcionalmente al tiempo de exposición y a la dosis ingerida (Ferrecio et al., 1998, 2000; Rivara y Corey, 1995).

Por otro lado Smith y colaboradores (2000b) han postulado que la población indígena atacameña, presenta una resistencia adaptativa a los efectos en la salud que producen los altos niveles de arsénico en el agua de bebida, producto de cientos de años de exposición. Para estudiar esta hipótesis Smith y su equipo realizaron un estudio sobre lesiones en la piel a once familias residentes en la zona de Chiu Chiu, provincia de Atacama, donde el agua de bebida contenía 750 a 800 $\mu\text{g}/\text{L}^{-1}$ de arsénico, este grupo fue comparado con ocho familias de la villa de Caspana como grupo control.

De acuerdo a los resultados obtenidos se determinó que cuatro de los seis hombres que estuvieron expuestos al arsénico en agua de bebida por más de 20 años, presentaban lesiones en la piel; no registrándose casos de mujeres mayores afectadas y sólo dos casos en adolescentes. A pesar de que la población Atacameña ha estado expuesta a un consumo crónico de arsénico por largos períodos de tiempo, no presenta un número de casos alarmantes, lo que hace plantear a los investigadores, que más que un fenómeno adaptativo,



tendría relación a una buena nutrición y a la ingesta de vitamina A en la dieta, lo que permitiría una mayor resistencia a los efectos del arsénico. Esto que ha sido interpretado como una respuesta cultural de la población hacia un fenómeno endémico que ha afectado la salud de la población por generaciones (Smith et al., 2000b).

En 1998 a nivel estatal se realizó un proyecto de desarrollo de la línea base de agua, alimentos y aire, el que incluía un estudio de análisis de riesgo a la salud relacionado con la exposición al arsénico, la toma de muestras para el agua y los alimentos se realizó en todo el país y el muestreo de aire sólo en la zona norte y centro de Chile. A través de un estudio ecológico de casos y controles se relacionó las tasas de muertes por cánceres internos de pulmón, vejiga, hígado, piel y riñón, con los niveles de arsénico. Los resultados indicaron que la vía de ingreso más común del arsénico al organismo humano en la zona norte, corresponde al agua potable (41,7% a 85,3%), observándose un fenómeno similar en Santiago y Rancagua (72,7% y 69,3%), para el Sur, en cambio, la exposición es principalmente a través de la dieta. La contribución del aire es en general de aproximadamente el 1%, con excepción de la ciudad de Copiapó donde esta cifra se eleva a un 12,2%. La mayor tasa de mortalidad por cánceres de pulmón, piel y vejiga se encuentra en la zona norte, demostrándose con ello que estas elevadas tasas de muertes son atribuibles a la exposición crónica al arsénico. Se concluyó que existe un riesgo relativo de contraer cánceres de vejiga urinaria, pulmón, hígado, riñón y laringe, así también, enfermedades cardíacas, isquemias, enfermedades respiratorias crónicas y dermatosis arsenical crónica (Castro, 2004, 2006).

En la reproducción humana diversos estudios han sido realizados para determinar las consecuencias del consumo crónico de arsénico, tanto en estudios de poblaciones afectadas como en animales de experimentación, los resultados son bastante concluyentes: aumenta la tasa de abortos espontáneos, nacidos prematuros, malformaciones congénitas y muerte prenatal neonatal y neonatal. A través de un análisis retrospectivo, se evaluaron patrones de tiempo y localización de la mortandad infantil entre 1950 y 1996, utilizando estadísticas univariantes, técnicas gráficas y análisis de regresión lineal de Poison. Al analizar



las tendencias de mortandad infantil asociados a la exposición al arsénico en las ciudades de Antofagasta, por sus históricos y elevados niveles de este metaloide y Valparaíso como muestra control por presentar niveles de 1 µg/L. Los resultados indicaron altas tasas de mortalidad fetal, neonatal y postneonatal en Antofagasta, en comparación a lo observado para Valparaíso. El análisis de regresión lineal indicó una asociación entre la exposición al arsénico y la mortandad fetal, neonatal y postneonatal, disminución del crecimiento y desarrollo fetal (Hopenhayn-Rich et al., 2000, 2003).

El arsénico ingerido a través del agua o los alimentos cruza la barrera placentaria, afectando el normal desarrollo del embrión, causando malformaciones congénitas (Ahmad et al., 2001; Centeno et al., 2002). Además como ya se ha mencionado, incrementa evidentemente el riesgo de abortos espontáneos, nacidos prematuros, bajo peso al nacer, daño sistémico en neonatos y muerte de infantes (Milton et al., 2005; Ahmad et al., 2001; Hopenhayn-Rich et al., 2000, 2003). También el arsénico es traspasado de la madre al hijo en la leche durante el amamantamiento, produciéndose en lactantes las primeras manifestaciones patológicas, con trastornos digestivos agudos y crónicos, seguido de tos persistente y signos catarréales bronquiales, lo que al agravarse puede conducir a la muerte del lactante (Puga et al., 1973, Cebrián et al., 1994).

4.4. El Arsénico como Agente Teratógeno

En general se acepta que el arsénico está relacionado al desarrollo de malformaciones congénitas, que afectan especialmente el tubo neural y sus derivados, que incluyen deformidades de costillas y síndromes. La acción teratógena del arsénico ha sido un tema de controversias, debido a que la gran mayoría de los modelos propuestos se basan en estudios en animales, a los cuales se les inyecta vía intravenosa e intraperitoneal altas dosis de arsénico inorgánico durante el período de cierre del tubo neural, con el objetivo de investigar la patogénesis de los defectos del tubo neural. Los resultados y conclusiones de estas investigaciones han sido cuestionados por los protocolos utilizados (Desesso, 2001; Ferm, 1977).



Otros estudios en animales, administran el arsénico por vía oral a través del agua y los alimentos y los resultados han indicado una relación directa entre malformaciones del tubo neural y el consumo de arsénico, aunque la severidad de las malformaciones es menor, en comparación con la administración vía inyectable de compuestos arsenicales (Desesso, 2001; Ferm, 1977).

A pesar de los estudios experimentales, aún no es aceptado del todo que los modelos propuestos, puedan aplicarse a los seres humanos, principalmente debido a que la mayoría de los estudios poblacionales, no llegan a resultados concluyentes por la dificultad que representa testear cada caso e incluso detectar la presencia de espina bífida (Desesso, 2001; Ferm, 1977).

A pesar de las controversias el arsénico consumido en altas dosis de forma crónica o en los períodos críticos de la embriogénesis, es aceptado como un elemento teratógeno fuertemente vinculado al desarrollo de defectos del tubo neural (Ferm, 1977; Machado et al., 1999), sin embargo, faltan estudios epidemiológicos determinantes, para áreas reconocidamente arsenicales como el Norte de Chile.



V. MARCO GEOGRÁFICO CULTURAL

5.1. Contexto Geográfico

Según la división político administrativa de Chile, desde el 8 de abril de 2007 la provincia de Arica es parte de la XV Región de Arica y Parinacota (antes I Región de Tarapacá), localizada en el extremo Norte de Chile en la denominada Área Centro Sur Andina de América del Sur (Lumbreras, 1981). Comprende las comunas de Arica y Camarones, la primera alberga la mayor densidad poblacional, con el 97,5% de la población total de la región (INE, Censo 2002).

La provincia de Arica, según las fronteras político geográficas actuales, limita al Norte con la Provincia de Tacna en el Perú; al Sur con la provincia de Iquique; al Este con la provincia de Parinacota; y al Oeste con el Océano Pacífico, todas del territorio chileno. En cuanto a las condiciones climáticas preponderantes de la zona, en general, el Norte Grande se caracteriza por su extrema aridez, con un 70% de superficie de desierto absoluto.

5.1.1. Unidades Orográficas

La provincia de Arica, específicamente, se caracteriza por presentar tres zonas ecológicas o unidades orográficas diferenciadas: la franja costera, la cordillera de la costa y la depresión intermedia.

5.1.1.1. Franja Costera:

En la costa impera el desierto absoluto con casi nulas precipitaciones, conformándose verdaderos oasis en las zonas de desembocadura de ríos o gracias a la existencia de napas freáticas llamadas Chimbas (Santoro, 2001). La vegetación es principalmente de tipo xeromorfa, como el churco, cactáceas, palo negro y yuyo, abundan aves marinas y terrestres como pelícanos, alcatraces, cormoranes y piqueros, además, se presentan mamíferos como lobos marinos, chungungos, chillas y murciélagos entre otros (Carmona, 2006). Se presentan amplias playas sólo interrumpidas por el farellón costero de



la cordillera de la costa que cae abrupta al mar, el intermareal presenta zonas de roqueríos donde se albergan gran cantidad de mariscos y crustáceos, gracias a la corriente fría de Humboldt y a los componentes orgánicos aportados por los ríos y quebradas, abundan además, gran variedad de peces como la anchoveta, jurel, atún, albacora, cabrilla, caballa, lenguado, etc. (Carmona, 2006; Santoro, 2001).

5.1.1.2. Cordillera de la Costa:

Macizo murallón montañoso que nace en el cerro Camaraca a 20 Km. al sur de Arica, con una altura media de 2000 m.s.n.m. Su frente oriental empalma suavemente con la depresión intermedia, mientras que el occidental cae abruptamente al mar impidiendo la formación de las planicies costeras (Carmona, 2006). La gran altura del cordón montañoso actúa como un biombo impidiendo el paso de las neblinas costeras hacia el interior, acentuando las condiciones de aridez. El frente occidental presenta vegetación donde predominan las cactáceas y alberga animales como el zorro, aves, lagartijas e insectos, gracias a la presencia de neblina costera o camanchaca (Santoro, 2001).

5.1.1.3. Depresión intermedia:

Se caracteriza por presentar amplias planicies o pampas que aumentan en altura suavemente hacia el oriente hasta encontrarse con la precordillera, presenta una altura media aproximada de 1400 m.s.n.m. y un ancho promedio de 30 Km., con condiciones de hiperaridez debido a las nulas precipitaciones, la única humedad proviene de las camanchacas que permiten la existencia de un mínimo de vegetación como el clavel del aire (Carmona, 2006; Santoro, 2001).

En la provincia de Arica el desierto absoluto de la pampa es cortado por cuatro quebradas o valles transversales creados por el curso de los ríos Lluta, Azapa, Vitor y Camarones, de los cuales sólo el río Lluta lleva caudal permanente que desemboca al mar, los otros dos presentan un curso intermitente con bajada de caudal en época estival. La existencia de los valles y quebradas brindan agua dulce y posibilitan la existencia de



vegetación como la totora, el tomatillo, el chañar, el algarrobo del norte y el pimiento, la presencia de fauna como culebras, pequeños marsupiales, batracios, murciélagos y lagartos, aves como el caudillo de cresta blanca y la dormilona de nuca rojiza del norte, entre otras (Carmona, 2006; Santoro, 2001).

5.1.2. Los Valles Transversales

Debido al especial interés de este estudio por tres de los valles de la provincia de Arica, el valle de Lluta, Azapa y la quebrada de Camarones (Figura 1), serán descritos a continuación:

5.1.2.1. El Valle de Lluta

Es una cuenca hidrográfica con una hoya de 3450 Km², entre las coordenadas 18°-18°30' S. y 70°20'-69°22' W. Nace en la cordillera de Los Andes a los pies del volcán Tacora, descendiendo hacia el sur por más de 80 Km. donde recibe distintos afluentes que le permiten mantener un caudal permanente que desemboca al mar (Santoro et al., 2000a). El Lluta es el único río exorreico de la provincia, alcanza sus mayores crecidas durante la época estival producto de las precipitaciones alto andinas, sus principales tributarios son el río Azufre y las Quebradas de Caracarani, Colpitas y Socoroma.

Hacia el interior del valle de Lluta el clima es hiperárido, con marcadas oscilaciones térmicas entre el día y la noche. Se encuentra conformado por estrechas terrazas expuestas a constante erosión, alcanzando una altitud aproximada de 1800 m.s.n.m., el suelo es de tipo limoso, salino y sus aguas arrastran consigo gran cantidad de sales y minerales como el boro, mercurio y arsénico, entre otros. A medida que el valle se acerca a la costa, las condiciones son mucho más favorables, con temperaturas estables y mayor humedad, con tierras fértiles que posibilitan la agricultura, que en la actualidad se extiende por más de 2700 hectáreas (Santoro et al., 2000a) (Figura 2).

En la costa la desembocadura crea un humedal, en el sector denominado playa Las Machas, 10 kilómetros al norte del centro de la ciudad de Arica, abarca una superficie



aproximada de 300 hectáreas. Su fuente hídrica la constituye el Río Lluta y aguas freáticas que forman pequeñas vegas, la temperatura promedio anual alcanza los 18° C. La flora está constituida por 20 especies entre las que destacan la Grama salada (*Distichlis spicata*), Aliso (*Tessaria intergrifolia*), Chingoyo (*Pluchea chingoyo*), Totora (*Scirpus sp.*), Chilca (*Baccharis petiolata*), Cola de caballo (*Equisetum giganteum*) y Cola de zorro (*Cortaderia speciosa*) (Figura 3), además, alberga una gran diversidad de especies de avifauna acuática local y/o migratoria.

El agua del río Lluta es salobre, con alto contenido de arsénico y boro del orden de hasta 200 y 40 mg L⁻¹ respectivamente, lo que afecta la calidad de los suelos y limita el desarrollo agrícola a pesar de la mayor disponibilidad de agua para riego, debido a que la mayoría de los cultivos presentan problemas de toxicidad a partir de una concentración superior a los 3 mg L⁻¹ de boro. El arsénico por su parte limita el uso del agua para consumo humano, todo lo cual crea una desventaja de Lluta respecto a Azapa a pesar de compartir características similares en cuanto a clima y suelo (Bundschuh et al., 2008).

5.1.2.2. El Valle de Azapa

El suministro hídrico del valle de Azapa proviene del río San José, que nace en la cordillera Central en el límite poniente del Altiplano Andino. Hacia el interior los cursos superiores del río se caracterizan por presentar cauces estrechos, encajonados y sinuosos y un caudal permanente pero en cantidades reducidas, rodeado de un clima hiperárido. En su curso medio el cauce se ensancha y pierde su caudal permanente, presentando napas subterráneas que permiten la formación de suelos fértiles limo-arenosos. Sólo en los meses estivales del invierno altiplánico, el caudal del río en forma de torrente logra alcanzar su curso inferior y llegar al mar (Campos et al., 2007).

En el curso medio e inferior del río San José en el valle de Azapa, las benignas temperaturas de aproximadamente 19,3°C en promedio, la humedad proveniente de la costa y un clima con influencia tropical, posibilitan el cultivo de diversos productos tropicales y subtropicales como yuca, porotos, camotes, zapallo, ají, tomate, algodón y árboles frutales como el palto y el olivo (Carmona, 2006) (Figura 4). Cabe destacar que las aguas del río



presentan las menores concentraciones de arsénico y boro de la región (Bundschuh et al., 2008).

5.1.2.3. La Quebrada de Camarones

Es un profundo y largo cajón confinado entre paredes de más de 1000 metros de altura que cortan la pampa y la cordillera de la costa, con un ancho variable de 700 a 1000 m. que se extiende por 17 km., su suministro hídrico proveniente del río Camarones, que nace en la zona limítrofe con Bolivia en la cordillera de los Andes, con el aporte de los arroyos Anocarire, Sorosura, Surire o Choquenanta, Yorusca, Mullure, Orcume y Guayguase. En el curso medio de la quebrada se encuentran sembrados y una mina de arsénico histórica, en sus últimos 10 Km de Cuya al mar, mantiene rumbo a WSW y conserva sus características de cajón confinado entre altas paredes hasta llegar a la costa (Shiapacasse y Niemeyer, 1989) (Figura 5).

El río Camarones es el recurso hídrico más importante de la zona siendo fundamental para la actividad agrícola, ganadera y consumo humano. Nace de los tributarios, ríos Ajatama y Caritaya, de la cabecera altiplánica y es un curso de agua endorreico, con un caudal y escurrimiento que no siempre alcanza a desembocar en el mar. Es un sistema hídrico cuyo caudal y características fisicoquímicas varían estacionalmente, además, existen variaciones en distintos puntos de su curso debido a la presencia de afluentes menores, principalmente, vertientes (Bundschuh et al., 2008). Desemboca al mar en una laguna litoral o albufera que sólo comunica superficialmente con el mar cuando el escurrimiento del río alcanza el mar (Figura 6). La desembocadura se ubica a 100 Km al sur de Arica, en las coordenadas 19° 12' S y 70° 17' W. donde se encuentra una playa de 1400 m de longitud. Hacia el norte destaca como accidente geográfico una puntilla rocosa denominada Punta Norte y hacia el sur la presencia de roqueríos y acantilados, que son en conjunto la extensión más occidental de la quebrada (Shiapacasse y Niemeyer, 1989).

Actualmente la quebrada presenta poblados dispersos con una población que no supera los 60 habitantes. Entre estos poblados se cuentan Esquiña, Illapata y Camarones, y



las localidades de Taltape y Huancarane. Aunque todos habitan la quebrada, la magnitud de la exposición al arsénico por el agua de bebida es muy diferente en cada una de las localidades, la población de Esquiña consume agua principalmente de vertientes, de menor contenido de arsénico, mientras que la población de Illapata, Camarones, Taltape y Huancarane consume mayormente agua del río Camarones, con alto contenido de arsénico. En ambas localidades, la concentración de este elemento en agua de bebida sobrepasa entre 6 a 125 veces los valores recomendados por la OMS y la NCh 409/1.Of2005 ($10 \mu\text{g L}^{-1}$) (Bundschuh et al., 2008).

5.2. Contexto Cronológico-Cultural

La prehistoria en la provincia de Arica se remonta hace más de 9000 años, cuando los primeros grupos humanos se establecen en la costa, especialmente en zonas de desembocaduras con una economía mixta cazadora-recolectora dependiente principalmente de los recursos marítimos y de ave-fauna (Standen, 1997). Los recursos de valles y quebradas fueron explotados tempranamente por las poblaciones costeras que realizaban circuitos transhumánticos hacia el interior usando estos corredores naturales, pero no fue hasta el comienzo de la agricultura hace unos 3000 años que se posibilitó el establecimiento de las poblaciones humanas al interior de los valles.

Alrededor del 500 d.C. se consolida el desarrollo agrícola con el establecimiento en los valles, especialmente Lluta y Azapa, de villorrios y caseríos dispersos asociados a cursos de agua, que posteriormente se consolidan como aldeas con una economía mixta que explotaba de forma eficiente los recursos del mar y desarrollaba la agricultura con sistemas simples pero eficientes de irrigación (Chacama, 2001; Santoro, 2001, en Santoro et al., 2001). Hacia el 1100 al 1470 d.C. y 1471 al 1535 se suceden en Arica los denominados períodos Intermedio Tardío y Tardío respectivamente, caracterizados por la presencia de grupos locales de organización social segmentada que controlaban la zona de los valles desde el litoral al interior, con una economía mixta agro-marítima que incluyó el cultivo del



maíz, ají, poroto, mandioca, camote y zapallo con la explotación de la gran variedad de peces, y mariscos de la costa (Santoro et al., 2000a; Santoro, 2001, en Santoro et al., 2001).

A partir del período formativo en los Andes se desarrolla un sistema de complementariedad económica, que permitió el intercambio de productos de distintos pisos ecológicos y el establecimiento de relaciones interétnicas y de parentesco. Esto ha sido explicado a través de modelos de movilidad entre los que destacan:

5.2.1. Modelo de verticalidad (Murra, 1975): Modelo basado en datos etnohistóricos sobre la comunidad Lupaca (Oeste del lago Titicaca), que se basa en la capacidad de explotar en forma directa distintos pisos ecológicos (archipiélagos), a través del envío de colonos hacia diversas regiones, principalmente por medio del tráfico de caravanas de recuas de llama (*Lama glama*) (autosuficiencia), permitiendo la obtención de gran variedad de recursos que luego son remitidos al centro político-administrativo de la comunidad, las caravanas servían las necesidades internas del grupo étnico.

5.2.2. Movilidad Giratoria (Dillehay y Núñez, 1995): Es un modelo diacrónico definido para los diferentes períodos y fases de la cronología del área Centro-Sur Andina, que funciona a través de Asentamientos-ejes (polos de estabilidad). Propone un sistema agroganadero, con capacidad de producir, trasladar e intercambiar productos interregionalmente, posibilitado a través de la Complementación económica entre pastoreo y caravaneo (dualidad rebaño/caravana).

El Principio Giratorio plantea la existencia de ejes principales alimentados por circuitos entre ejes secundarios (movimiento en espiral), en donde los ejes principales actúan como lugares para el intercambio o captación de recursos y los ejes secundarios como lugares de apoyo logístico para la mantención de las caravanas.



Debido a que las muestras estudiadas corresponden a los períodos Medio, Intermedio Tardío y Tardío estos serán descritos con mayor profundidad a continuación:

5.2.3. Período Medio u Horizonte Tiwanaku (500 - 1.000 d. C.).

Hacia el 500 d.C. las comunidades agropastoriles que habitaron los valles occidentales de la provincia de Arica, en especial Azapa, se caracterizan por presentar en su economía y manifestaciones estilístico-culturales una fuerte influencia de la Cultura Tiwanaku, la que se desarrolla en la cuenca del lago Titikaka. Su influencia se manifiesta principalmente con un mayor desarrollo agrícola ganadero y con la incorporación de elementos altiplánicos, aunque no está claro si se trata de colonias Tiwanaku que se instalan en el valle de Azapa o de poblaciones locales que adoptan los patrones estilísticos y diversifican sus modos de producción y adquisición de bienes de prestigio a través de los contactos con el altiplano circum-Titikaka.

La primera fase denominada Cabuza (500 – 1000 d.C.) se caracteriza por presentar patrones estilísticos muy similares a la cultura Tiwanaku. Hacia el 700 d.C., surge una fase denominada Maytas (700 – 1000 d. C.), que coexiste con la fase Cabuza. Maytas se caracteriza por un estilo cerámico con decoración trícoma, donde se utilizan elementos presentes en la cerámica Cabuza pero con características locales. Durante la fase Maytas se produce un proceso de reocupación de la costa y zonas bajas de los valles, así como la reexplotación de productos marinos complementando la economía agropastoril fuertemente desarrollada en este período (Berenguer y Dauelsberg, 1989; Chacama, 2001, en Santoro et al., 2001).

Los patrones de asentamiento presentan agrupamientos de viviendas que conforman aldeas bien planificadas, áreas de cultivos y cementerios. El patrón funerario se caracteriza por presentar individuos flectados o hiperflectados en fosas cilíndricas. Una de las principales características del patrón de entierros, es la presencia de infantes y placentas en urnas funerarias (Carmona, 2006).



5.2.4. Período Intermedio Tardío o Desarrollos Regionales (1.100 - 1.470 d. C.)

Hacia el 1.100 d.C. se inicia el período de la cultura Arica que comprende las fases San Miguel y Gentilar, estos grupos humanos ocuparon la costa, valles y sierra, explotando los recursos marinos y agropastoriles, introduciendo mejoras en las técnicas de riego y cultivo en terrazas, en general, el surgimiento de diferentes etnias que interactúan entre sí a través de un patrón de asentamiento núcleo-periferia generalizado, manteniendo patrones identificativos que diferencian un grupo de otro. Se evidencia una alta movilidad a través de mecanismos como el tráfico caravanero y el establecimiento de ferias, entre otros (Schiappacasse et al., 1989).

La agricultura, con técnicas especiales de riego, fue de gran importancia para el mantenimiento de una población bastante densa asentada en los valles. El grueso de la población habitaba en el sector medio del valle, debido a su mayor productividad agrícola, sin embargo, también en la costa residía un número importante de habitantes (Santoro, 2001).

El desarrollo cultural predominante en este período se ha denominado Complejo Arica integrado por las fases San Miguel y Gentilar, caracterizados por los estilos cerámicos policromos del mismo nombre y un estilo de transición llamado Pocoma. La fase San Miguel se inicia hacia el año 1000 d.C. y Gentilar alrededor del 1.300 d.C. Los contextos se han caracterizado principalmente a través de los ajuares y las ofrendas funerarias, destacándose por su variedad y riqueza. Llama la atención el fuerte desarrollo de la industria textil, la talla en madera y los artefactos orientados a la caza y pesca en el litoral, a diferencia de la metalurgia, que no presenta gran desarrollo (Schiappacasse et al., 1989).

Las sepulturas son subterráneas, cilíndricas o ampollares, con o sin apéndice, de acuerdo a los tipos de terreno. Estas manifestaciones culturales derivan de la fase Maytas, previa al Complejo Arica, caracterizada también por un estilo cerámico policromo. (Schiappacasse et al., 1989).



La cerámica San Miguel se caracteriza por formas de grandes jarros de cuerpo globular, base plana, asas laterales y cuello estrecho, cilíndrico, cántaros de una o dos asas; keros o vasos con figuras modeladas en los bordes, jarros antropo y zoomorfos y pequeños recipientes globulares, además de piezas miniaturas. Su decoración es de motivos geométricos de color negro o rojo y negro aplicados sobre una superficie engobada de color blanco mate. Son típicos los motivos de líneas paralelas y quebradas con ganchos, volutas entrelazadas, líneas onduladas y rombos concéntricos. La decoración se agrupa en paneles que forman pares opuestos con oposición de color (Schiappacasse et al., 1989).

La cerámica Gentilar es más fina y mejor elaborada que la cerámica San Miguel. Los jarros presentan cuellos divergentes, en embudo y los cántaros son de cuerpo chato. La decoración se presenta en colores negro, blanco y rojo sobre una superficie bruñida engobada de color rojo. Se destaca por la variedad y cantidad de motivos, en su mayoría curvilíneos y de líneas dentadas, con ganchos y espirales. También presentan motivos de cruces, figuras zoomorfas y antropomorfas. La decoración se divide en campos opuestos y bipartitos (Schiappacasse et al., 1989).

La cerámica denominada Pocoma es un estilo de transición entre San Miguel y Gentilar, sus superficies son pulidas y la decoración se dispone en paneles de fondo rojo claro o anaranjado, separados por franjas verticales. Los motivos en color rojo y negro generalmente se agrupan en un círculo central. El complejo Arica tiene una amplia dispersión, encontrándose desde el río Osmore (sur del Perú) por el norte, hasta el río Loa hacia el sur. Por el litoral, su cerámica alcanza hasta Taltal (Schiappacasse et al., 1989).

La navegación permitió extender el área de explotación marina incorporando peces de mar abierto como el congrio como parte de la dieta y producto de intercambio en estado seco. Las rutas marítimas se conectaban con las terrestres en un sistema de intercambio organizado. De gran importancia eran las actividades de extracción de guano y sal. La agricultura constituía la principal actividad para sustentar el creciente número de habitantes, se cultivaban especies subtropicales especialmente el maíz, ají, porotos, zapallo, yuca y



camote del complejo cordillerano. Una variedad de quínoa adaptada a los valles cálidos. Se ha documentado, además, la recolección de las semillas y frutos de algarrobo, tamarugo y llaro. En la sierra se cultivaba papa, oca, ulluco, quínoa y cañahua, y posiblemente coca (Schiappacasse et al., 1989).

5.2.5. Período Tardío o de Influencia Incaica (1471– 1535 d. C.)

Debido a la expansión del imperio Inca, gradualmente se incorpora la zona de Arica al imperio a través de los señoríos altiplánicos, esto trajo consigo una ampliación de las zonas de cultivo y la aplicación de nuevas tecnologías para una mejor explotación de los recursos, incluido los costeros, se introducen, además nuevos estilos en textilería y cerámica (Berenguer, 1997). Se intensifica el pastoreo y la domesticación de perros y cuyes en las cabeceras de los valles, se intensifica el carácter complementario en los distintos pisos ecológicos de costa, valle y sierra, a través de mecanismos de reciprocidad e intercambio (Schiappacasse et al., 1989).

5.3. Los sitios

Los cementerios estudiados provienen de los sitios Lluta 54, Azapa 140 (Figura 7), Camarones 8 y Camarones 9 (Figura 8) cuya ubicación y adscripción cronológica cultural se describe a continuación:

5.3.1. Lluta 54

El sitio Lluta 54 se ubica en el curso bajo del río Lluta en el sector denominado Huaylacán (Figuras 9 y 10), corresponde a un cementerio excavado en 1985 por Percy Daulsberg, desde donde se rescataron un total de 30 cuerpos (momias y esqueletos) adscribibles a la fase cultural Inka del período Tardío (1471-1535).

5.3.2. Azapa 140

Se ubica a 200 msm, en el km 14 ladera sur del valle de Azapa, a unos 500 m del Pukara San Lorenzo (Figura 11), corresponde a un cementerio prehispánico excavado en



1981 por Guillermo Focacci, desde donde se recuperaron un total de 149 individuos asociados a restos culturales de las fases Maytas del periodo Medio y San Miguel, Intermedio Tardío, con dataciones cronológicas entre 966 y 1420 d.C.

En la actualidad es posible observar evidencia de huaqueo sistemático de los sitios cementerios del valle de Azapa, que afecta la conservación de éstos y provoca la destrucción total de los contextos funerarios (Figura 12).

5.3.3. Camarones 8

Se ubica a 100 Km. al sur de Arica en la desembocadura del río Camarones, en una quebradilla seca perpendicular a la quebrada en la terraza sur de esta (Figura 13). Fue excavado por Dauelsberg en 1985 desde donde se recuperaron un total de 33 cuerpos (momias y esqueletos), con un contexto artefactual adscribible a la fase Gentilar del período Intermedio Tardío.

5.3.4. Camarones 9

Se ubica en la desembocadura del valle de Camarones, 100 km al sur de Arica, emplazado sobre un antiguo conchal precerámico, a 100 m. al oeste del sitio Camarones 8, en la terraza sur de la quebrada. Fue excavado por Dauelsberg en 1961-62 y posteriormente, por Dauelsberg y Standen en 1985, desde donde se recuperaron un total de 46 cuerpos (momias y esqueletos), asociados a material cultural de la fase Inka del período Tardío.

En el sitio Camarones 9 estuvo instalado un campamento, producto de toma de tierras, que alberga unas 20 familias. Éstas fueron trasladadas unos 200 metros hacia el noroeste del sitio, sin embargo hasta enero de 2010, aún se encontraba una casa ubicada sobre el sitio, afectando su conservación (Figura 14).



VI. HIPÓTESIS

6.1. HIPÓTESIS NULA:

En base a los antecedentes de alta ocurrencia de espina bífida oculta sacra, en poblaciones agroalfareras, no existen diferencias estadísticamente significativas entre las frecuencias observadas de espina bífida oculta sacra en la muestra y muestra control.

6.2. HIPÓTESIS ALTERNATIVA:

Considerando el efecto teratógeno del arsénico, se propone que la frecuencia de espina bífida oculta en la muestra analizada, está relacionada con los altos niveles de arsénico del ambiente del valle de Camarones. Por tanto, se espera una diferencia estadísticamente significativa entre la frecuencia observada de espina bífida oculta sacra en la muestra versus la muestra control.



VII. METODOLOGÍA

7.1 Material

Se analizó una muestra prehispánica total de 255 individuos esqueletizados y parcialmente momificados de las colecciones: Camarones 8 (n= 33), Camarones 9 (n= 41), Lluta 54 (n= 30) y Azapa 140 (n= 151), todas depositadas en el Museo Universidad de Tarapacá de Arica- San Miguel de Azapa. Se seleccionaron sólo los individuos mayores de 19 años de edad al morir, que corresponden a un total de 120 individuos: Camarones 8 (n= 16) y Camarones 9 (n= 21) como muestra de estudio, Lluta 54 (n= 10) y Azapa 140 (n= 73) como muestra control.

La muestra fue seleccionada por su proveniencia geográfica y temporo-cultural, su disponibilidad para el estudio, por el buen estado de conservación, por los antecedentes previos de espina bífida oculta en Azapa 140 (Allison et al., 1982) y arsenicismo en Camarones 9 (Figueroa et al., 1988; Figueroa, 2001)

7.2 Método

7.2.1 Análisis Diagnóstico

Como parte de la metodología aplicada, se aplicó una ficha de registro, se determinó la edad anagráfica y el sexo de los individuos, utilizando indicadores estándares (Bass, 1995; Buikstra y Ubelaker, 1994; Ubelaker, 1989). Se realizó observación morfoscópica y radilógica a fin de detectar la presencia de espina bífida oculta a nivel sacro, se elaboró una escala basada en niveles de segmentos sacros con falla en la fusión del arco neural, diferenciando los rasgos patológicos de la variabilidad anatómica (Tablas 2 y 3, Figuras 15 y 16).

Este trabajo propone como metodología de diagnóstico para la espina bífida oculta sacra, considerar cuatro factores que dificultan el diagnóstico: 1) Falsos positivos en infantes (Isidro y Malgosa, 2003), 2) Diferenciar espina bífida cística de oculta en casos



arqueológicos (Morse, 1978; en Aufderheide y Rodríguez-Martin, 1998), 3) Diferenciar espina bífida oculta de fallas en el crecimiento y desarrollo del arco neural posterior que no involucran al tubo neural (Barnes, 1994) y 4) La presencia del hiato sacro que en trabajos paleopatológicos es muchas veces incluido a la ocurrencia de espina bífida oculta (Barnes, 1994; Isidro y Malgosa, 2003).

Analizando cada uno de los puntos, en primer lugar debemos considerar que el diagnóstico de la espina bífida oculta en el sacro, no es posible de realizar con certeza en infantes, ya que el cierre del arco neural posterior de S1 a S3 se realiza a partir de los 6 años y se completa en la pubertad (11-16 años) (Bass, 1995; Buikstra y Ubelaker, 1994; Isidro y Malgosa, 2003), por lo tanto, diagnosticar antes de completada la etapa de desarrollo podría resultar en un falso positivo.

El segundo punto a analizar es la diferenciación entre espina bífida cística de la oculta, ambas pueden producirse en la región lumbo-sacra y su diferencia radica en la protrusión o no de las estructuras neurales, según Morse (1978; en Aufderheide y Rodríguez-Martin, 1998) la espina bífida abierta tiene severos síntomas neurológicos incompatibles con la vida sin los avances actuales de la medicina, considerándose el hallazgo en contextos arqueológicos como sinónimo de espina bífida oculta (Morse, 1978; en Isidro y Malgosa, 2003). Por otro lado Barnes (1994) sostiene que la espina bífida oculta resultante de una falla en el cierre del tubo neural, está relacionada con espina bífida cística aunque esta no pueda observarse externamente, por la presencia de una capa extra de grasa llamada lipoma, que puede contener y constreñir la cauda equina y las meninges, las formas menos severas involucran la presencia de masas de tejido lipofribromatoso que constriñen la dura madre en el filum terminale y que por consiguiente están asociados necesariamente a manifestaciones sintomáticas (Albrecht et al., 2007; Barnes, 1994; Galloway y Tainsh, 1985; Gordon, 1997; Kinsman, 2007; Saluja, 1988).

Como tercer punto siguiendo lo planteado por Barnes (1994) se propone diferenciar entre espina bífida oculta y defectos en el desarrollo del arco neural posterior, estos últimos



pueden producir una apertura completa del arco neural posterior, pero se observa un espacio de apertura reducido y un doble proceso espinoso, estando relacionado con un desarrollo deficiente del mesoderma paraxial y no del tubo neural; mientras que en la espina bífida oculta resultante de una falla en el proceso de cierre del tubo neural, se observaría una apertura ensanchada y los bordes hacia fuera por la presión que ejercen las estructuras neurales (Barnes, 1994; Isidro y Malgosa, 2003).

El cuarto y último punto a considerar es la presencia del hiato sacro inferior, una abertura en el arco posterior de S4-S5 y S5 solamente, que en la literatura especializada es considerado una variación epigenética o un rasgo de variabilidad anatómica por su alta ocurrencia en la población adulta y por no representar un problema a la salud (Albrecht et al., 2007; Barnes, 1994; Isidro y Malgosa, 2003).

7.2.2 Análisis estadístico

Para estudiar los datos se establece la hipótesis nula (H_0) y la hipótesis alternativa (H_1) explicadas en el capítulo VI, que se resumen como sigue:

7.2.3 H_0 : No existen diferencias estadísticamente significativas entre la frecuencia de espina bífida oculta en la muestra versus la muestra control.

7.2.4 H_1 : Existen diferencias estadísticamente significativas entre la frecuencia de espina bífida oculta en la muestra versus la muestra control.

Se analiza la distribución de la muestra según sexo y edad y se segrega de la muestra a analizar a los menores de 19 años. Con los individuos adultos (>19 años) se realiza una tabla de frecuencias observadas de espina bífida oculta, se grafica en porcentajes y se compara la muestra con la muestra control. Considerando que las muestras son de tamaño reducido se comprueba la significancia de la diferencia estadística empleando la prueba exacta de Fisher a través del software MINITAB V15.



VIII. RESULTADOS

La distribución de la población de la muestra y muestra control por sexo se observa en la Tabla 4. La muestra de Camarones 8 presenta una ocurrencia de espina bífida oculta sacra de 12,50%, registrándose dos casos masculinos (Figura 17); Camarones 9 presenta una ocurrencia de 14,28% registrándose dos casos masculinos y uno femenino (Figuras 18 y 19); Lluta 54 no presenta casos y Azapa 140 presenta una ocurrencia de 2,7%, presentándose un individuo masculino y uno femenino afectados (Figura 20). En la tabla 5 y el gráfico de la Figura 21 se compara la frecuencia de espina bífida oculta por sitio.

La muestra costera de Camarones 8 y 9 en conjunto, presenta una ocurrencia de espina bífida oculta del 13,5% registrándose cuatro casos en masculinos y uno femenino (Figuras 17-19). En la muestra control proveniente de los valles de Lluta y Azapa se observó una ocurrencia del 2,4%. Uno de los casos presenta la patología con mayor severidad, ya que la falta de fusión del arco neural posterior afecta todos los segmentos sacros, incluida la quinta vértebra lumbar (Figura 20).

Evaluando casos que fueron descartados, en Lluta 54 tumba 20 observamos un subadulto (15-18 años) con falta de fusión en parte de S3 y desde S4 a S5 (Figura 22), sin embargo el sacro no había completado su desarrollo y por tanto existe la posibilidad de que una vez terminado este proceso el cierre se habría completado al menos en S3. Otro caso observado corresponde a Azapa 140 tumba 38, se trata de un adulto en que la falta de fusión de S1 parece corresponder a una falla en el proceso de cierre del arco neural y no a una malformación del tubo neural (Figura 23).

Los análisis estadísticos indican que la muestra costera (Camarones 8 y 9) presenta una frecuencia de espina bífida oculta en el sacro, casi seis veces mayor que la muestra control de los valles (Lluta 54, Azapa 140) (Figura 24). El resultado de la Prueba Exacta de Fisher $p= 0,0284$ indica que hay diferencias estadísticamente significativas entre la muestra y la muestra control. Por tanto se refuta la hipótesis nula, lo que refuerza la hipótesis alternativa propuesta.



IX. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Se estima que en la actualidad alrededor de 8.000 personas del Norte de Chile (Regiones XV, I, II y III), se encuentran aún afectadas por altas concentraciones de arsénico en el agua de bebida y los alimentos. En la quebrada de Camarones se han tomado medidas sanitarias para mitigar los efectos del arsénico en la salud de la población, como la entrega de agua potable proveniente de Azapa a través de camiones aljibes. Sin embargo estas medidas no logran ser suficientes para evitar que la población siga utilizando el agua local como agua de bebida, además de su utilización en el riego de los cultivos y bebida para los animales, incorporándose el arsénico a la cadena trófica e ingresando al organismo humano a través de los alimentos contaminados.

La exposición crónica de la población actual de Camarones al arsénico ambiental, ha provocado el desarrollo de patologías como melanodermia, leucodermia y/o queratosis palmoplantar y otras afecciones atribuidas a arsenicismo crónico. Debido a su origen natural el arsénico se encuentra presente en los ecosistemas relacionados a la cordillera de Los Andes, desde su formación inicial en la era terciaria y cuaternaria, por lo que representaría un problema atemporal. En estudios multidisciplinarios previos (paleopatológicos y químicos) se detectaron afecciones a la piel relacionadas al arsenicismo crónico en momias naturales del sitio Camarones 9, comprobándose además, la presencia de altos niveles de arsénico en los tejidos y pelo de estas y otras momias prehispánicas de Arica. Se ha propuesto también, arsenicismo crónico en momias naturales de Antofagasta, una región caracterizada por sus altos niveles de arsénico en el ambiente, lo que reflejaría que la contaminación ambiental por arsénico en la zona, es un problema endémico que se remite al poblamiento temprano de estos ecosistemas hace más de 10000 años.



Aunque no pueden descartarse fenómenos de diagénesis¹, que pueden estar contribuyendo al hallazgo de altas concentraciones de arsénico en los tejidos de momias y esqueletos (Arriaza et al., 2010), la diagénesis no explica la frecuencia de patologías asociadas al arsenicismo crónico halladas en momias de la quebrada de Camarones, así como tampoco explican las frecuencias observadas de espina bífida oculta para el mismo sector.

Los resultados indican una alta frecuencia de espina bífida oculta en la muestra costera de la quebrada de Camarones (13,5%) y una baja frecuencia en la muestra control de los valles (2,4%), presentándose una diferencia estadísticamente significativa entre ellas. La muestra y muestra control provienen de sectores geográficos distintos, costa e interior de los valles respectivamente, por lo que el acceso a los alimentos podría ser diferenciado, con énfasis en productos del mar en la costa y cultivos en el interior. Sin embargo, las muestras son cronológicamente contemporáneas del 700 al 1530 d.C., durante este período las poblaciones humanas explotaban de forma eficiente los distintos pisos ecológicos posibilitando la existencia de una economía mixta agro-marítima (Chacama, 2001; Santoro et al., 2000b; Santoro, 2001; Santoro et al., 2003; Shiapacasse y Niemeyer, 1989).

Este tipo de economía ha sido explicado a través del modelo de verticalidad de Murra (1972), un modelo que ha sido fundamental en la arqueología, etnohistoria y antropología Andina y que habría permitido no sólo la explotación de recursos, sino también, la interacción entre los distintos grupos sociales existentes a través de mecanismos como el tráfico caravanero, las ferias de intercambio y el establecimiento de lazos de parentesco entre las distintas etnias por medio del traslado de individuos de un grupo a otro (Santoro et al., 2003; Shiapacasse y Niemeyer, 1989). Este modelo fue adaptado por Núñez

¹ Diagénesis entendida como el intercambio de elementos químicos, entre el cuerpo enterrado y los sedimentos que lo rodean y no en su connotación geológica.



y Dillehay (1995), para el área Centro-Sur Andina, adquiriendo las relaciones de intercambio una connotación más interétnica, con ejes de movimiento en espiral que permitirían el contacto entre individuos de regiones tan distantes como la puna con la costa y viceversa o de la puna con la selva selva, permitiendo no sólo intercambiar bienes, si no también establecer nuevos lazos de parentesco, que en terminos biológicos se traducen en flujo génico.

Aunque la dieta es un factor de gran relevancia para la aparición de malformaciones como la espina bífida, ésta por si misma no podría explicar las diferencias observadas entre la muestra de la costa y los valles. El ácido fólico es considerado un elemento protector frente al desarrollo de malformaciones congénitas, en especial del tubo neural, encontrándose en forma natural en algunos alimentos de origen americano como el poroto (*Phaseolus vulgaris*), la quínoa (*Chenopodium quinua*) y el maíz (*Zea mays*), por lo que el mayor consumo de éstos podría contribuir a una disminución de fallas en el cierre del tubo neural.

Hoy en día a pesar de la disponibilidad que existe a una gran gama de alimentos ricos en ácido fólico y que son de fácil acceso a la mayoría de la población chilena, la tasa de espina bífida estuvo en aumento, hasta la fortificación de la harina de trigo con 220 µg de ácido fólico por cada 100 g de harina a partir del año 2000, con lo que se logró disminuir su incidencia en un 30 a 50% (Mitchel, 2005; Nazer et al., 2007).

Aunque las poblaciones prehispánicas de los valles hayan tenido mejor acceso a productos de cultivo y en la costa a los productos del mar, esto no explica por si solo una ocurrencia seis veces mayor de espina bífida oculta en Camarones que en Lluta y Azapa. Sin embargo, si en la dieta incluimos altos niveles de arsénico ingeridos en forma periódica a través del agua de bebida y alimentos contaminados, es probable que se desencadenen malformaciones congénitas especialmente relacionadas al desarrollo del tubo neural, efecto teratógeno del arsénico que ha sido comprobado en experimentos con animales y a través de estudios epidemiológicos en seres humanos (Desesso, 2001; Ferm, 1977; Hopenhayn-Rich, 2000, 2003; Machado et al., 1999; Martin et al., 2003; Włodarczyk, 1996).



Las diferencias observadas entre los resultados de este estudio con un 2,7% de ocurrencia de espina bífida oculta para el sitio Azapa 140 y lo reportado por Allison *et al.* (1982) para el mismo sitio con más del 60%, se debe a diferencias en la metodología de diagnóstico, siendo probable que lo reportado por Gerszten *et al.* (2001) para el valle de Azapa también esté sobrevalorado. Esto indica que al aplicar una metodología capaz de ser replicada, es posible obtener resultados que indiquen la real ocurrencia de una patología dentro de una población, que permita teorizar sobre su etiología, nosología y llegar a conclusiones paleoepidemiológicas, que incluso puedan tener repercusiones para la población moderna.

La propuesta de Allison *et al.* (1982) que explica una mayor ocurrencia de espina bífida oculta en poblaciones tardías de Arica por las prácticas endogámicas de la población, no tiene un sustento en las teorías arqueológicas propuestas para el área geográfica y período cronológico estudiado. Esto lo observamos más gráficamente con lo que sucede en los sitios de Camarones, donde no encontramos diferencias significativas entre las frecuencias observadas de espina bífida oculta en Camarones 8 y 9, a pesar de que corresponden a períodos distintos. Camarones 9 corresponde al período Inca, por tanto considerando el tipo de relaciones que establece el inca en los territorios anexados, es fácil suponer que habría flujo génico, lo que permitiría una mayor variabilidad biológica y por tanto una disminución de las patologías congénitas derivadas de la endogamia.

A pesar de lo anteriormente mencionado las deficiencias dietarias y posibles prácticas endogámicas, aunque no puede descartarse tácitamente como probables causales de espina bífida oculta, se contradicen con el modelo de explotación e interacción social de los distintos pisos ecológicos propuesto para estas poblaciones en la prehistoria y con la evidencia. Los antecedentes presentados y los resultados del presente estudio, refuerzan la hipótesis ambiental planteada y permiten proponer que el metaloide arsénico es un componente ambiental que podría ser la principal causa de la mayor frecuencia de espina bífida oculta, lo que debiera ser evaluado en otras poblaciones prehispánicas e incluso actuales.



Queda por explorar las hipótesis de dieta, endogamia y movilidad, las que podrían ser abordadas por medio de estudios moleculares, craneométricos, de isótopos estables y elementos traza. Algunos de estos tópicos serán abordados en un próximo estudio para mi tesis doctoral, que espera completar y complementar el presente estudio.



X. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acuña, J., P. Yoon, J. D. Erickson. Sin año. La prevención de los defectos del tubo neural con ácido fólico. Revisión de los CDC. Disponible en: <http://www.cdc.gov/ncbddd/pub/NTDesp OPS.pdf> [Consultado: 02/08/08].

Ahmad, S. A., M. H. S. Sayed, S. Barua, M. H. Khan, M. H. Faruquee, A. Jalil, S. A. Hadi, Y. H. Kabir. 2001. Arsenic in drinking water and pregnancy outcomes. *Environmental Health Perspect* 109:629-631.

Albrecht, T. L., S. D. Scutter y M. Henneberg. 2007. Radiographic Method to Assess the Prevalence of Sacral Spina Bifida Occulta. *Clinical Anatomy* 20:170–174.

Allison M. J., E. Gerszten, M. Fouant. 1982. Paleopathology: Today's laboratory investigates yesterday's diseases. *Diagnostic Medicine* 5: 28-48.

Allison M. Informe biológico de la población Morro 1/6. 1989. En: Focacci G y S. Chacón. Excavaciones arqueológicas en los faldeos del Morro de Arica, Sitios Morro 1/6 y 2/2, editado por Focacci, G. y Chacón S. *Revista Chungará* 22: 25-62.

Arriaza, B. 2005a. An environmental hypothesis to explain the origin of Chinchorro artificial mummification. *Revista Chungará* 37(2):255-260.

2005b. Arseniasis as an environmental hypothetical explanation for the origin of the oldest artificial mummification practice in the world. En: *1st Paleopathology Association Meeting in South America*, Brazil, 27-29 de Julio.

Arriaza, B., D. Amarasiriwardena, L. Cornejo, V. Standen, S. Byrne, L. Bartkus y B. Bandak. 2010. Exploring chronic arsenic poisoning in pre-Columbian Chilean mummies. *Journal of Archaeological Science* 37(6): 1274-1278.



- Arsuaga, J. L. y P. J. Perez. 1979. Algunas consideraciones acerca de los estudios paleodemográficos y paleoepidemiológicos en poblaciones prehistóricas. *COL-PA* 35: 19-33.
- Aufderheide, A. y C. Rodríguez-Martin. 1998. *The Cambridge Encyclopedia of Human Paleopathology*, Cambridge University Press, Cambridge, U.K..
- Barnes, E. 1994. *Developmental Defects of the Axial Skeleton in Paleopathology*. University Press of Colorado, Niwot.
- Bass, W. 1995. *Human Osteology A Laboratory and Field Manual*. 4ª ed. Missouri, Archaeological Society, Inc.
- Belmonte, E., M. Ortega, P. Arévalo, V. Cassman, y L. Cartmell. 2001. Presencia de la hoja de coca en el Ajuar Funerario de tres Cementerios del Periodo Tiwanaku: Az-140, Az-6 y Plm-3. *Chungará* (Arica) 33 (1): 125-135.
- Berenguer, J. y P. Dauelsberg .1989. El norte grande en la órbita de Tiwanaku. *En Culturas de Chile. Prehistoria. Desde los orígenes hasta los albores de la conquista*, J. Hidalgo, V. Schiappacasse, C. Aldunate e I. Solimano (Ed.). Editorial Andrés Bello, Santiago.
- Berenguer, J. 1997. El Norte Grande en la Prehistoria. *En Chile antes de Chile. Prehistoria*. Museo Chileno de Arte Precolombino. Dirección de Bibliotecas, Archivos y Museos.
- Berenguer, J. 2004. *Caravanas, interacción y cambio en el desierto de Atacama*. Ediciones Sirawi, Santiago.
- Boone, D., D. Parsons, S. M. Lachmann y T. Sherwood. 1985. Spina bifida occulta: Lesion or anomaly?. *Clinical Radiology* 36:159–161.
- Bordach, M. 2006. Interacciones étnicas e indicadores de desigualdad social en el Cementerio de La Falda (SJTil 43), Tilcara, Jujuy. *Estudios Atacameños* 32:115-128.



- Borgoño, J. M. y R. Greiber. 1971. Estudio Epidemiológico del Arsenicismo en la Ciudad de Antofagasta. *Revista Médica de Chile* 99:702-707.
- Borgoño, J. M. P Vicent, H. Venturino y A. Infante. 1977. Arsenic in the Drinking Water of the City of Antofagasta: Epidemiological and Clinical Study before and after the Installation of a Treatment Plant. *Environmental Health Perspectives* 19: 103-105,
- Buikstra, J. y D. Ubelaker (Editores). 1994. *Standards for Data Collection from Human Skeletal Remains*. Archaeological Survey Research Series 44, Arkansas.
- Bundschuh, J., A. Pérez, y M. Litter (Editores). 2008. *IBEROARSEN Distribución del arsénico en las regiones Ibérica e Iberoamericana*. CYTED, Argentina.
- Bustos S. y M. Cury. 1999. Desarrollo del Sistema Nervioso. *En: Montenegro M. A., M. Mena, J. Illanes y D. Lemus (Editores). Embriología Humana*. Departamento de Morfología Experimental, Facultad de Medicina, Universidad de Chile.
- Campillo, D. 1999. Límites entre normalidad y anormalidad en paleopatología (Alcalá La Real). *Actas del V Congreso Nacional de Paleopatología* 37-42
- Campos, H., G. Diaz y C. Campos. 2007. Aportes Sedimentarios de los Ríos Lluta y San José en la Zona Costera de La Rada de Arica, Chile. *Idesia* 25(2): 37-48. Disponible en: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-34292007000200005&lng=es&nrm=iso [consultado: 25/02/2009].
- Carlson B. M. 2005. *Embriología Humana y Biología del Desarrollo*, 3ª Edición. ELSEVIER, España.
- Carmona, G. 2006. *Caracterización de las prendas textiles incas presentes en sitios arqueológicos tardíos del extremo norte de Chile*. Memoria para optar al título profesional de Arqueóloga. Facultad de Ciencias Sociales, Departamento de Antropología, Universidad de Chile.



Castro de la Mata, R. y D. Bonavia. 1980. Lumbosacral Malformations and Spina Bifida in a Peruvian Preceramic Child. *Current Anthropology*. The University of Chicago Press on behalf of Wenner-Gren Foundation for Anthropological Research. 21 (4): 515-516 Disponible en: <http://www.jstor.org/stable/2742072> [consultado: 24/04/2009].

Castro, M. 2004. Arsénico en el Agua de Bebida de América Latina y su Efecto en la Salud Pública. *Hojas de Divulgación Técnica* 95:1-12.

Castro, M. 2006. The Presence of Arsenic in Drinking Water in Latin America and its Effect on Public Health. *En: International Congress Natural Arsenic in Groundwater's of Latin America*. México.

Castro, M. y E. Aspillaga. 2004. Paleopatología de las Poblaciones Prehistóricas. *En: Poblaciones Chilenas: Cuatro Décadas de Investigaciones Bioantropológicas*, Rothhammer F. y E. Llop (Editores). Editorial Universitaria.

Castro, V. y F. Gallardo. 1988. El Norte Grande de Chile en la Prehistoria, *En: Los Primeros Americanos y sus descendientes*. Museo Chileno de Arte Precolombino (Ed.), Editorial Antártica.

Cebrián, M.E., A. Albores, G. García-Vargas y L. M. Del Razo. 1994. Chronic arsenic poisoning in humans: The case of Mexico in the environment. Part II: Human health and ecosystem effects. *Advanced in Environmental Science and Technology* 27:94-97.

Centeno, J., F. G. Mullick, L. Martínez, N. Page, H. Gibb, D. Longfellow, et al. 2002. Pathology related to chronic arsenic exposure. *Environmental Health Perspect* 110: 883-6. Disponible en: <http://www.pubmedcentral.nih.gov/picrender.fcgi?artid=1241266&blobtype=pdf> [Consultado: 20/12/2008].

Cornejo, L., H. D. Mansilla, M. J. Arenas, M. Flores, V. Flores, L. Figueroa, J. Yáñez. 2003. Remoción de arsénico en aguas del río Camarones, Arica, Chile, utilizando la tecnología



RAOS modificada. *En: Remoción de arsénico asistida por luz solar en comunidades rurales de América Latina*, Proyecto OEA/AE141/2001, M.I. Litter y H. Mansilla (Editores), Digital Grafic, La Plata, pp. 35-53.

Chiou, J. M., S. L. Wang, C. J. Chen, C. R. Deng, W. Lin y T. Y. Tai. 2005. Arsenic ingestion and increased microvascular disease risk: observations from the southwestern arseniasis-endemic area in Taiwan. *International Journal of Epidemiology* 34:936-943

Desesso, J. 2001. Teratogen Update: Inorganic Arsenic. *Teratology* 63:170-173.

Dickel, D. N. y G. H. Doran. 1989. Severe neural tube defects syndrome from the Early Archaic of Florida (8Br246). *American Journal of Physical Anthropology* 80(3): 325-334.

Ferembach, D. 1968. Frequency of spina bifida occulta in prehistoric human skeletons. *Nature* 199:100-101.

Ferm, V. 1977. Arsenic as Teratogenic Agent. *Environmental Health Perspectives* 19: 215-217.

Fernández-Turiel, J. L., G. Galindo, M. A. Parada, D. Gimeno, M. García-Vallez, y J. Saavedra. 2005. Estado Actual del Conocimiento Sobre el Arsénico en el Agua de Argentina y Chile. *En: Arsénico en Aguas: Origen, Movilidad y Tratamiento*. Galindo, G., J., L. Fernández-Turiel, M. A. Parada y D. Gimeno (Ed.). II Seminario hispano-latinoamericano sobre temas actuales de la hidrología subterránea. IV Congreso hidrogeológico argentino, Río Cuarto 25 al 28 de octubre.

Ferreccio, C., C. González, V. Milosavljevic, G. Marshall y A. M. Sancha. 1998. Lung cancer and arsenic exposure in drinking water: a case-control study in northern Chile. *Cad. Saúde Pública, Rio de Janeiro* 14(3): 193-198.

Ferreccio, C., C. González, V. Milosavljevic, G. Marshall, A. M. Sancha y A. H. Smith. 2000. Lung Cancer and Arsenic Concentrations in Drinking Water in Chile. *Epidemiology* 11 (6): 673-679.



Figueroa, L. 2001. *Arica Inserta en una Región Arsenical: El Arsénico en Ambiente que la Afecta y 45 Siglos de Arsenicismo Crónico*. Arica, Ediciones Universidad de Tarapacá.

Figueroa, L., B. Razmilic, M. Allison, y M. Gonzáles. 1988. Evidencia de arsenicismo crónico en momias del Valle de Camarones. Región de Tarapacá, Chile. *Revista Chungará* 21:33-42.

Galloway, N. T. y J. Tainsh. 1985. Minor defects of the sacrum and neurogenic bladder dysfunction. *British Journal of Urology* 57:154–155.

Gerszten, P. C., E. Gerszten y M. J. Allison. 2001. Diseases of the Spine in South American Mummies. *Neurosurgery* 48 (1): 208-13.

Ghi, T., G. Pilu, P. Falco, M. Segata, A. Carletti, G. Gocchi, D. Santini, P. Bonasoni, G. Tani y N. Rizzo. Prenatal diagnosis of open and closed spina bífida. 2006. *Ultrasound in Obstetrics and Gynecology* 28(7): 899-903.

Hopenhayn-Rich, C., M. L. Biggs y A. H. Smith. 1998. Lung and Kidney Cancer mortality associated with arsenic in drinking water in Córdoba, Argentina. *International Journal of Epidemiology* 27:561-569.

Hopenhayn-Rich, C., S. Browning, I. Hertz-Picciotto, C. Ferreccio, C. Peralta y H. Gibb. 2000. Chronic arsenic exposure and risk of infant mortality in two areas of Chile. *Environmental Health Perspectives* 108:667-73.

Hopenhayn, C., C. Ferreccio, S. Browning, B. Huang, C. Peralta, H. Gibb y I. Hertz-Picciotto. 2003. Arsenic exposure from drinking water and birth weight. *Epidemiology* 14:593-602.

Isidro A. y Malgosa M. 2003. *Paleopatología: La enfermedad no escrita*. Elsevier España.



Kinsman, S. 2007. Spina Bifida Occulta. *Spina Bifida Association*. Disponible en: http://www.sbaa.org/atf/cf/%7B99DD789C-904D-467E-A2E4DF1D36E381C0%7D/sp_spina_bifida_occulta.pdf [Consultado: 20/04/2009].

Larsen, W. 2003. *Embriología Humana*. 3ª Edición, Elsevier Science. Madrid, España.

Lary, J. y L. Edmonds. 1996. Prevalence of Spina Bifida at Birth United States, 1983-1990: a Comparison of Two Surveillance Systems. *Mor Mortal Wkly Rep CDC surveill sum* 19:45 (2):15-26.

Lumbreras, L. 1981. *Arqueología de la América Andina*. Milla Batres, Lima.

Machado, A., D. Hovland, S. Pilafas y M Collins. 1999. Teratogenic Response to Arsenite During Neurulation: Relative Sensitivities of C57BL/6J and SWV/Fnn Mice and Impact of the Splotch Allele. *Toxicological Sciences* 51:98-107.

McComb G. J. 1997. Spinal and Cranial Neural Tube Defects Seminars in Pediatric Neurology. 4 (3):156-166. *Seminars in Pediatric Neurology* 4(3):156-166

Mansilla, H. D. y L. Cornejo. 2001. Relevamiento de comunidades rurales de América Latina para la aplicación de tecnologías económicas para la potabilización de aguas Chile. *En: Proyecto OEA AE 141/2001*. Litter M (Editora). CNEA, Buenos Aires 2002: 10-23. Disponible en: <http://www.cnea.gov.ar/xxi/ambiental/aguapura/3archivos/relevamientol.pdf> [Consultado: 13/05/2008].

Martin, L., A. Machado, M.Loza, G. Mao, G. Lee, D. Hovland Jr., R. Cantor, M. Collins. 2003. Effect of Arsenite, Maternal Age, and Embryonic Sex on Spina Bifida, Exencephaly, and Resorption Rates in the Splotch Mouse. *Birth Defects Research (Part A)* 67:231-239.

Mas-Pascual, E. González-Reimers, E. Pérez, M. J. Lugo, M. Arnay-De-La-Rosa, J. Velasco-Vázquez, M. C. Jiménez-Gómez. 2003. Espina bífida en la población prehispánica del Hierro. Comunicaciones. *Actas VII Congreso de la Asociación Española de Paleopatología*.



Milton, A., Smith, W. Rahman, B., Hasan, Z. Kulsum, U. Dear, K. Rakibuddin, M. y Ali, A. 2005. Chronic arsenic exposure and adverse pregnancy outcomes in Bangladesh. *Epidemiology* 16(1): 82-86.

Mitchel, L. 2005. Epidemiology of Neural Tube Defects. *American Journal of Medical Genetics Part C (Semin. Med. Genet.)* 135C:88–94

Murra, J. 1972. El control vertical de un máximo de pisos ecológicos en la economía de las sociedades andinas. En: J. Murra (Editor). *Visita de la Provincia de León de Huanuco en 1562*, Universidad Nacional Hermilio Valdizán, Huanuco.

Nazer, J. H., J. López-Camelo y E. Castilla. 2001a. ECLAMC: Estudio de 30 años de vigilancia epidemiológica de defectos de tubo neural en Chile y en Latinoamérica. *Revista Médica de Chile* 129:5.

Nazer, H. J., O. L. Cifuentes, C. M. Rodríguez, N. M. Rojas. 2001b. Malformaciones del sistema nervioso central en el Hospital Clínico de la Universidad de Chile y maternidades chilenas participantes en el Estudio Colaborativo Latinoamericano de Malformaciones Congénitas (ECLAMC). *Revista médica de Chile* 129 (10): 1163-1170.

Nazer, J., L. Cifuentes, A. Aguila, M. E. Juarez, M. P. Cid, M. L. Godoy, K. García y F. Melibosky. 2007. Efecto por la fortificación de la harina con ácido fólico sobre la evolución de las tasas de prevalencia al nacimiento de malformaciones congénitas en los hospitales chilenos del ECLAMC, *Revista Médica de Chile* 135:198-204.

Núñez, L. y T. D. Dillehay. 1995. Movilidad Giratoria, Armonía Social y Desarrollo en los Andes Meridionales: Patrones de Tráfico e Interacción Económica. *Ensayo*. Universidad Católica del Norte, Antofagasta.

Nye, J., D. McLone, J. Charrow y E. Hayes. 1999. Neural Crest Anomaly Syndromes in Children With Spina Bifida. *Teratology* 60:179-198.



- Otárola, B. D., A. C. Rostion. 2007. Desarrollo embrionario y defectos del cierre del tubo neural. *Revista Pediatría Electrónica* 4(3): 34-43. Disponible en: <http://www.revistapediatria.cl/vol4num3/6.html> [consultado: 30/05/2008]
- Ortner D., y W. Putschar. 1981. *Identification of Pathological Conditions in Human Skeletal Remains*. Washington, Smithsonian Institution Press.
- Posada, J. y V. Leyton. 1999. Malformaciones congénitas. *En*: Montenegro M.A., M. Mena, J. Illanes y D. Lemus (Editores). *Embriología Humanax*. Departamento de Morfología Experimental, Facultad de Medicina, Universidad de Chile.
- Puga, F., P. Olivos, R. Greiber, I. Gonzalez, E. Heras, S. Barrera y E. González. 1973. Hidroarsenicismo crónico (Intoxicación arsenical crónica en Antofagasta). Estudio epidemiológico y clínico. *Revista Chilena Pediatría* 44(3): 216-223.
- Rivara, M. I. y G. Corey. 1995. Tendencia de riesgo de morir por cánceres asociados a la exposición crónica al arsénico. II Región de Antofagasta, 1995-1993. *Cuadernos Médico Sociales* 36(4): 39-51.
- Rodríguez-Martin C. 1995. Patología de la columna vertebral en poblaciones del pasado. Revisión de la población prehistórica de Tenerife. *ERES-Serie de Arqueología* 6: 157-70.
- Rothman, K. J. 1987. *Epidemiología Moderna*. Ediciones Díaz de Santos, Madrid, España.
- Saluja PG. 1988. The incidence of spina bifida occulta in a historic and a modern London population. *Journal Anatomy* 158:91-93.
- Santoro C., A. Romero y V. Standen. 2000a. Interacción Social en los Períodos Intermedio Tardío y Tardío, Valle de Lluta, Norte de Chile. *En*: Taller Andino del Instituto de Investigaciones Andinas. Disponible en: www.uta.cl/masma/yuta [consultado: 20/08/2008].



Santoro C., A. Romero, V. Standen y A. Torres. 2000b. Continuidad y cambio en las comunidades locales, Períodos intermedio tardío y tardío, valles occidentales, área Centro Sur Andina. *En: Simposio Arica pasado y presente, XV Congreso Nacional de Arqueología Chilena*. Disponible en: www.uta.cl/masma/yuta [consultado: 20/08/2008].

Santoro, C., E. Belmonte, V. Standen, J. Chacama, J. Hidalgo, L. Briones, L. Ulloa y H. González (Editores). 2001. *Pueblos del Desierto*. Ediciones Universidad de Tarapacá. Arica Chile.

Shiapacasse, V. y H. Niemeyer. 1989 Avances y sugerencias para el conocimiento de la prehistoria tardía en la desembocadura del valle de Camarones (Región de Tarapacá). *Revista Chungará* 22: 63-84.

Smith, A. H., E. O. Lingas y M. Rahman. 2000a. Contamination of drinking-water by arsenic in Bangladesh: a public health emergency. *Bulletin of the World Health Organization* 78 (9): 617-620.

Smith, A. H., A. P. Arroyo, D. N. G. Mazumder, M. J. Kosnett, A. L. Hernández, M. Beeris, M. M. Smith y L. E. Moore. 2000b. Arsenic-Induced Skin Lesions among Atacameño People in Northern Chile. Despite Good Nutrition and Centuries of Exposure *Environmental Health Perspectives* 108(7):617-620

Standen V. 1997. Temprana complejidad funeraria en la cultura chinchorro: Norte de Chile. *Latin American Antiquity* 8:134-156.

Turkel, S. 1989. Congenital Abnormalities in Skeletal Populations. *En: Iscan M.Y. y K. Kennedy (Editores). Reconstructions of Life from the Skeleton*. A. R. Liss, New York.

Ubelaker, D. 1989. *Human Skeletal Remains: Excavation, Analysis, Interpretations*. 2nd Edition. Washington: Taraxacum.



Vanholder, R., R. Cornelis, A. Dhondt y N. Lameire. 2002. The role of trace elements in uraemic toxicity. *Nephrol Dial Transplant* 17(2):2-8.

Wlodarczyk, B., G. Bennett, J. Calvin, J. Graig y R. Finnel. 1996. Arsenic-Induced Alterations in Embryonic Transcription Factor Gene Expression: Implications for Abnormal Neural Development. *Developmental Genetics* 18:306-315.

World Health Organization (WHO). 2001. Environmental health criteria for arsenic and arsenic compounds. Geneva: World Health Organization. Disponible en: http://www.who.int/ipcs/publications/ehc/ehc_224/en/ [Consultado: 30/11/2008].

World Health Organization. 2005. Arsenic in drinking water. Disponible en: <Http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs210/en/>. (Consultado: 27/06/ 2008).

Wood, J. W., G. R. Milner, H. C. Harpending y K. M. Weiss. 1992. The Osteological Paradox: Problems of Inferring Health from Prehistoric Skeletal Samples. *Current Anthropology* 33 (4): 343-370.

**XI. TABLAS Y FIGURAS**

Tabla 1. Niveles de concentración de arsénico en los valles de la Región de Arica y Parinacota (Bundschuh et al., 2008).

Área	Arsénico en agua	Nº de veces que sobrepasa la norma
Lluta	30 a 280 $\mu\text{g L}^{-1}$	3-28
Azapa	20 $\mu\text{g L}^{-1}$	2
Camarones	1.000 a 5.100 $\mu\text{g L}^{-1}$	100-500

Tabla 2. Segmentos afectados en el sacro por espina bífida oculta.

Vértebra sacras	Descripción
S1	Apertura completa del arco neural de la 1ª vertebra sacra.
S1-S2	La apertura en S1 se dirige hacia caudal y alcanza la apófisis espinosa de S2 o la divide por completo alcanzando la S3.
S1 -S3	La apertura en S1 se dirige hacia caudal y alcanza la apófisis espinosa de S3 o la divide por completo alcanzando la S4.
S1-S4	La apertura en S1 se dirige hacia caudal y alcanza la apófisis espinosa de S4 o la divide por completo alcanzando la S5.
S1-S5	El Sacro presenta un surco en su cara posterior en lugar de la cresta sacra media con bordes orientados hacia afuera y sin apófisis espinosas dobles.
S2-S5	Apertura en S5 que se dirige hacia cefálico y alcanza la apófisis espinosa de S3 o la divide por completo alcanzando la S2.
S3-S5	Apertura en S5 que se dirige hacia cefálico y alcanza la apófisis espinosa de S2 o la divide por completo alcanzando la S1.

Tabla 3. Posibles variantes de hiato sacro.

Vértebra Sacras	Descripción
S4-S5	Apertura en S5 que se dirige hacia cefálico y alcanza la apófisis espinosa de S3 o la divide por completo alcanzando la S2.
S5	Apertura completa o incompleta del arco neural de la 5ª vertebra sacra.
Cierre completo	El sacro presenta en su cara posterior la cresta media completamente cerrada.



Tabla 4. Distribución de adultos por sexo y sitio.

Sexo	Camarones 8	Camarones 9	Azapa 140	Lluta 54
Masculino	5	11	25	5
Femenino	9	9	48	5
Indeterminado	2	1	0	0
Total	16	21	73	10

Tabla 5. Frecuencia de espina bífida oculta sacra por sitio y segmentos afectados.

Segmentos afectados	Lluta 54	%	Azapa 140	%	Camarones 8	%	Camarones 9	%
S1	0/10	0	1/73	1,36	1/16	6,25	1/21	4,76
S3-S5	0/10	0	0/73	0	1/16	6,25	2/21	9,52
S1-S5	0/10	0	1/73	1,36	0/16	0	0/21	0
Total	0/10	0	2/73	2,76	2/16	12,5	3/21	14,28

Figura 1. Mapa satelital de los valles transversales de la Región de Arica y Parinacota (google maps, 2008).

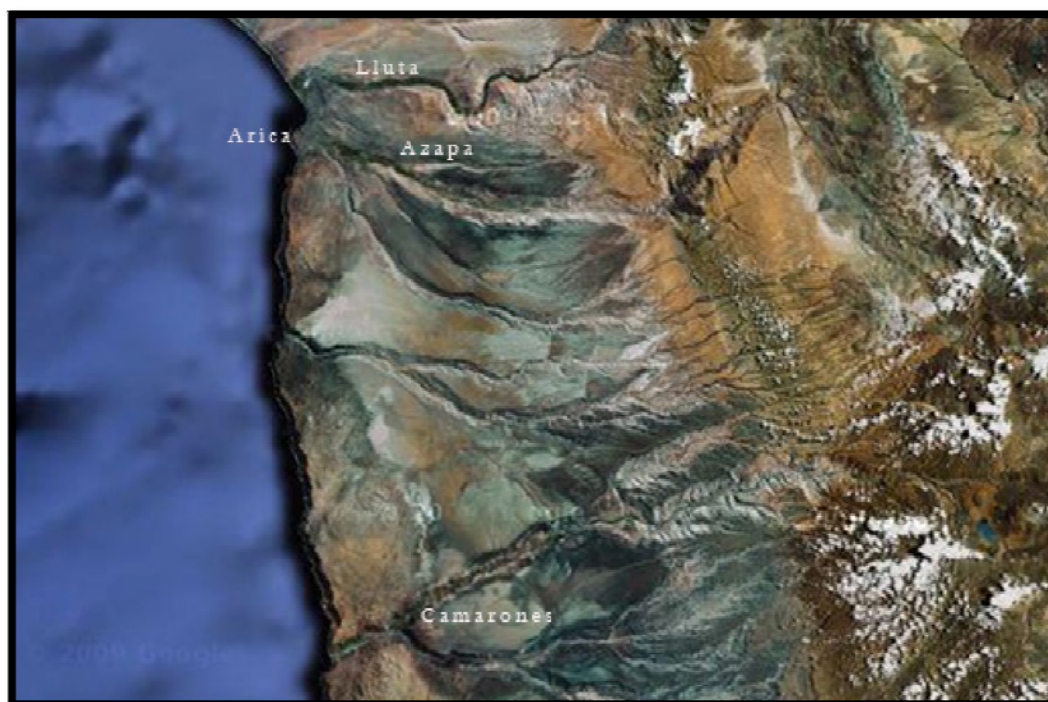




Figura 2. Fotografía panorámica del curso medio del valle de Lluta (Foto: M. Alarcón, 2010).



Figura 3. Fotografía del humedal en la desembocadura del río Lluta (Foto V. Silva, 2008).





Figura 4. Fotografía del valle de Azapa, vista desde el sitio San Lorenzo (Foto: V. Silva, 2008).



Figura 5. Fotografía panorámica de la Quebrada de Camarones, vista desde el sitio Camarones Punta Norte en la costa (Foto: V. Silva, 2008)





Figura 6. Fotografía de la laguna acuifera en la desembocadura de la Quebrada de Camarones (Foto: V. Silva, 2008).



Figura 7. Mapa satelital de los sitios Lluta 54 y Azapa 140 (google earth, 2009).





Figura 8. Mapa satelital de los sitios Camarones 8 y Camarones 9 (google earth, 2009).

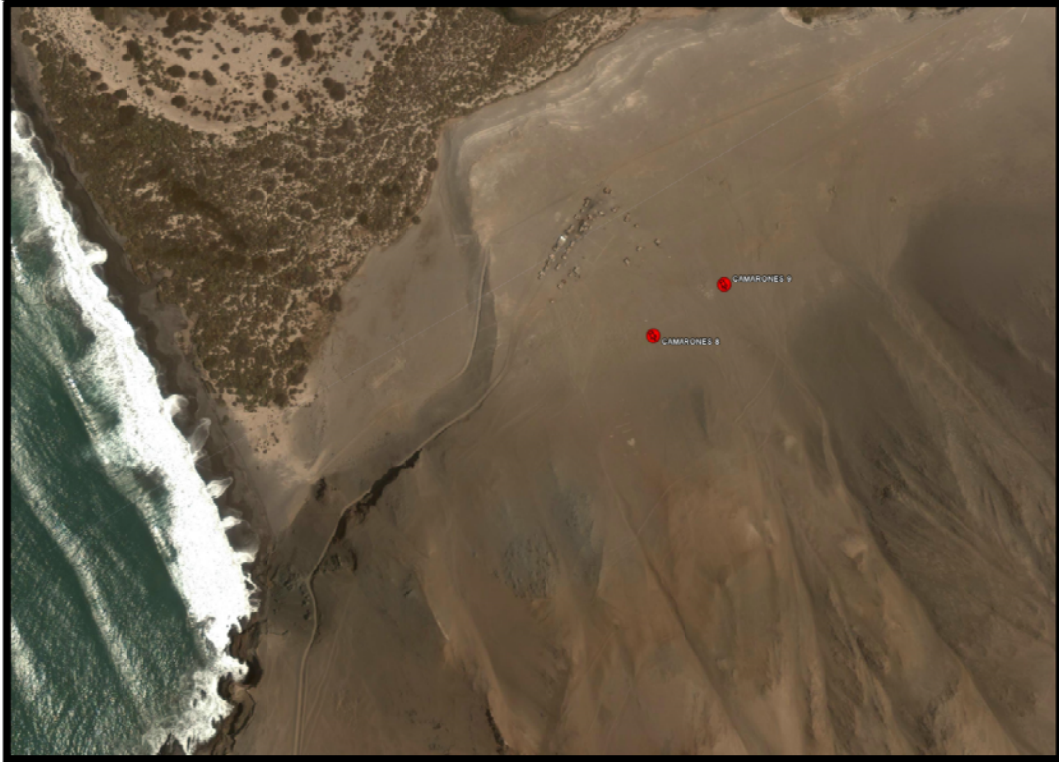


Figura 9. Fotografía del sitio Lluta 54, sector del Huaylacan (Foto: M. Alarcón, 2009).





Figura 10. Fotografía sitio Lluta 54, sector Huaylacan (Foto: M. Alarcón, 2009).



Figura 11. Fotografía sitio Azapa 140, ladera Sur del Valle de Azapa (Foto: V. Silva, 2008).





Figura 12. Fotografía de contextos funerarios destruidos, por acción de huaqueo sistemático en sitios del valle de Azapa (Foto: V. Silva, 2008).



Figura 13. Fotografía del sitio Camarones 8, ladera sur de la Quebrada de Camarones (Foto: V. Silva, 2010)





Figura 14. Fotografía del sitio Camarones 9, nótese la casa que se encuentra sobre el sitio (al centro) y a la izquierda parte del campamento de pescadores artesanales (Foto: V. Silva, 2010)



Figura 15. Dibujo esquemático de sacros en vista posterior. Posibles segmentos afectados por espina bífida oculta sacra (Dibujo: V. Silva).

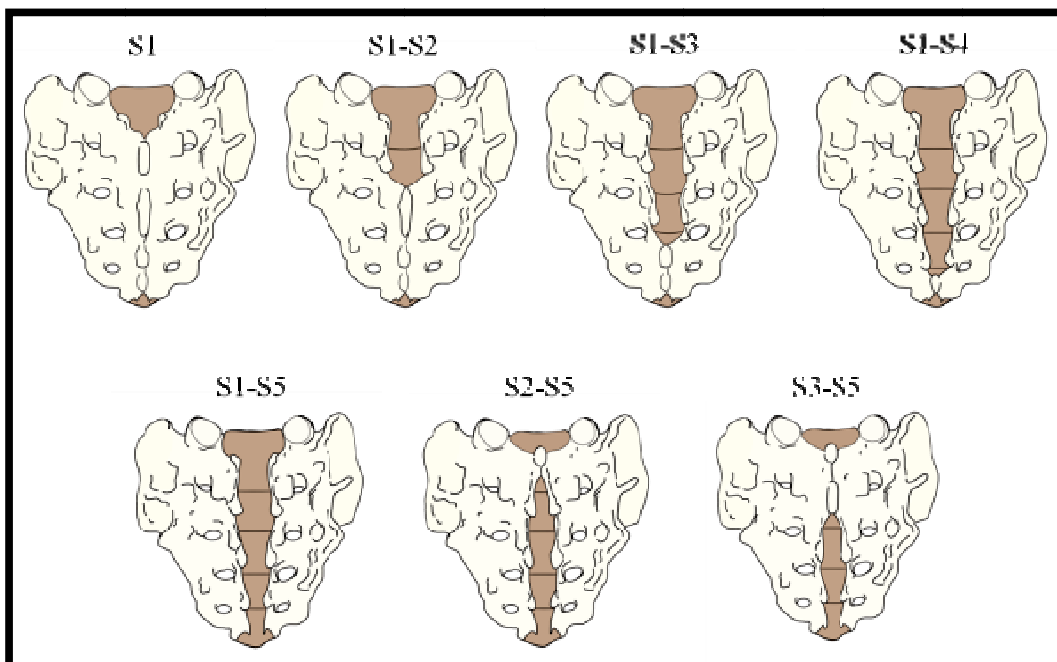




Figura 16. Dibujo esquemático de variantes normales del hueso sacro en vista posterior (Dibujo: V. Silva).

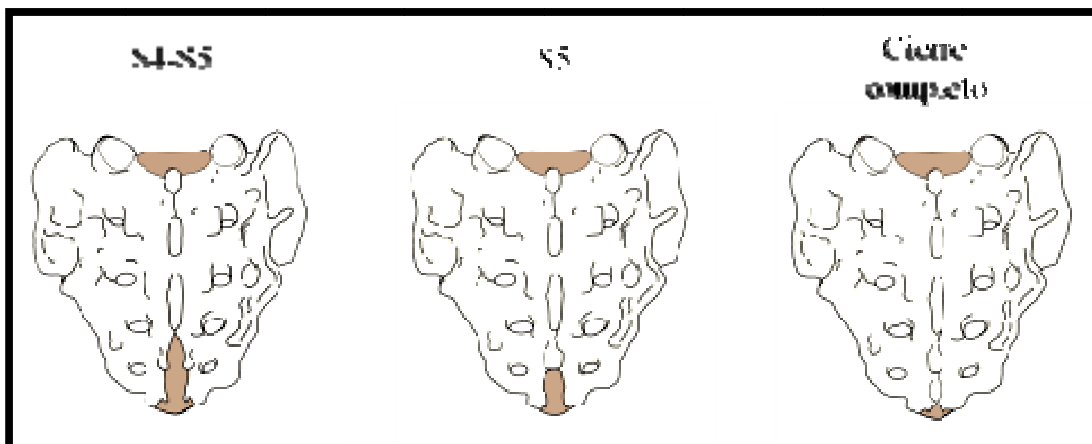


Figura 17. Espina bífida oculta sacra. Sitio Camarones 8 Tumba A2. Masculino, 38-42 años de edad. A. Sacro y coxal derecho articulados vista posterior. B. Radiografía de sacro y coxal en vista antero-posterior (Fotos: O. Lagos, 2008).



Figura 18. Espina bífida oculta sacra. Sitio Camarones 9 Tumba 12. Femenino, 35-40 años de edad. A. Pelvis articulada vista posterior. B. Radiografía de la pelvis en vista antero-posterior (Fotos: O. Lagos, 2008).



Figura 19. Espina bífida oculta sacra. Sitio Camarones 9 Tumba 39. Femenino, 35-40 años de edad. A. Hueso sacro vista posterior. B. Radiografía hueso sacro en vista antero-posterior (Fotos: O. Lagos, 2008).

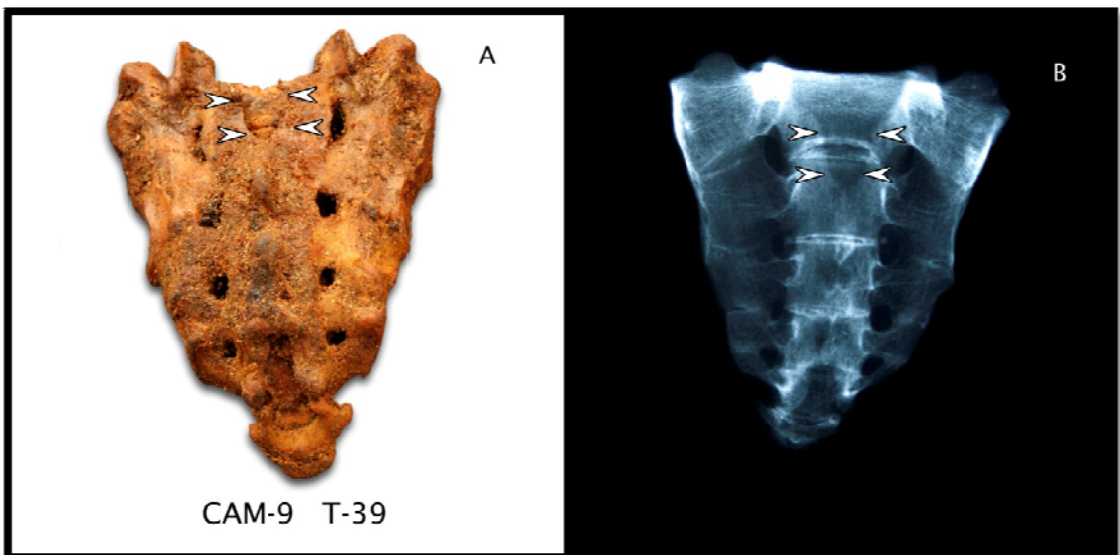




Figura 20. Espina bífida oculta sacra completa. Sitio Azapa 140 Tumba 36. Femenino, 19-22 años de edad. A. Hueso sacro vista posterior. B. Radiografía hueso sacro en vista antero-posterior (Fotos: O. Lagos, 2008).

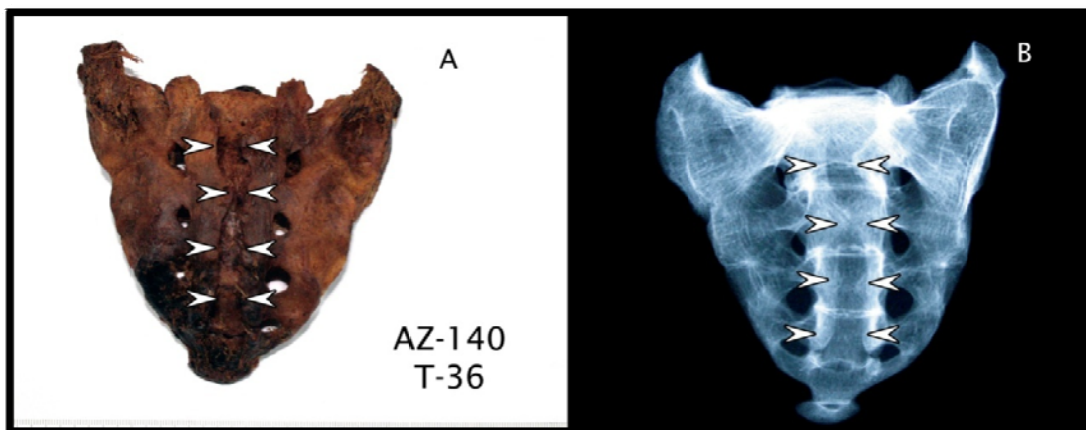


Figura 21. Gráfico comparativo de la frecuencia de espina bífida oculta por sitio.

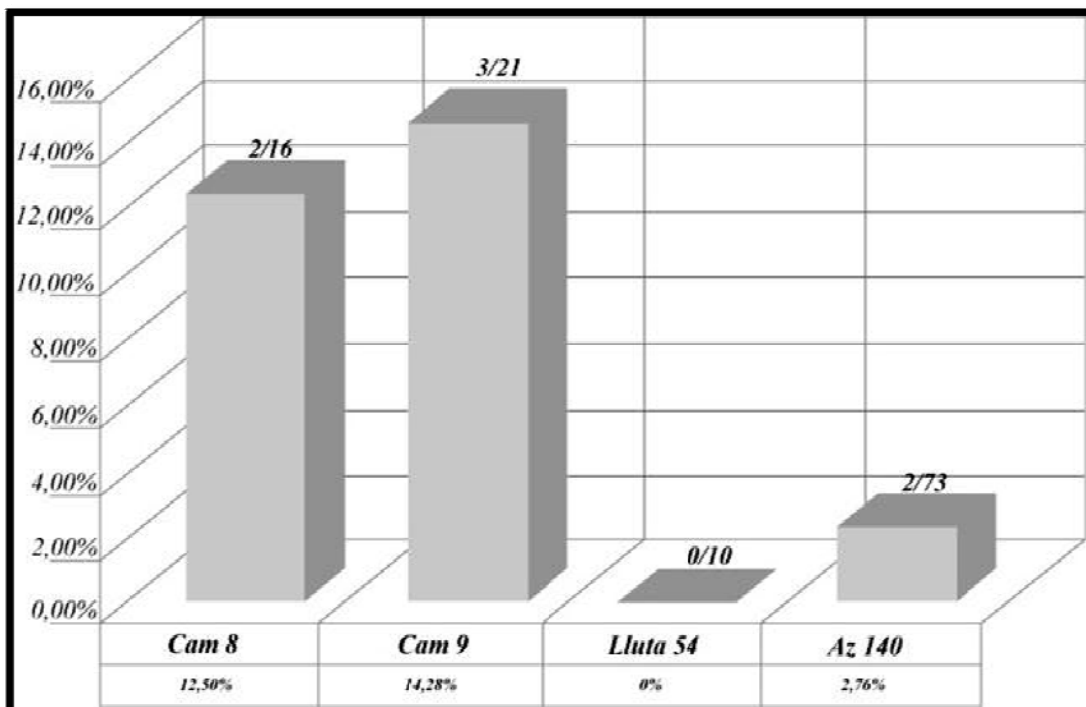




Figura 22. Hueso sacro vista posterior. Sitio Lluta 54 tumba 20. Femenino, 15-18 años de edad. Nótese que el proceso de desarrollo y cierre del arco neural posterior del sacro no se completó al momento de la muerte (Foto: V. Silva, 2008).

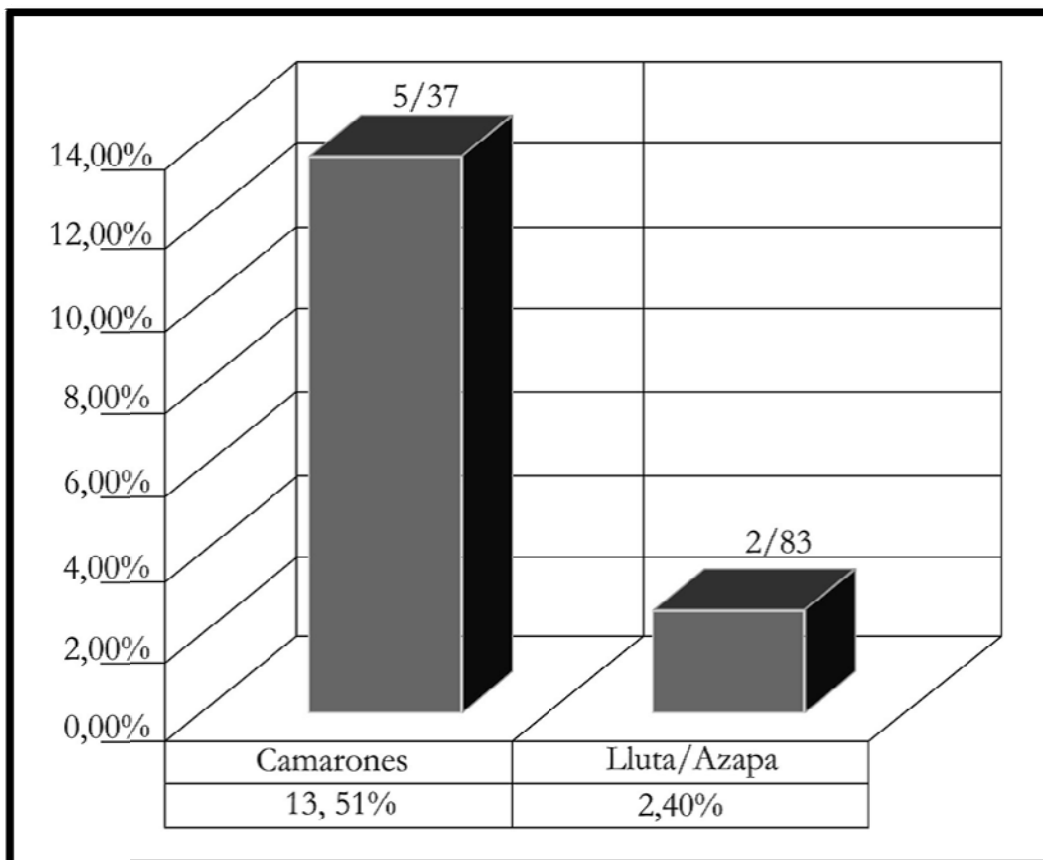


Figura 23. Hueso sacro vista posterior. Sitio Azapa 140 tumba 38. Masculino, 40- 45 años de edad. Nótese la espina de la S1 doble y casi cerrada (Foto: V. Silva, 2008).





Figura 24. Gráfico comparativo de la frecuencia de espina bífida oculta entre la muestra en estudio (Camarones 8 y 9) y la muestra control (Lluta 54 y Azapa 140).





XII. ANEXO

12.1. Ficha de registro bioantropológico:

FICHA BIOANTROPOLÓGICA

1. INFORMACIÓN GENERAL

Sitio: _____ Tumba N°: _____ Individuo N°: _____

Procedencia Geográfica _____ Período/Fase: _____ Excavado por: _____

Analizado por: _____ Fecha de Análisis: ___/___/___ Almacenamiento actual: _____

2. ESTADO DEL MATERIAL:

Momificación Natural Momificación parcial Esqueletizado
 Buen Estado Moderado Estado Mal Estado
 Completo Incompleto Fragmentado

Observaciones: _____

3. PERFIL BIOLÓGICO

Edad Estimada: ___ ± ___ años Adulto >19 á Subadulto 12-19á Infante 1-12á Feto/neonato

Edad Basada en: _____ Largo máx. cuerpo _____ Ancho máx. cuerpo _____

Largo máx. Fémur Izq. _____ Estatura: _____ Estatura basada en: _____

Sexo Femenino Sexo Masculino Sexo indeterminado Sexo basado en: _____

Espina bífida oculta: Si No Probable

Nivel afectado: _____ Observaciones Rx: _____

4. ODONTOGRAMA (marque los símbolos en los registros dentales, según corresponda)

	18	17	16	15	14	13	12	11	21	22	23	24	25	26	27	28	P: Presente X: Ausente premortem *: Caries A: Ausente postmortem F: Fracturado #: Agnesia
Sup																	
Inf.																	
	48	47	46	45	44	43	42	41	31	32	33	34	35	36	37	38	



5. INVENTARIO MATERIAL BIOANTROPOLÓGICO: Marque en la figura los elementos presentes

- Cabeza:** _____
Bóveda craneana: _____
Cara Ósea: _____
Tronco: _____
Vétebras: _____
Costillas: _____
Esternón: _____
Miembro superior: _____
Clavículas: _____
Escápulas: _____
Brazos: _____
Húmeros: _____
Antebrazos: _____
Ulnas: _____
Radios: _____
Manos: _____
Huesos de manos: _____
Miembro inferior: _____
Pelvis: _____
Coxales: _____
Hueso sacro: _____
Muslo: _____
Fémures: _____
Patellas: _____
Piernas: _____
Tibias: _____
Fíbulas: _____
Pies: _____
Huesos de pies: _____
Observaciones: _____

