



# NIVELES DE CORTISOL EN CABELLOS DE POBLACIONES PREHISPÁNICAS DE SAN PEDRO DE ATACAMA, NORTE DE CHILE

## *CORTISOL LEVELS IN THE HAIR OF PREHISPANIC POPULATIONS OF SAN PEDRO DE ATACAMA, NORTHERN CHILE*

*Rocío López-Barrales<sup>1,2</sup>, Mark Hubbe<sup>3,4</sup>, Eugenio Aspíllaga<sup>2</sup> y Hermann M. Niemeyer<sup>1</sup>*

La presente investigación explora el grado de estrés sistémico al que estaban sometidas las poblaciones de San Pedro de Atacama durante los períodos Medio e Intermedio Tardío mediante el análisis de cortisol en el cabello de restos humanos de estos períodos. Los niveles similares de cortisol encontrados en los individuos de San Pedro de Atacama y en individuos actuales sugieren que, si bien las condiciones ambientales y sociales de las poblaciones prehispánicas fueron muy distintas a las actuales, la población prehispánica en San Pedro de Atacama no estaba sometida a niveles de estrés sistémico mayores que la actual, posiblemente debido a la larga historia de ocupación en la región que permitió que dichas poblaciones se adaptaran a sus condiciones particulares. Los niveles de cortisol de los individuos analizados del período Medio mostraron una tendencia a ser menores que los del Intermedio Tardío, congruente con las diferencias en la calidad de vida sugeridos por marcadores osteológicos y con los cambios culturales y ambientales asociados a ambos períodos. Aunque diversos factores pueden afectar los niveles de cortisol encontrados en muestras arqueológicas, este marcador muestra el potencial para complementar los resultados obtenidos sobre las poblaciones de San Pedro de Atacama utilizando otros enfoques.

**Palabras claves:** bioarqueología, estrés sistémico, cortisol, cabello.

*Systemic stress in prehispanic populations of San Pedro de Atacama (SPA) during the Middle and Late Intermediate periods was explored through cortisol analysis of hair samples of mummies from these periods. The cortisol levels in the SPA samples were similar to those in samples from present day individuals. This suggests that, in spite of the different environmental and social conditions, prehispanic populations from SPA were not exposed to higher levels of systemic stress than modern populations, possibly due to their long history of occupation and adaptation to the local environment. Individuals from the Middle period showed lower cortisol levels than those from the Late Intermediate period, thus reflecting the differences in the quality of life as shown by osteological markers as well as the cultural and environmental changes associated with the transition from one period to the other. Although cortisol levels in archaeological samples may be affected by a range of factors, they can generate cultural inferences and complement results obtained in SPA prehistoric populations using other approaches.*

**Key words:** Bioarchaeology, systemic stress, hair, cortisol.

En la reconstrucción e interpretación de los perfiles de salud y calidad de vida de las poblaciones del pasado, un concepto importante es el estrés, por cuanto permite acercarse a los procesos adaptativos que estas poblaciones tuvieron frente a condiciones ambientales y culturales particulares (Armélago y Goodman 1991; Goodman et al. 1988; Larsen 1997). El estrés corresponde a una alteración fisiológica causada por condiciones ambientales empobrecidas y puede tener consecuencias negativas tanto en el individuo como también en la

población (Armélago y Goodman 1991; Goodman et al. 1988; Larsen 1997, 2002). El modelo de estrés que se ha propuesto para el estudio de restos humanos antiguos se basa principalmente en los trabajos de Goodman y colaboradores (Armélago y Goodman 1991; Goodman et al. 1984; 1988), quienes plantean que en la manifestación del estrés interactúan tres factores: el ambiente, el sistema cultural y la resistencia del individuo, en una perspectiva que incluye respuestas tanto fisiológicas como de comportamiento (Armélago y Goodman 1991).

<sup>1</sup> Departamento de Ciencias Ecológicas, Facultad de Ciencias, Universidad de Chile, Casilla 653, Santiago, Chile. rociolopez@ug.uchile.cl; niemeyer@abulafia.ciencias.uchile.cl

<sup>2</sup> Departamento de Antropología, Facultad de Ciencias Sociales, Universidad de Chile, Santiago, Chile. easpilla@uchile.cl

<sup>3</sup> Department of Anthropology, The Ohio State University, Columbus, OH 43210, USA. hubbe.1@osu.edu

<sup>4</sup> Instituto de Investigaciones Arqueológicas y Museo, Universidad Católica del Norte, San Pedro de Atacama, Chile.

En San Pedro de Atacama (SPA) diversos marcadores osteológicos de estrés y de dieta aplicados a poblaciones prehispánicas han permitido recrear la situación biológica y de salud de ellas, postulándose diferencias importantes a lo largo de la prehistoria agroalfarera. Los cambios detectados, en particular entre los períodos Medio (400-1.000 d.C.) e Intermedio Tardío (1.000-1.400 d.C.), se corresponderían con cambios culturales, económicos y ambientales importantes (Costa et al. 1998; 2004; Da Gloria et al. 2011; Hubbe et al. 2012; Neves y Costa 1998; Neves et al. 1999; Torres-Rouff 2008, 2011). En efecto, durante el período Medio se produce un auge cultural y económico y una mayor complejización social, reflejados en un aumento en la densidad de los cementerios, en la calidad, cantidad y diversidad de las ofrendas funerarias, y en el aumento de la interacción con distintas zonas del área Centro Sur andina incluyendo Tiwanaku, del que los oasis atacameños recibieron una influencia importante (Berenguer y Dauelsberg 1989; Núñez 2007). Estos cambios se tradujeron en una mejora en la calidad de vida de las personas (Costa et al. 2004), aunque no toda la población se vio beneficiada. Diferencias en salud dental y en traumas craneales sugieren un acceso diferencial a fuentes nutricionales (Hubbe et al. 2012) y tensiones al interior de la sociedad atacameña relacionadas con diferencias de estatus social y/o interacción con el Estado altiplánico (Torres-Rouff 2011).

El período Intermedio Tardío, por su parte, se caracteriza por la consolidación de los desarrollos regionales con mayor énfasis en lo local, la pérdida de los vínculos con Tiwanaku y una crisis ambiental que afectó el área de los Andes Centro Sur (Núñez 2007; Schiappacasse et al. 1989; Uribe 2002). Para este período se ha planteado la aparición de conflictos sociales que se vieron reflejados en la construcción de *pucarás* (Núñez 2007; Schiappacasse et al. 1989) y en el aumento de traumas craneales (Lessa y Mendonça de Souza 2004; Torres-Rouff y Costa 2006). Un cambio en el patrón de asentamiento con un énfasis en las quebradas hace suponer que los conflictos estaban relacionados con el acceso al agua (Uribe 2002). Todos estos cambios se corresponden con una variación en la calidad de vida de las personas: la disminución de la estatura, el aumento de caries y de hipoplasias del esmalte y el aumento de enfermedades infecciosas no específicas sugieren una disminución del acceso a recursos proteicos así como una mayor exposición

a eventos de estrés (Costa et al. 2004; Da-Gloria et al. 2011).

Si bien los restos esqueléticos son informativos en cuanto a salud, dieta, historia, estilo de vida, ancestría y rasgos biológicos como sexo y edad (Larsen 2002), ellos presentan una visión parcial de la respuesta del ser humano ante condiciones estresoras (Armélagos y Goodman 1991). En primer lugar, con los marcadores osteológicos solo se puede conocer la *respuesta ósea y dental*, particularmente ante condiciones disruptivas severas y crónicas (Armélagos y Goodman 1991; Goodman y Martin 2002), por lo que no se puede acceder a la gama de respuestas que el cuerpo humano despliega y por lo mismo a todas las situaciones de estrés a las que se ven expuestos los individuos y las poblaciones. Relacionado a esto se encuentra la forma limitada de respuesta del tejido óseo a múltiples factores de estrés que pueden estar interactuando, de manera que la reabsorción y la aposición ósea pueden estar ocurriendo de manera sincrónica o secuencial a lo largo de la vida de los individuos, enmascarando así eventos momentáneos de estrés. Un ejemplo de esto son las líneas de Harris (Hummert y Van Gerven 1985; Papageorgopoulou et al. 2011), que pueden recuperarse y desaparecer a lo largo de la vida de los individuos. Finalmente, un aspecto importante que no es posible identificar en forma directa a nivel esquelético es la influencia de factores psicosociales en el estado de salud de los individuos y por tanto en la resistencia individual (Armélagos y Goodman 1991; Goodman et al. 1988).

En consecuencia, la interpretación de los marcadores esqueléticos es compleja (Armélagos y Goodman 1991), por lo que la utilización de nuevos biomarcadores podría ayudar a entender la respuesta del individuo a factores de estrés. El cortisol, un glucocorticoide, es un marcador de estrés común usado en estudios actuales. Su secreción se ve aumentada por la acción del eje hipotalámico hipofisiario adrenal y tiene diferentes efectos metabólicos en el control del metabolismo de las proteínas, carbohidratos y grasas, así como efectos antiinflamatorios (Guyton y Hall 2006; Sapolsky et al. 2000).

Tradicionalmente el cortisol ha sido analizado en sangre, saliva u orina, matrices que entregan información sobre la respuesta aguda del organismo ante diversos estresores. El análisis en cabello, en tanto, ha permitido observar los niveles de la hormona a lo largo de un eje temporal más amplio

(Sauvé et al. 2007) gracias a la tasa de crecimiento relativamente estable de la fibra capilar y un grado considerable de estabilidad intraindividual del cortisol en dicha matriz (Stalder et al. 2013); dependiendo del largo del cabello, este podría reflejar los niveles hormonales a lo largo de meses o incluso de años (Russell et al. 2012; Stalder y Kirschbaum 2012).

Diversos estudios sobre la relación entre los niveles de cortisol en el cabello y enfermedades o condiciones como el embarazo, síndrome de Cushing, dolor crónico, infarto al miocardio, deporte, índice de masa corporal, entre otros, han validado el nivel de esta hormona como un biomarcador de estrés sistémico (Cirimele et al. 2000; Gow et al. 2010; Kalra et al. 2007; Kirschbaum et al. 2009; Pereg et al. 2011; Raul et al. 2004; Skoluda et al. 2012; Stalder et al. 2012; Thomson et al. 2010; Van Uum et al. 2008). Más aún, se ha demostrado que no solo las enfermedades, el estado de salud en general o la actividad física pueden interferir en la liberación de cortisol. Grandes eventos de estrés relacionados con factores psicológicos y psicosociales, como por ejemplo desajustes socioculturales y la percepción que las personas tienen de estos, provocan cambios en el nivel de cortisol (Karlén et al. 2011; Sharpley et al. 2012); estudios actuales han mostrado que, por ejemplo, las situaciones extremas como la muerte de un familiar o enfermedades graves, el estrés postraumático por situaciones de guerra o desastres naturales, el desempleo, el tipo de empleo (p. ej., el trabajo por turnos) y otros aspectos socioeconómicos tienen relación con la acumulación de esta hormona (Dettenborn et al. 2010; Karlén et al. 2011; Luo et al. 2012; Manenschijn et al. 2011; Staufenbiel et al. 2013; Steudte et al. 2011).

Un estudio realizado en momias de Perú demostró que es factible cuantificar el nivel de esta hormona en restos antiguos (Webb et al. 2009). El estudio muestra que la pérdida diagenética de cortisol no impide observar patrones de producción hormonal que reflejan la exposición a estrés sistémico. Estos resultados tienen una gran utilidad en interpretaciones sobre la salud en el pasado, ya que el cortisol se presenta como un marcador complementario de estrés sistémico y que considerado en conjunto con otros enfoques como, por ejemplo, estudios paleopatológicos puede ayudar en la comprensión de la calidad de vida de las poblaciones del pasado. En este contexto, la presente investigación examina el grado de estrés sistémico al que estaban sometidas las poblaciones de San Pedro de Atacama durante

los periodos Medio e Intermedio Tardío mediante el análisis de cortisol en el cabello de momias de estos períodos.

## Materiales y Métodos

### Material analizado

De las 59 muestras obtenidas, solo 19 pudieron ser asignadas a un periodo cultural a partir del ajuar funerario. De estas cinco corresponden al periodo Medio y 14 al Intermedio Tardío (Tabla 1). A pesar del bajo número de muestras disponibles, particularmente del período Medio, el hecho de que cada una de las muestras del período Medio proviene de un sitio distinto y las del período Intermedio Tardío de tres sitios distintos (Figura 1), sugiere que estas muestras incluyen una proporción razonable de la variabilidad total de ambos períodos. No fue posible estimar el sexo y la edad de muerte de los individuos analizados, ya que los restos correspondían a individuos momificados envueltos en diversas capas de textiles en forma de fardo, un patrón funerario típico de la zona en tiempos prehispánicos.

Como control metodológico se analizó una muestra de población chilena actual compuesta por 19 personas sanas no obesas (IMC<30), entre 23 y 55 años (Tabla 2), en la ciudad de Santiago. Se excluyeron aquellas personas que hubieran recibido tratamiento con corticoides en los últimos seis meses, que tuvieran alguna enfermedad que afectara al eje hipotalámico-hipofisiario-adrenal o que tuvieran algún tratamiento cosmético en el cabello.

Tabla 1. Muestras de cabellos arqueológicos para el análisis de cortisol.  
*Samples of archaeological hair for cortisol analysis.*

Período	Sitio	Total
Medio	Coyo Oriente	1
	Quitor 6	1
	Solcor 3	1
	Quitor 2	1
	Sequitor Alambrado	1
Intermedio Tardío	Catarpe 2	9
	Quitor 1	3
	Toconao Oriente	2
	Total	19

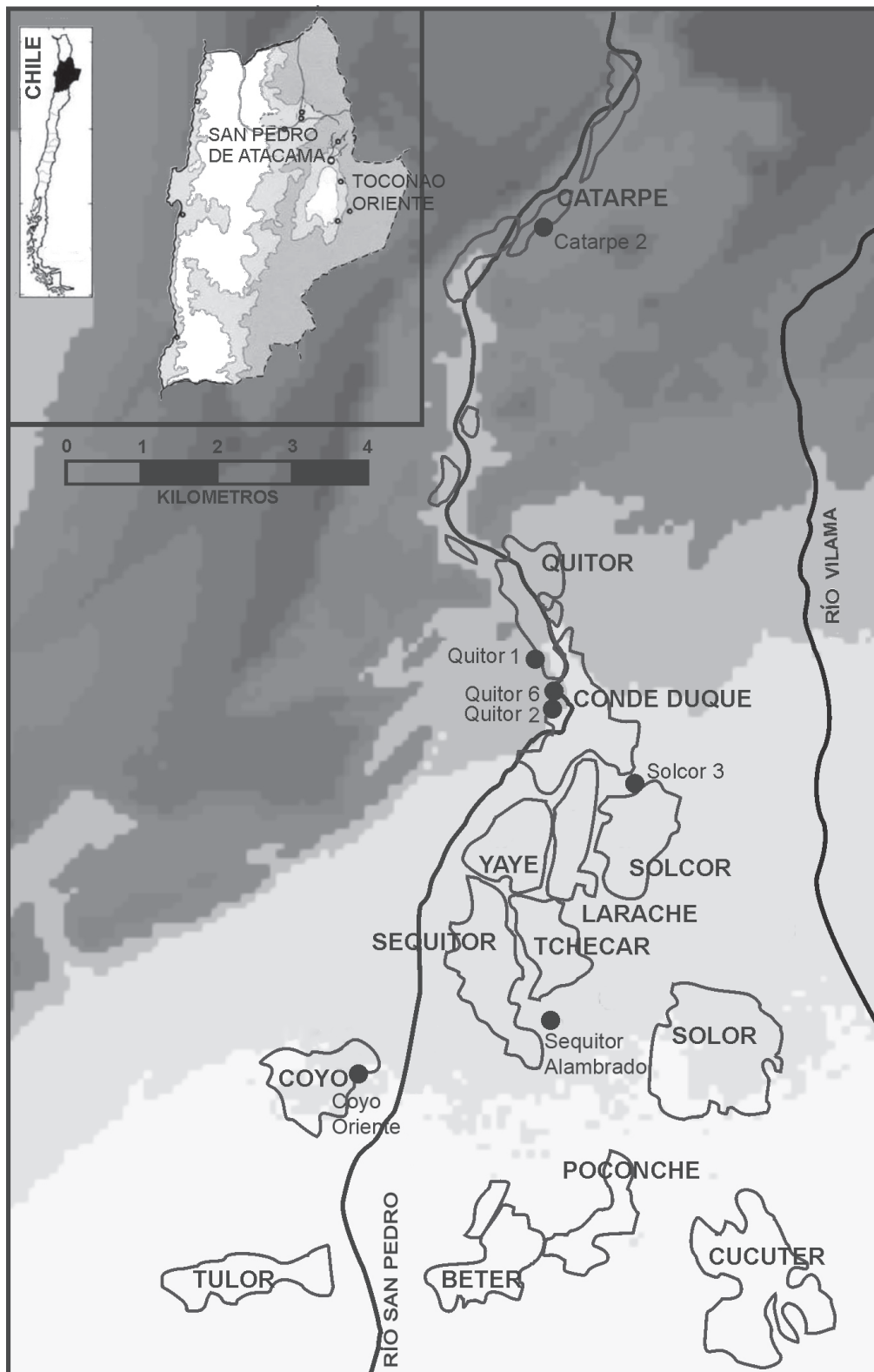


Figura 1. Localización de los sitios analizados en este estudio.

*Location of the sites analyzed in this study.*

Tabla 2. Muestras de cabellos actuales para el análisis de cortisol.  
*Samples of hair from present day individuals for cortisol analysis.*

Información demográfica y médica	Femenino N = 8	Masculino N = 11
Edad (promedio $\pm$ desv. estándar)	25 $\pm$ 4,06	28 $\pm$ 9,9
IMC (promedio $\pm$ desv. estándar)	21,7 $\pm$ 2,3	23,9 $\pm$ 3,5
Enfermedades crónicas (%)	0	0
Cirugías (%)	0	1 (9,09%)
Uso de medicamentos (%)	0	1 (9,09%)
Uso de anticonceptivos (%)	6 (75%)	–
Consumo de tabaco (%)		
No	6 (75%)	10 (90,9)
Social	2 (25%)	1 (9,1%)
Regular	0	0
Consumo de alcohol (%)		
No	2 (25%)	0
Social	6 (75%)	11 (100%)
Regular	0	0
Tratamiento de cabello		
sin tratamiento	5 (62,5%)	0
hace más de 6 meses	3 (37,5%)	0
hace menos de 6 meses	0	0

### Toma de muestras

Las muestras actuales se obtuvieron de la parte posterior de la cabeza, la región donde la tasa de crecimiento de cabello es más uniforme y posee el coeficiente de variación intraindividual más bajo para la concentración de cortisol (Stalder y Kirschbaum 2012). Se cortó un mechón de cabello a ras del cuero cabelludo y se utilizaron los tres cm proximales de él. Esto permitió acotar el tiempo de acumulación de la hormona y evitar eventuales pérdidas de cortisol que puedan ocurrir en segmentos más distales por exposición de ellos a la acción del ambiente.

La obtención de cabello de los restos momificados se realizó bajo condiciones más restrictivas; en efecto, ya que se trataba en su mayoría de momias enfardadas, se minimizó la intervención cortando cabello de distintas partes de la cabeza, en la medida que se asomara de los textiles que conformaban el fardo. Posteriormente se utilizaron seis cm de longitud del cabello obtenido para así controlar el tiempo de acumulación de cortisol en esta matriz. Como el cabello crece en promedio seis cm por mes se consideró por lo

tanto la acumulación de seis meses en todos los individuos.

### Determinación y análisis de niveles de cortisol

El nivel de cortisol se determinó mediante un método ELISA utilizado en investigaciones anteriores (Manenschijn et al. 2013; Pereg et al. 2011; Sauvé et al. 2007; Thomson et al. 2010; Van Uum et al. 2008). El cabello se cortó finamente (trozos < 2 mm de longitud) y 10 mg de cada muestra fueron pulverizadas usando 20 esferas de acero de 1,5 mm de diámetro en viales de acero de 1,8 ml durante 10 minutos en un homogeneizador Mini-Beadbeater-96 (Biospec Inc., Bartlesville, OK, USA). A las muestras pulverizadas se les añadió 1 ml de metanol para la extracción de la hormona y se incubaron por 16 horas a 50° C bajo agitación a 200 rpm en un agitador orbital Finemixer SH2000 (FinePCR, Seúl, Corea). La mezcla resultante se filtró y el sobrenadante se llevó a sequedad a 40 °C bajo corriente de nitrógeno. Al residuo se le agregó 100  $\mu$ l de PBS (*phosphate buffer saline*) a pH 8. La solución se procesó usando el conjunto de reactivos para análisis de cortisol en saliva



mediante ELISA (*kit* de análisis de cortisol) de ALPCO Diagnostics (Salem, NH, USA). Para la lectura de la microplaca se utilizó un fotómetro Spectracount Microplate Reader AS10001 (Packard Instrument Co., Warrenville, IL, USA) con un filtro de 405 nm. Las determinaciones se hicieron por duplicado.

Una vez obtenidos los niveles de cortisol se realizaron análisis estadísticos descriptivos. Se realizaron las pruebas para verificar los supuestos de normalidad y homocedasticidad en los datos; estos se cumplieron, por lo que se procedió a realizar análisis paramétricos para evaluar si existían diferencias según las características demográficas y culturales de las muestras. Para las comparaciones entre los períodos se asumió en este estudio un valor de alfa de 0,1, a diferencia del tradicional de 0,05. Eso se debe al hecho de que con un *N* tan pequeño, el poder de la prueba *t* (es decir, la probabilidad de encontrar diferencias significativas cuando ellas realmente ocurren) es demasiado bajo con un alfa de 0,05. En situaciones como la del presente estudio, donde se espera que las diferencias entre los períodos sean pequeñas (debido a que no hubo grandes cambios en el estilo de vida local entre períodos), se sugiere un alfa menos restrictivo para aumentar el poder de la pruebas estadísticas (Cohen 1988; Hair et al. 2009). Los análisis se realizaron con el programa SigmaPlot 11 (Systat Software, Inc.).

## Resultados

El nivel promedio de cortisol en las muestras de San Pedro de Atacama fue  $76,0 \pm 35,3$  ng/g (rango: 33,7 ng/g-152 ng/g), en tanto la muestra actual presentó una media de  $67,6 \pm 26,5$  ng/g (rango: 11,9 ng/g-115,4 ng/g). Los resultados en muestras actuales no mostraron diferencias significativas entre hombres y mujeres (prueba de Student:  $t = 0,189$ ;  $p = 0,852$ ) y tampoco una correlación entre niveles de cortisol y edad (correlación de Pearson:  $r = 0,21$ ;  $p = 0,39$ ). Aunque estos factores no influyeron sobre la acumulación de cortisol en la muestra control, se agruparon los resultados para así compararlos con la muestra arqueológica, a la que no se pudo determinar ni sexo ni edad. El resto de la información demográfica y médica (uso de anticonceptivos, consumo de alcohol y tabaco, etc.) de la muestra actual tampoco influyeron sobre los niveles de cortisol.

No se observaron niveles de cortisol significativamente diferentes entre las muestras arqueológicas de San Pedro de Atacama y la muestra control actual (prueba de Student:  $t = 0,83$ ;  $p = 0,41$ ) (Figura 2). La Figura 2 compara además los niveles de cortisol encontrados en la presente investigación con aquellos informados de otros estudios y realizados con la metodología ELISA. Si bien los resultados absolutos de las distintas muestras no pueden ser directamente comparados debido a variables instrumentales que puedan afectarlos (Miller et al. 2013), una visión general de ellos da luces sobre el comportamiento de la hormona frente a distintas condiciones. Los niveles de cortisol más altos se encuentran principalmente en los individuos hospitalizados por distintas situaciones cercanas a la muerte y en individuos afectados por el síndrome de Cushing, caracterizado precisamente por la producción anormal de cortisol. Aunque las muestras de individuos con ciertos estados patológicos o con situaciones de estrés (pacientes con dolor crónico bajo tratamiento, por ejemplo) presentan niveles mayores que sus respectivos grupos control, ellos siguen siendo inferiores a los de pacientes con patologías graves (paciente hospitalizados, infartados) o relacionadas con la secreción anormal de cortisol (síndrome de Cushing) y, también, con las muestras arqueológicas de Perú. Es posible sugerir entonces que diversas condiciones de la vida actual o biológica pueden aumentar los niveles de cortisol, aunque siguen dentro de un rango más bajo que los de individuos con patologías graves.

La comparación estadística entre los niveles de cortisol de los individuos pertenecientes al período Medio y al período Intermedio Tardío arrojó valores de  $t = 1,76$  y  $p = 0,096$  (prueba de Student) (Figura 3). El valor de *P* obtenido y la diferencia observable en la Figura 3 permiten proponer que los individuos analizados del período Medio tienen un nivel menor de cortisol que los del Intermedio Tardío.

## Discusión

Las muestras de San Pedro de Atacama no mostraron niveles de cortisol significativamente diferentes de las muestras controles actuales, sugiriendo que las poblaciones prehispánicas de los oasis atacameños no tuvieron una vida más estresante que la actual. Si bien las condiciones ambientales, tecnológicas y de salud en la

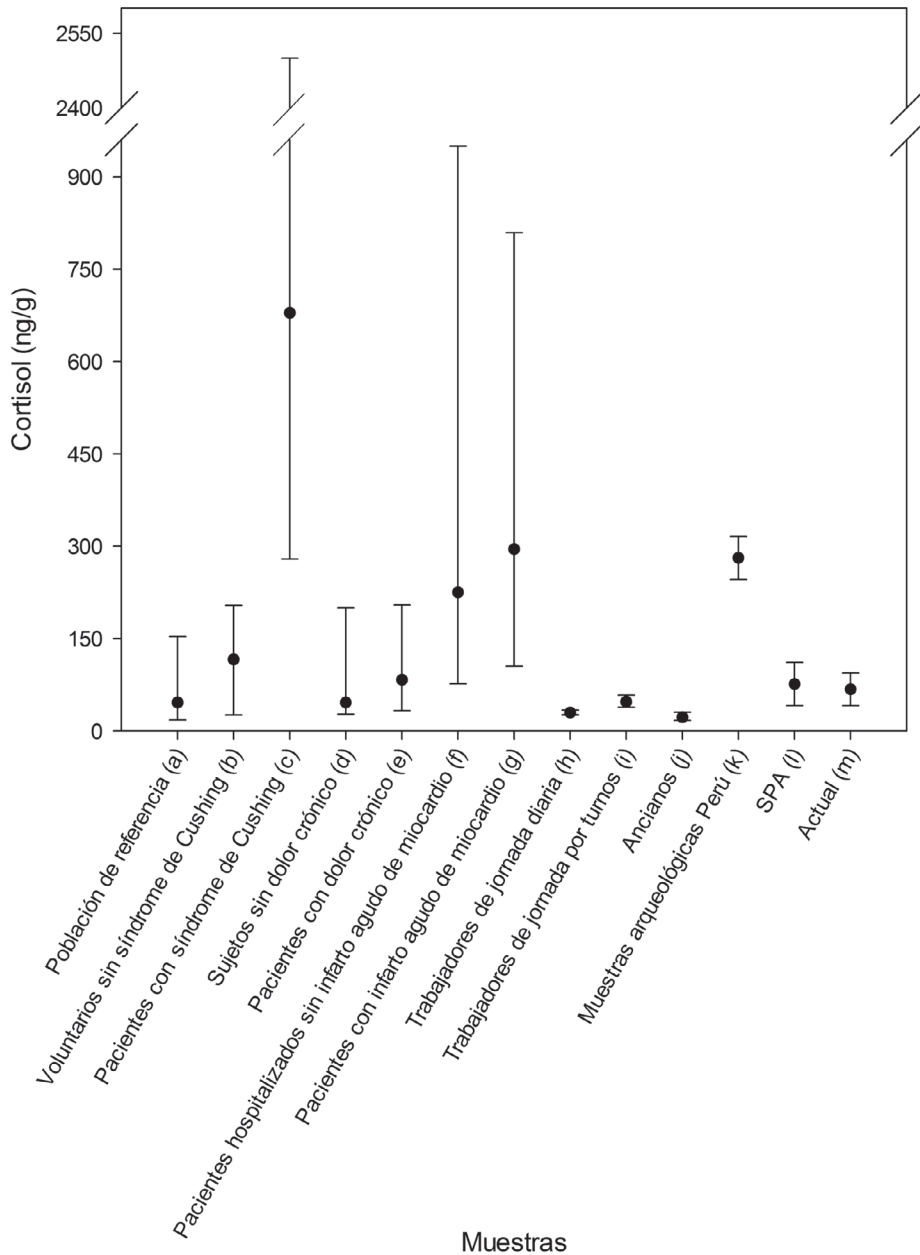


Figura 2. Comparación de los niveles de cortisol de las muestras prehispánicas de San Pedro de Atacama y chilena actual con los resultados publicados en otras investigaciones: (a) Sauv e et al. 2007; (b, c) Thomson et al. 2009; (d, e) Van Uum et al. 2008; (f, g) Pereg et al. 2011; (h, i) Manenschijn et al. 2011; (j) Manenschijn et al. 2013; (k) Webb et al. 2009; (l, m) este trabajo. Los datos están tomados directamente del artículo correspondiente y pertenecen a mediana y rango para (a-g), media e intervalos de confianza al 95% (h, i), mediana y rangos intercuartiles (j), y media y desviación estándar (k-m). Se encontraron diferencias significativas en los pares (b, c); (d, e); (f, g) y (h, i).

*Comparison of cortisol levels in prehistoric samples from San Pedro de Atacama and in samples from present day individuals with the results from other published investigations: (a) Sauv e et al. 2007; (b, c) Thomson et al. 2009; (d, e) Van Uum et al. 2008; (f, g) Pereg et al. 2011; (h, i) Manenschijn et al. 2011; (j) Manenschijn et al. 2013; (k) Webb et al. 2009; (l, m) this paper. Data are taken directly from the corresponding paper and correspond to median and range for (a-g), mean and 95% confidence intervals for (h, i), median and interquartile ranges for (j), and mean and standard deviation for (k-m). Significant differences were found in pairs (b, c); (d, e); (f, g) and (h, i).*

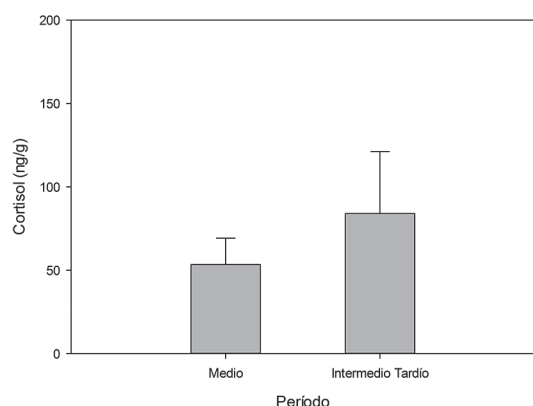


Figura 3. Niveles de cortisol (media y desviación estándar) de cada período cultural de las muestras de San Pedro de Atacama. Las barras representan la media y las líneas verticales la desviación estándar.

*Cortisol levels (mean and standard deviation) for each cultural period of the samples from San Pedro de Atacama. Bars represent the mean and vertical lines represent the standard deviation.*

antigüedad podrían ser consideradas restrictivas en relación con las condiciones de vida actual, al parecer no alteraron mayormente los niveles de estrés sistémico de esas poblaciones. Esto podría explicarse por la larga ocupación humana del área y por lo tanto a una prolongada historia de adaptación al medio ambiente. En efecto, las primeras evidencias de ocupación de esta región se remontan a épocas arcaicas (9.000-2.000 a.C.), con grupos que articulaban grandes territorios en un patrón altamente móvil (Agüero y Uribe 2011). Los procesos de sedentarización durante el período Formativo (1.200 a.C.-400 d.C.) condujeron al desarrollo de poblados estables en los que habitaban grupos especializados en el pastoreo y la horticultura, con una red de intercambio bien establecida y con actividades complementarias de recolección (Agüero y Uribe 2011). Los individuos analizados en el presente estudio vivieron durante los períodos subsiguientes, vale decir, son descendientes de un grupo humano que durante varios miles de años fue adaptándose paulatinamente a las condiciones que la zona le ofrecía. Por ello, y aunque otros factores podrían estar afectando los resultados, los niveles de cortisol encontrados sugieren que no eran grupos estresados o por lo menos no más estresados que las poblaciones en la actualidad.

Los niveles de cortisol de los individuos analizados del período Medio mostraron una tendencia a ser menores que los del Intermedio

Tardío. Las personas que vivieron en los oasis de San Pedro de Atacama en tiempos prehispánicos se enfrentaron a procesos sociales que no siempre fueron beneficiosos para toda la población (Hubbe et al. 2012). Es así como diversos marcadores osteológicos relacionados con nutrición, enfermedades infecciosas y fracturas craneales, entre otros, sugieren diferencias intrapoblacionales en la calidad de vida entre los períodos Medio e Intermedio Tardío (Costa et al. 1998; 2004; Da-Gloria et al. 2011; Hubbe et al. 2012; Neves y Costa 1998, 1999; Torres-Rouff 2008, 2011) que pueden verse reflejadas en diferencias en los niveles de estrés sistémico prevalentes en esos períodos. Factores culturales y eventos históricos particulares, como la influencia de un estado de mayor complejidad, como es el caso de Tiwanaku durante el período Medio (Berenguer y Dauelsberg 1989; Núñez 2007) o cambios ambientales o violencia social durante el período Intermedio Tardío (Lessa y Mendonça de Souza 2004; Schiappacasse et al. 1989; Torres Rouff 2011; Torres-Rouff y Costa 2006; Uribe 2002), son otros de los factores que podrían haber afectado el estado psicológico de las poblaciones de los oasis atacameños, reflejado en la respuesta hormonal.

La presencia de un alto nivel de cortisol en uno de los individuos estudiados (Quitor 1 - 3445: 152 ng/g) puede estar relacionada con alguna enfermedad crónica que pudiera haberlo afectado. Por ejemplo, en estudios actuales se ha observado que personas que sufren dolor crónico debido a distintas patologías presentan niveles de cortisol significativamente más altos que personas que no lo sufren (Van Uum et al. 2008). En poblaciones de San Pedro de Atacama se han demostrado enfermedades infecciosas de la cavidad oral (Costa et al. 2004; Hubbe et al. 2012) y procesos infecciosos no específicos como periostitis y osteomielitis (Da-Gloria et al. 2011), cuyos agentes patógenos afectarían de manera negativa y persistente al cuerpo, produciendo un aumento generalizado en el estrés experimentado. Por otra parte, las condiciones sociales o de salud en las que se encontraba este individuo pudieron afectar su estado mental (psicológico y psicosocial), lo que a su vez le pudo traer mayores consecuencias negativas a su salud, debido a que la liberación crónica elevada de cortisol tiene, entre otros, efectos inmunosupresores con un eventual mayor riesgo de infecciones, y también efectos al nivel cardíaco con



un mayor riesgo de sufrir enfermedades coronarias (Pereg et al. 2011). Lamentablemente el cabello fue obtenido de momias enfardadas que no pudieron ser analizadas para obtener información osteológica y dental que pudiese esclarecer estas hipótesis; estudios imagenológicos serán necesarios para eventualmente dilucidar estos aspectos.

Aunque los niveles de cortisol en las muestras arqueológicas caen en el rango de los modelos actuales, no se puede descartar la posibilidad de que exista una pérdida de cortisol en ambos tipos de muestras. La fibra capilar en personas vivas puede estar sujeta a daños producto del sol, el agua, el clima, la contaminación y el uso de cosméticos, entre otros factores (Tobin 2005). En estudios con muestras arqueológicas no se puede descartar la posibilidad de que exista una pérdida de cortisol debida a factores tafonómicos. La base estructural del cortisol es un esqueleto hidrocarbonado tetracíclico y parcialmente hidroxilado, estructura en general estable a la descomposición química, aunque no se puede descartar la posibilidad de que a largo plazo y expuesto a los agentes adecuados pueda experimentar reacciones de oxidación. La evaluación de la degradación y la pérdida de componentes en cabello arqueológico por medio de observaciones histológicas y microscópicas, así como de análisis de la composición elemental del cabello, ha mostrado que el cabello puede interactuar con elementos de la matriz en la que está depositado (Mansilla et al. 2011; Wilson et al. 2010). En el caso del cortisol, al tratarse de una molécula relativamente estable, la pérdida desde el cabello podría suceder debido a la presencia de agentes biológicos como hongos y bacterias, que provoquen daños mecánicos en la matriz del cabello con la consiguiente liberación del cortisol al medio ambiente. Esto hace pensar que si se conserva el cabello sin mayores defectos estructurales las cantidades de cortisol que contiene la fibra capilar son las que secretó el individuo en vida. A pesar de estos potenciales inconvenientes, Webb et al. (2009) concluyen que es posible observar patrones de producción de la hormona aún si existiese una pérdida diagenética de cortisol en cabello arqueológico.

Por otro lado, la forma en que las muestras son obtenidas puede incidir en las cantidades de cortisol encontradas. La región de donde se obtuvieron las muestras actuales –parte posterior de la cabeza– tiene

la tasa de crecimiento de cabello más uniforme en la cabeza (Pragst y Balikova 2006; Stalder y Kirschbaum 2012). El estudio de secciones de cabello comparables en relación con el tamaño y la distancia al cuero cabelludo permite tener un control del tiempo de exposición a la hormona y, por extensión, al estrés sistémico. Sin embargo, como fue descrito en la sección de materiales y métodos, la obtención de cabello de los restos momificados se realizó de acuerdo con su disponibilidad y bajo el criterio de no intervenirlas vigorosamente, ya que se trataban en su mayoría de momias enfardadas. En estas circunstancias, no se pudo realizar un muestreo reproducible de cabello arqueológico como el que se obtuvo con los cabellos actuales.

Un problema adicional en el caso de las muestras arqueológicas fue el tamaño de la muestra, limitado por la disponibilidad de cabello, por la posibilidad de adscripción de las muestras a un determinado período cultural y por su representatividad de los períodos estudiados. La cuantificación de cortisol en el cabello de restos bioarqueológicos ha sido realizada con anterioridad por Webb et al. (2009), quienes determinaron acumulación de esta hormona en restos prehispánicos de Perú. La presente investigación reafirma la posibilidad de cuantificar los niveles de cortisol en muestras antiguas y establece un marcador de estrés complementario a los marcadores tradicionales osteológicos. El uso de niveles de cortisol, que mide el estrés sistémico del individuo, en conjunto con marcadores esqueléticos, permite inferir de qué manera los cambios en estilo de vida diagnosticados por dichos marcadores osteológicos afectaron al individuo desde el punto de vista del estrés asociado a lidiar con el ambiente biocultural en el que este se encontraba insertado. En el caso de San Pedro de Atacama, nuestros resultados sugieren que, a pesar del ambiente extremo donde vivían las personas, ellas no fueron afectadas dramáticamente en su calidad de vida en lo que se refiere a estrés sistémico.

*Agradecimientos:* Esta investigación fue financiada por el programa CONICYT-PIA, proyecto Anillo en Ciencia y Tecnología ACT N°096. Agradecemos a Diego Salazar su ayuda en la contextualización de las muestras y a Carolina Mendoza su ayuda en el laboratorio, así como a los revisores anónimos por sus constructivas sugerencias que permitieron mejorar este trabajo.

## Referencias Citadas

- Agüero, C. y M. Uribe 2011. Las sociedades formativas de San Pedro de Atacama: Asentamiento, cronología y proceso. *Estudios Atacameños* 42:53-78.
- Armélagos, G.J. y A.H. Goodman 1991. The concept of stress and its relevance to studies of adaptation in prehistoric populations. *Collegium Antropologicum* 15:45-58.
- Berenguer, J. y P. Dauelsberg 1989. El norte grande en la órbita de Tiwanaku. En *Culturas de Chile. Prehistoria*, editado por J. Hidalgo, V. Schiappacasse, H. Niemeyer, C. Aldunate e I. Solimano, pp. 129-180. Editorial Andrés Bello, Santiago.
- Cirimele, V., P. Kintz, V. Dumestre y J.P. Goullé 2000. Identification of ten corticosteroids in human hair by liquid chromatography-ionspray mass spectrometry. *Forensic Science International* 107:381-388.
- Cohen, J. 1988. *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences* (2nd ed.). Lawrence Erlbaum, Hillsdale.
- Costa, M.A., W.A. Neves, A.M. De Barros y R. Bartolomucci 1998. Trauma y estrés en poblaciones prehistóricas de San Pedro de Atacama, Norte de Chile. *Chungara* 30:65-74.
- Costa, M.A., W.A. Neves y M. Hubbe 2004. Influencia de Tiwanaku en la calidad de vida biológica de la población prehistórica de San Pedro de Atacama. *Estudios Atacameños* 27:103-116.
- Da-Gloria, P.T., W.A. Neves, M.A. Costa y R. Bartolomucci 2011. Nonspecific infectious diseases in prehistoric San Pedro de Atacama, norte de Chile. *Chungara Revista de Antropología Chilena* 43:135-146.
- Dettenborn, L., A. Tietze, F. Bruckner y C. Kirschbaum 2010. Higher cortisol content in hair among long-term unemployed individuals compared to controls. *Psychoneuroendocrinology* 35:1404-1409.
- Goodman, A.H., R. Brooke Thomas, A.C. Swedlund y G.J. Armélagos 1988. Biocultural perspectives on stress in prehistoric, historical, and contemporary population research. *Yearbook of Physical Anthropology* 31:169-202.
- Goodman, A.H. y D.L. Martin 2002. Reconstructing health profiles from skeletal remains. En *The Backbone of History: Health and Nutrition in the Western Hemisphere*, editado por R.H. Steckel y J.C. Rose, pp. 11-60. Cambridge University Press, Cambridge.
- Goodman, A.H., D.L. Martin, G.J. Armélagos y G. Clark 1984. Stress indicators in bone and teeth. En *Paleopathology at the Origin of Agriculture*, editado por M.N. Cohen y G.J. Armélagos, pp. 13-49. Academic Press, Orlando.
- Gow, R., S. Thomson, M. Rieder, S. Van Uum y G. Koren 2010. An assessment of cortisol analysis in hair and its clinical applications. *Forensic Science International* 196:32-37.
- Guyton, A.C. y J.E. Hall 2006. *Adrenocortical hormones*. En *Textbook of Medical Physiology* (11th edition), pp. 944-960. Elsevier, Philadelphia.
- Hair, J.F., W.C. Black, B.J. Babin 2010. *Multivariate Data Analysis*. 7 edición, Pearson Prentice Hall Publishing, Upper Saddle River, New Jersey.
- Hubbe, M., C. Torres-Rouff, W.A. Neves, L.M. King, P. Da-Gloria y M.A. Costa 2012. Dental health in Northern Chile's Atacama oases: Evaluating the Middle Horizon (AD 500-1000) impact on local diet. *American Journal of Physical Anthropology* 148:62-72.
- Hummert, J.R. y D.P. Van Gerven 1985. Observations on the formation and persistence of radiopaque transverse lines. *American Journal of Physical Anthropology* 66:297-306.
- Kalra, S., A. Einarson, T. Karaskov, S. Van Uum y G. Koren 2007. The relationship between stress and hair cortisol in healthy pregnant women. *Clinical & Investigative Medicine* 30:103-107.
- Karlén, J., J. Ludvigsson, A. Frostell, E. Theodorsson y T. Faresjö 2011. Cortisol in hair measured in young adults—a biomarker of major life stressors? *BMC Clinical Pathology* 11:12.
- Kirschbaum, C., A. Tietze, N. Skoluda y L. Dettenborn 2009. Hair as a retrospective calendar of cortisol production—increased cortisol incorporation into hair in the third trimester of pregnancy. *Psychoneuroendocrinology* 34:32-37.
- Larsen, C.S. 1997. Stress and deprivation during the years of growth and development and adulthood. En *Bioarchaeology: Interpreting Behavior from the Human Skeleton*, editado por C.S. Larsen, pp. 6-63. Cambridge University Press, Cambridge.
- Larsen, C.S. 2002. Bioarchaeology: The lives and lifestyles of past people. *Journal of Archaeological Research* 10:119-166.
- Lessa, A. y S. Mendonça de Souza 2004. Violence in the Atacama Desert during the Tiwanaku period: social tension? *International Journal of Osteoarchaeology* 14:374-388.
- Luo, H.R., X. Hu, X. Liu, X.H. Ma, W.J. Guo, C.J. Qiu, Y.C. Wang, Q. Wang, X.W. Zhang, W. Zhang, G. Hannum, K. Zhang, X.H. Liu y T. Li 2012. Hair cortisol level as a biomarker for altered hypothalamic-pituitary-adrenal activity in female adolescents with posttraumatic stress disorder after the 2008 Wenchuan earthquake. *Biological Psychiatry* 72:65-69.
- Manenschijn, L., R.G. van Kruysbergen, F.H. de Jong, J.W. Koper y E.F. van Rossum 2011. Shift work at young age is associated with elevated long-term cortisol levels and body mass index. *Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism* 96:1862-1865.
- Manenschijn, L., L. Schaap, N.M. van Schoor, S. van der Pas, G.M.E.E. Peeters, P. Lips, J.W. Koper y E.F.C. van Rossum 2013. High long-term cortisol levels, measured in scalp hair, are associated with a history of cardiovascular disease. *Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism* 98:2078-2083.
- Mansilla, J., P. Bosch, M. Menéndez, C. Pijoan, C. Flores, M. López, E. Lima y I. Leboeiro 2011. Archaeological and contemporary human hair composition and morphology. *Chungara Revista de Antropología Chilena* 43:293-302.
- Neves, W.A. y M.A. Costa 1998. Adult stature and standard of living in prehistoric Atacama Desert, Northern Chile. *Current Anthropology* 39:278-281.
- Neves, W.A., A.M. Barros y M.A. Costa 1999. Incidence and distribution of postcranial fractures in the prehistoric population of San Pedro de Atacama, Northern Chile. *American Journal of Physical Anthropology* 109:253-258.

- Núñez A., L. 2007. *Vida y Cultura en el Oasis de San Pedro de Atacama*. Editorial Universitaria, Santiago.
- Papageorgopoulou, C., S.K. Suter, F.J. Rühli y F. Siegmund 2011. Harris lines revisited: prevalence, comorbidities, and possible etiologies. *American Journal of Human Biology* 23:381-391.
- Pereg, D., R. Gow, M. Mosseri, M. Lishner, M. Rieder, S. Van Uum y G. Koren 2011. Hair cortisol and the risk for acute myocardial infarction in adult men. *Stress* 14:73-81.
- Pragst, F. y M. A. Balikova 2006. State of the art in hair analysis for detection of drug and alcohol abuse. *Clinica Chimica Acta* 370:17-49.
- Raul, J., V. Cirimele y P. Kintz 2004. Detection of physiological concentrations of cortisol and cortisone in human hair. *Clinical Biochemistry* 37:1105-1111.
- Russell, E., G. Koren, M. Rieder y S. Van Uum 2012. Hair cortisol as a biological marker of chronic stress: current status, future directions and unanswered questions. *Psychoneuroendocrinology* 37:589-601.
- Sapolsky, R.M., M. Romero y A.V. Munck 2000. How do glucocorticoids influence stress responses? Integrating permissive, suppressive, stimulatory and preparative actions. *Endocrine Reviews* 21:55-89.
- Sauvé, B., G. Koren, G. Walsh, S. Tokmakejian y S.H. Van Uum 2007. Measurement of cortisol in human hair as a biomarker of systemic exposure. *Clinical & Investigative Medicine* 30:183-191.
- Schiappacasse, V., V. Castro y H. Niemeyer 1989. Los desarrollos regionales en el Norte Grande. En *Culturas de Chile. Prehistoria*, editado por J. Hidalgo, V. Schiappacasse, H. Niemeyer, C. Aldunate e I. Solimano, pp. 181-220. Editorial Andrés Bello, Santiago.
- Sharpley, C.F., J.R. McFarlane y A. Slominski 2012. Stress-linked cortisol concentrations in hair: what we know and what we need to know. *Reviews in Neuroscience* 23:111-121.
- Skoluda, N., L. Dettenborn, T. Stalder y C. Kirschbaum 2012. Elevated hair cortisol concentrations in endurance athletes. *Psychoneuroendocrinology* 37:611-617.
- Stalder, T. y C. Kirschbaum 2012. Analysis of cortisol in hair -state of the art and future directions. *Brain, Behavior and Immunity* 26:1019-1029.
- Stalder, T., S. Steudte, N. Alexander, R. Miller, W. Gao, L. Dettenborn y C. Kirschbaum 2012. Cortisol in hair, body mass index and stress-related measures. *Biological Psychology* 90:218-223.
- Stalder, T., S. Steudte, R. Miller, N. Skoluda, L. Dettenborn y C. Kirschbaum 2013. Intraindividual stability of hair cortisol concentrations. *Psychoneuroendocrinology* 37:602-610.
- Staufenbiel, S.M., B.W. Penninx, A.T. Spijker, B.M. Elzinga y E.F. van Rossum 2013. Hair cortisol, stress exposure, and mental health in humans: A systematic review. *Psychoneuroendocrinology* 38:1220-1235.
- Steudte, S., I.T. Kolassa, T. Stalder, A. Pfeiffer, C. Kirschbaum y T. Elbert 2011. Increased cortisol concentrations in hair of severely traumatized Ugandan individuals with PTSD. *Psychoneuroendocrinology* 36:1193-1200.
- Thomson, S., G. Koren, L. Fraser, M. Rieder, T. Freidman y S. Van Uum 2010. Hair analysis provides a historical record of cortisol levels in Cushing's syndrome. *Experimental and Clinical Endocrinology & Diabetes* 118:133-138.
- Tobin, D.J. (ed.) 2005. *Hair in Toxicology—An Important Biomonitor*. Royal Society of Chemistry/Springer-Verlag, Cambridge.
- Torres-Rouff, C. 2008. The influence of Tiwanaku on life in the Chilean Atacama: Mortuary and bodily perspectives. *American Anthropologist* 110:325-337.
- Torres-Rouff, C. 2011. Hiding inequality beneath prosperity: patterns of cranial injury in Middle Period San Pedro de Atacama, Northern Chile. *American Journal of Physical Anthropology* 146:28-37.
- Torres-Rouff, C. y M.A. Costa 2006. Interpersonal violence in prehistoric San Pedro de Atacama, Chile: behavioral implications of environmental stress. *American Journal of Physical Anthropology* 130:60-70.
- Uribe, M. 2002. Sobre alfarería, cementerios, fases y procesos durante la prehistoria tardía del desierto de Atacama (800-1600 DC). *Estudios Atacameños* 22:7-31.
- Van Uum, S., B. Sauvé, L. Fraser, P. Morley-Forster, T. Paul y G. Koren 2008. Elevated content of cortisol in hair of patients with severe chronic pain: a novel biomarker for stress. *Stress* 11:483-488.
- Webb, E., S. Thomson, A. Nelson, C. White, G. Koren y M. Rieder 2009. Assessing individual systemic stress through cortisol analysis of archaeological hair. *Journal of Archaeological Science* 37:807-812.
- Wilson, A.S., H.I. Dodson, R.C. Janaway, A.M. Pollard y D.J. Tobin 2010. Evaluating histological methods for assessing hair fibre degradation. *Archaeometry* 52:467-481.

