



EXPLORANDO LAS PRÁCTICAS FUMATORIAS EN LAS POBLACIONES ARQUEOLÓGICAS DE LA COSTA DE ANTOFAGASTA (CA. 6000 - 1000 AP): PRIMERA APROXIMACIÓN A LA PRESENCIA DE ALCALOIDES DE TABACO (*NICOTIANA SPP.*) EN MUESTRAS DE CÁLCULO DENTAL

*EXPLORING SMOKING PRACTICES IN THE ARCHAEOLOGICAL POPULATIONS OF THE ANTOFAGASTA COAST (CA. AD 6000 - 1000): A FIRST APPROACH TO THE PRESENCE OF TOBACCO ALKALOIDS (*NICOTIANA SPP.*) IN DENTAL CALCULUS SAMPLES*

Pedro Andrade¹, Vania Arancibia-Concha² y Lucas Romero-Alborno³

La presente investigación se centra en la identificación de alcaloides en cálculo dental en poblaciones cazadoras-recolectoras de la costa desértica de Antofagasta, con el fin de aproximarse a las prácticas fumatorias llevadas a cabo por estos grupos. Para esto, se consideraron muestras que van desde el periodo Arcaico al Intermedio Tardío, que cubre diferentes zonas del área de estudio, abarcando desde la desembocadura del Loa hasta el sur de Taltal. El estudio intenta llevar a cabo análisis sobre una muestra novedosa en el área examinada, ya que los trabajos previos se han realizado únicamente sobre cabello. Además, la técnica aplicada (MALDI-TOF) también es novedosa para la detección de alcaloides en este tipo de muestras. A pesar de esto, los resultados nos hacen plantear la probable presencia del uso de *Nicotiana* en la costa de Antofagasta en muestras del periodo Arcaico y Formativo. A la luz de estos resultados, planteamos la necesidad de llevar a cabo nuevos análisis que permitan confirmar las detecciones realizadas, con el fin de establecer de manera fehaciente los hallazgos realizados, como también el impacto y uso de las prácticas fumatorias en los grupos cazadores-recolectores en la costa de Antofagasta.

Palabras claves: Costa de Antofagasta, cazadores-recolectores, prácticas fumatorias, alcaloides.

*Our research focuses on identifying alkaloids in dental calculus from hunter-gatherer populations along the desert coast of Antofagasta, aiming to understand the smoking practices of these groups. Samples were considered from the Archaic to the Late Intermediate periods, covering various areas of the study region, from the mouth of the Loa River to the south of Taltal. The study seeks to analyze a new type of sample in the study area, as previous research has only focused on hair. Additionally, the applied technique, MALDI-TOF, is innovative for detecting alkaloids in this kind of sample. Nevertheless, the results suggest a likely use of *Nicotiana* along the Antofagasta coast in samples from the Archaic and Formative periods. In light of these results, we propose further analyses to confirm the detections made, in order to establish the findings conclusively, as well as the impact and use of smoking practices among hunter-gatherer groups on the coast of Antofagasta.*

Key words: *Coast of Antofagasta, Hunter-Gatherers, Smoking Practices, Alkaloids.*

La acción de fumar es una de las prácticas culturales cuya percepción ha variado más radicalmente en los últimos años, pasando de ser socialmente normalizada y considerada como signo de estatus, en especial desde el siglo XIX en adelante, a convertirse en una práctica sancionada en la actualidad (Hoek et al. 2022). La razón de esto se debe principalmente

al concepto de tabaquismo, que se considera una patología clínica asociada a la dependencia (Do Carmo et al. 2005:999).

En las poblaciones del pasado, las prácticas fumatorias han tenido significados variados e incluso se puede establecer que sus inicios se situarían poco después de que la humanidad aprendió a generar y

¹ Departamento de Historia, Universidad de Concepción, Concepción, Chile. pandradem@udec.cl, ORCID: 0000-0001-9147-9413

² Carrera de Antropología, Universidad de Concepción, Concepción, Chile. varancibia2019@udec.cl, ORCID ID: 0009-0000-8352-291X

³ Centro de Biotecnología, Universidad de Concepción, Concepción, Chile. luromero@udec.cl, ORCID ID: 0009-0008-2314-4345

Recibido: abril 2024. Aceptado: octubre 2024.

<http://dx.doi.org/10.4067/S0717-73562024005001201>. Publicado en línea: 16-noviembre-2024.

controlar el fuego (Gili 2014). Desde un punto de vista de la reconstrucción pretérita de esta práctica, ha estado ligada tradicionalmente a la vida espiritual y por lo tanto a los chamanes (Nastri 2008), quienes, con la ayuda de la inhalación de humo de diversas especies vegetales, eran capaces de curar dolencias, pero también de conectar con un mundo sobrenatural (Chaumeil 2012; Rubio y Rubio 2006; Wilbert 1994).

En los pueblos que habitaron el desértico ambiente de la actual Región de Antofagasta, las prácticas fumatorias no fueron desconocidas, especialmente desde el periodo Formativo (1500 a AC- 1000 DC) en adelante. Lo anterior se puede comprobar a través del amplio registro artefactual asociado a las prácticas fumatorias en la zona, en particular a la presencia de pipas de piedra, cerámica y hueso (Carrasco et al. 2015), las que fueron pensadas para el consumo de especies vegetales locales. A pesar de corresponder a un ambiente desértico hostil, en el área de estudio se reporta la existencia de cuatro especies vegetales susceptibles de haber sido consumidas en momentos arqueológicos, correspondientes a *Nicotiana acuminata* var. *multiflora*, *N. longibracteata*, *N. petunioides*, *N. undulata* y *N. solanifolia*. En términos de distribución geográfica (Figura 1), solo esta última se encuentra en la costa, mientras que las otras cuatro se ubican en sectores cordilleranos (Carrasco et al. 2015).

En el caso específico de la costa de Antofagasta, Carrasco et al. (2015) realizaron estudios en un contexto funerario del periodo Formativo, donde junto a los restos humanos bien conservados, se registró la presencia de pipas, lo que permitió analizar los restos adheridos a los tubos y hornillos y además muestras de cabello, con el propósito de identificar las especies consumidas y su concentración en el cabello. Si bien este estudio no entregó resultados cuantitativos, sí lo hizo desde un punto de vista cualitativo. Con estos antecedentes, en el presente artículo presentamos un estudio regional amplio, donde se incluyen muestras de diferentes periodos arqueológicos de la costa desértica de Antofagasta. Considerando los resultados anteriormente expuestos, recurrimos a muestras y técnicas diferentes. Por un lado, al análisis de cálculo dental, ya que las condiciones de conservación de los restos humanos no siempre permiten la presencia de restos de cabello en el registro arqueológico, siendo esta la primera investigación en la zona que utiliza este tipo de muestras para la identificación de alcaloides.

El cálculo dental corresponde a la mineralización de la placa bacteriana que se acumula en la corona y en

la raíz dental, cuyo contenido es tanto orgánico como inorgánico (15%-25% vs 75%-85%, respectivamente) (Fagernäs y Warinner 2023). Debido a su buena conservación (Fagernäs y Warinner 2023), el estudio aplicado a las prácticas fumatorias ha sido llevado a cabo en diversas investigaciones, las que han permitido la identificación de alcaloides mediante diversas técnicas de la química analítica (véase Eerkens et al. 2018; Sorensen et al. 2021; Zimmerman y Tushingham 2023; Zimmerman et al. 2024), ya que su composición le permite absorber una gran cantidad de moléculas que son inhaladas o ingeridas accidental o intencionalmente (Bartholdy et al. 2024; Sorensen et al. 2021).

En cuanto a la técnica a emplear, optamos por la espectrometría de masas por ionización-desorción asistida por matriz con tiempo de vuelo (MALDI-TOF). Esta técnica permite analizar un amplio espectro de analitos, incluidos los alcaloides, con una gran sensibilidad, alta selectividad y de manera rápida (Sivagnanam et al. 2016). Para llevar a cabo el análisis con este procedimiento, es necesario agregar a la muestra un compuesto orgánico denominado matriz, cuyo propósito es absorber la energía del láser incidente en la matriz/muestra de manera suave, lo que promueve la desorción e ionización de los analitos de interés. Luego, la muestra es irradiada con pulsos láser de alta energía generando iones que son acelerados a través de un campo electrostático para luego ingresar en un tubo de vuelo al vacío y ser separados según su relación masa-carga para, finalmente, llegar al detector de masas. Entonces, la señal de detección se convierte en un espectro de masas, que entrega información sobre la composición y abundancia de iones presentes en la muestra.

Con respecto a la detección de alcaloides, el análisis mediante MALDI-TOF presenta diversas ventajas por sobre otras técnicas, como por ejemplo un menor costo de insumos por muestra y un análisis rápido. A esto se suma el importante hecho de que los análisis pueden volver a realizarse sin que sea necesario repetir todo el proceso de obtención de la muestra, gracias a que los extractos analizados se encuentran depositados en la placa de análisis MALDI.

Si bien el uso de la técnica MALDI-TOF es nueva en el análisis de alcaloides sobre muestras de cálculo dental, sí ha probado ser una herramienta efectiva, permitiendo la detección de alcaloides incluso en matrices y muestras complejas (Benton et al. 2010; Le Pogam et al. 2020; Schinkovitz et al. 2012) y su uso en el ámbito arqueológico es variado (Hendy 2021;

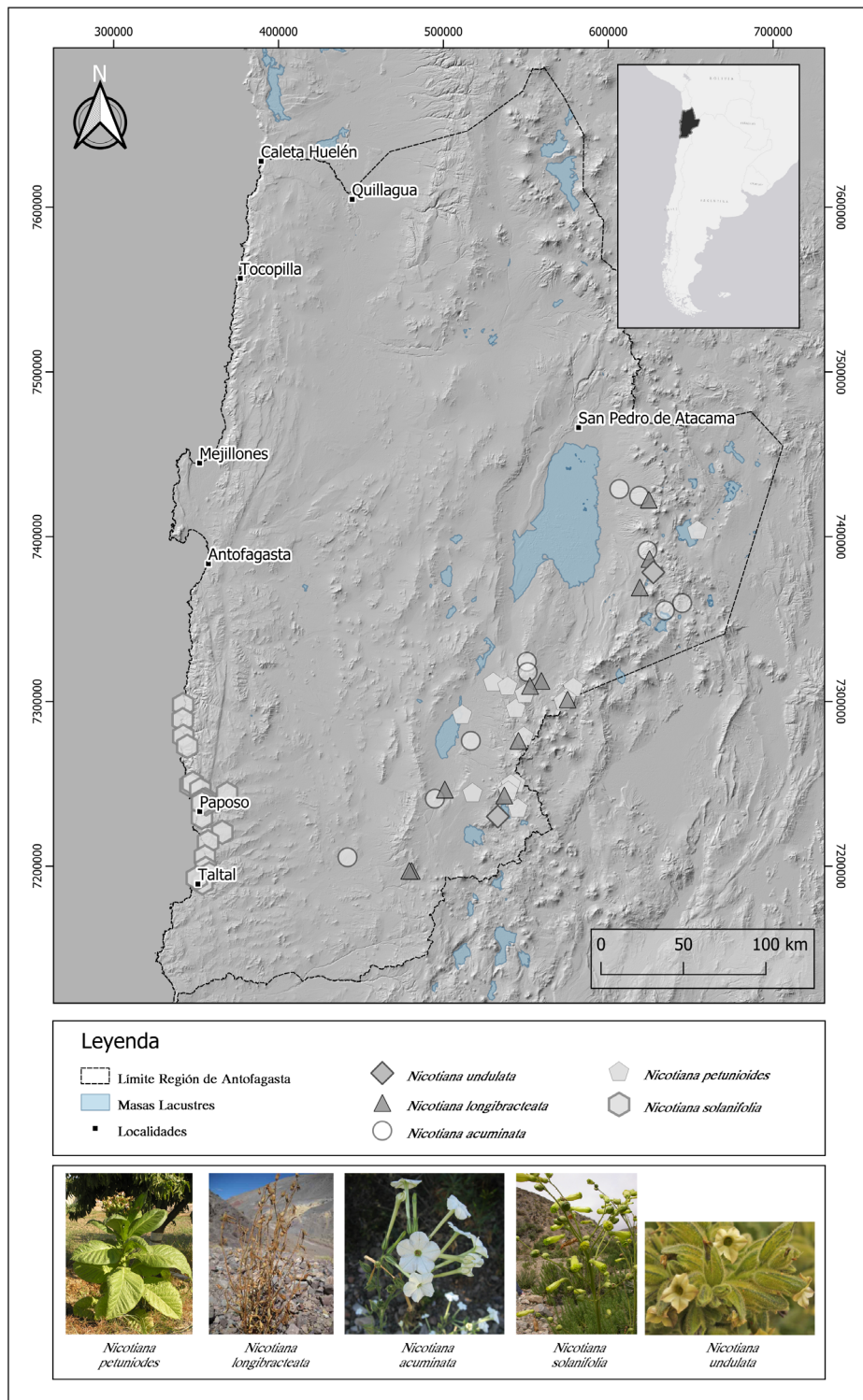


Figura 1. Distribución geográfica de especies de *Nicotiana* registradas en la Región de Antofagasta. Elaboración propia sobre la base de lo reportado por Carrasco et al. (2015).

Geographical distribution of Nicotiana species recorded in the Antofagasta Region. Own elaboration based on the report by Carrasco et al. (2015).

Kramell et al. 2019; Mark et al. 2010) y se considera una técnica analítica confiable (Kučková et al. 2018; Smith 2015; Vegh y Douka 2024).

Secuencia Ocupacional de la Costa Desértica de Antofagasta

La costa desértica de Antofagasta corresponde a uno de los sectores más hostiles para la vida humana a nivel mundial (Salazar et al. 2020). Esto, principalmente debido a la falta de cursos de agua permanente (con la notable excepción del Río Loa), la ausencia de precipitaciones, la baja productividad del suelo y la ocurrencia de eventos catastróficos de origen natural desde hace por lo menos 4000 años (León et al. 2019; Salazar et al. 2022; Vargas et al. 2006). A pesar de estas limitaciones, este sector costero presenta una ocupación humana relativamente permanente desde hace al menos 12000 años AP, basada principalmente en la alta productividad que presenta el mar que baña esta agreste costa, concentrándose los grupos humanos en torno a ocasionales manantiales de agua dulce que emergen a lo largo de la costa (Llagostera 2023). Esta permanencia ha sido inferida a partir de recientes estudios de isótopos estables (Andrade 2019), que muestran una dieta y modo de vida sostenidos por cerca de 7000 años, principalmente con base en el consumo de mariscos, peces y mamíferos marinos que habitan la zona.

A pesar de esta estabilidad, la cronología de este sector presenta diferentes periodos, los que -en términos generales- se pueden dividir en tres grandes momentos. El primero de ellos corresponde al periodo Arcaico (12000 a 3500 AP), en cuyos momentos tempranos se produce el proceso de territorialización del sector, marcado por el arribo de los primeros habitantes (Salazar et al. 2018; San Francisco y Ballester 2018). Luego de un abandono costero de cerca de 1500 años, entre el ca. 10000 y el 8500 AP, se produce una nueva ocupación del sector por parte de cazadores-recolectores-pescadores que se van especializando en la extracción y consumo de recursos marinos, expresado también en su conjunto artefactual y en un temprano desarrollo de la navegación (Salazar et al. 2020). Un acontecimiento importante durante el extenso periodo Arcaico corresponde a un terremoto y tsunami ocurrido cerca del 3800 AP, que cambió algunas de las dinámicas sociales de las poblaciones, especialmente aquellas relacionadas con el patrón de asentamiento, el cual luego de este evento, se manifiesta con el desplazamiento de los

sitios habitacionales a sectores más alejados de la costa (Salazar et al. 2022).

Hacia el 3500 AP se ha definido el comienzo del periodo Formativo, marcado por la integración regional del sector costero a sectores del interior (Ballester y Clarot 2014; Castelleti 2007). De esta forma, es posible observar un tráfico de bienes y productos propios de la costa, los que son movilizados a través de redes de intercambio que unen sectores distanciados varios cientos de kilómetros entre sí, mientras que los productos del interior comienzan a llegar hacia la costa, destacando la presencia de alfarería, metalurgia, cultígenos, elementos relacionados con el complejo inhalatorio y fumatorio, maderas y textiles (Ballester et al. 2016; Carrasco et al. 2015; Castro 2014; Pimentel et al. 2010; Soto et al. 2018). En términos de patrón de asentamiento, se constata que se mantiene la ocupación de sectores alejados de la costa (Salazar et al. 2022). Uno de los aspectos importantes que aparecen en este periodo es un cambio en las prácticas funerarias (Castelleti et al. 2010; Mengozzi et al. 2016), destacando el surgimiento de cementerios de túmulos que se presentan a lo largo de la costa de Antofagasta (Ballester y Clarot 2014; Carrasco et al. 2017; Gallardo 2017).

Más adelante, hacia el 900 DC, se da inicio al periodo Intermedio Tardío, el cual se ve marcado por una intensificación de los contactos e intercambios con el interior, incluso a una mayor escala que en el Formativo, lo que se ha interpretado como la integración de la costa a un sistema multiétnico regional (Castro 2014; Fuenzalida y Gallardo 2013; Moragas 1982). Entre los elementos distintivos de este periodo se encuentran la producción costera de cerámica local (Varela 2009), la metalurgia (Figuroa et al. 2015) y la masiva aparición de pinturas rupestres en la zona, conocidas como estilo El Médano (Ballester 2014-2015; Ballester 2018; Núñez y Contreras 2004), que no solo se manifiesta en la costa, sino en sectores intermedios del territorio (Monroy et al. 2016). Son las poblaciones de este periodo las que entran en contacto con los incas, quienes arriban al territorio durante el periodo Tardío, aunque de manera diferenciada. Así, se ha podido observar que la presencia incaica se da de manera más fuerte en el sector norte de la costa de Antofagasta, donde habría existido un interés por acceder a los recursos mineros (Blanco et al. 2017). Sea como fuere, la presencia incaica no fue permanente en la zona, manteniéndose localizada en sectores de interés específicos (Castro et al. 2016).

Estudios Bioarqueológicos sobre las Prácticas Fumatorias en Poblaciones Prehispánicas de Antofagasta

Tal como se mencionó, las prácticas fumatorias en las poblaciones prehispánicas de Antofagasta tienen un correlato artefactual desde el periodo Formativo, con la aparición de diferentes tipos de pipas. Aun cuando el número de pipas es abundante, no se puede decir lo mismo de la cantidad de estudios químicos realizados sobre restos humanos para dar cuenta del consumo de nicotina, ya que, en la actualidad, solo se cuentan dos casos de estudio. El primero de ellos fue realizado por Echeverría y Niemeyer (2013), quienes mediante la técnica de Cromatografía de Gases acoplada a Espectrometría de Masas (GC/MS) analizaron muestras de cabello de momias prehispánicas provenientes del sector de San Pedro de Atacama, buscando consumo de nicotina y triptaminas. Estas últimas no fueron detectadas en ninguna de las muestras. Se pudo encontrar nicotina en 35 muestras, de las cuales 21 no tenían un periodo asignado, estando distribuidas las restantes desde el periodo Formativo al Intermedio Tardío. Los autores concluyen que el consumo de nicotina fue realizado por miembros de la sociedad en general, independientemente de su estatus social y económico, considerando el alto porcentaje de individuos en quienes había presencia de alcaloides de nicotina o sus derivados.

Continuando en el interior, Niemeyer et al. (2018) realizan un estudio sobre el cabello de un perinato del periodo Formativo de San Pedro de Atacama para la detección de alcaloides de nicotina nuevamente mediante la técnica de GC/MS. El resultado indicó la presencia de una cantidad excesiva de nicotina (9,7 ng/mg de cabello) y cotinina (4,3 ng/mg de cabello) en la muestra analizada, la que se asimila al consumo de más de 70 cigarrillos diarios. A partir de esto, los autores concluyen que este consumo debió haber sido traspasado mediante la placenta y que pudo haber ocasionado el aborto del perinato.

Finalmente, la única investigación llevada a cabo hasta ahora en la zona costera corresponde a aquella realizada por Carrasco et al. (2015) en materiales del sitio El Vertedero, correspondiente al periodo Formativo. Acá se pudo recuperar cabello de un individuo al que acompañan pipas como ofrendas funerarias. En el caso de estas últimas, se realizó un raspado de tubos y hornillos, registrándose la presencia de restos vegetales de *Nicotiana* spp. en ellos. Además, estos restos pudieron analizarse

mediante GC/MS confirmándose la presencia de alcaloides de nicotina en dos de las cuatro pipas estudiadas. La muestra de pelo también fue analizada mediante GC/MS y mostró la presencia de nicotina, información basada en el tiempo de retención y en la intensidad de los iones analizados. Otro tipo de alcaloides relacionados con las prácticas fumatorias, como anabasina o cotinina, no fueron detectados en este análisis. Los autores concluyen que los resultados obtenidos tanto en las pipas como en el cabello son indicadores directos del consumo de nicotina por parte de las poblaciones costeras, lo que, sumado a las evidencias del interior, daría cuenta de una práctica recurrente para las poblaciones prehispánicas de este sector del Desierto de Atacama.

Material y Método

Material

Se analizaron un total de 24 muestras pertenecientes a diferentes sectores de la costa de Antofagasta (Figura 2). De estas, 14 se encuentran depositadas en dependencias de la Universidad de Concepción (UdeC) y 10 en la Universidad de Antofagasta (UA). Sobre las primeras, se puede decir que fueron recuperadas en el marco de los proyectos FONDECYT 1151203, 1100951, 1080666 y 111019, mientras que aquellas de la Universidad de Antofagasta, fueron obtenidas durante la ejecución del proyecto VRID-2022000659INT.

Tal como puede verse en la Tabla 1, los individuos seleccionados para este estudio son adultos y pueden ser situados en el periodo Arcaico, Formativo e Intermedio Tardío, mientras que solo dos no poseen una cronología establecida. Como criterio de inclusión, se consideró que los individuos tuviesen una buena conservación de piezas dentales, de las cuales se priorizó la extracción de cálculo de las piezas anteriores (caninos, incisivos y premolares), tanto superiores como inferiores.

Método

La detección estuvo enfocada en los alcaloides hallados mayoritariamente para las diferentes especies de *Nicotiana* que se encuentran en el área de estudio. Estos corresponden a nicotina, nornicotina y abasina (Bush y Crowe 1992; Sisson y Severson 1990), además de considerarse la cotinina. Los dos últimos fueron incluidos en este estudio, ya que su presencia se ha

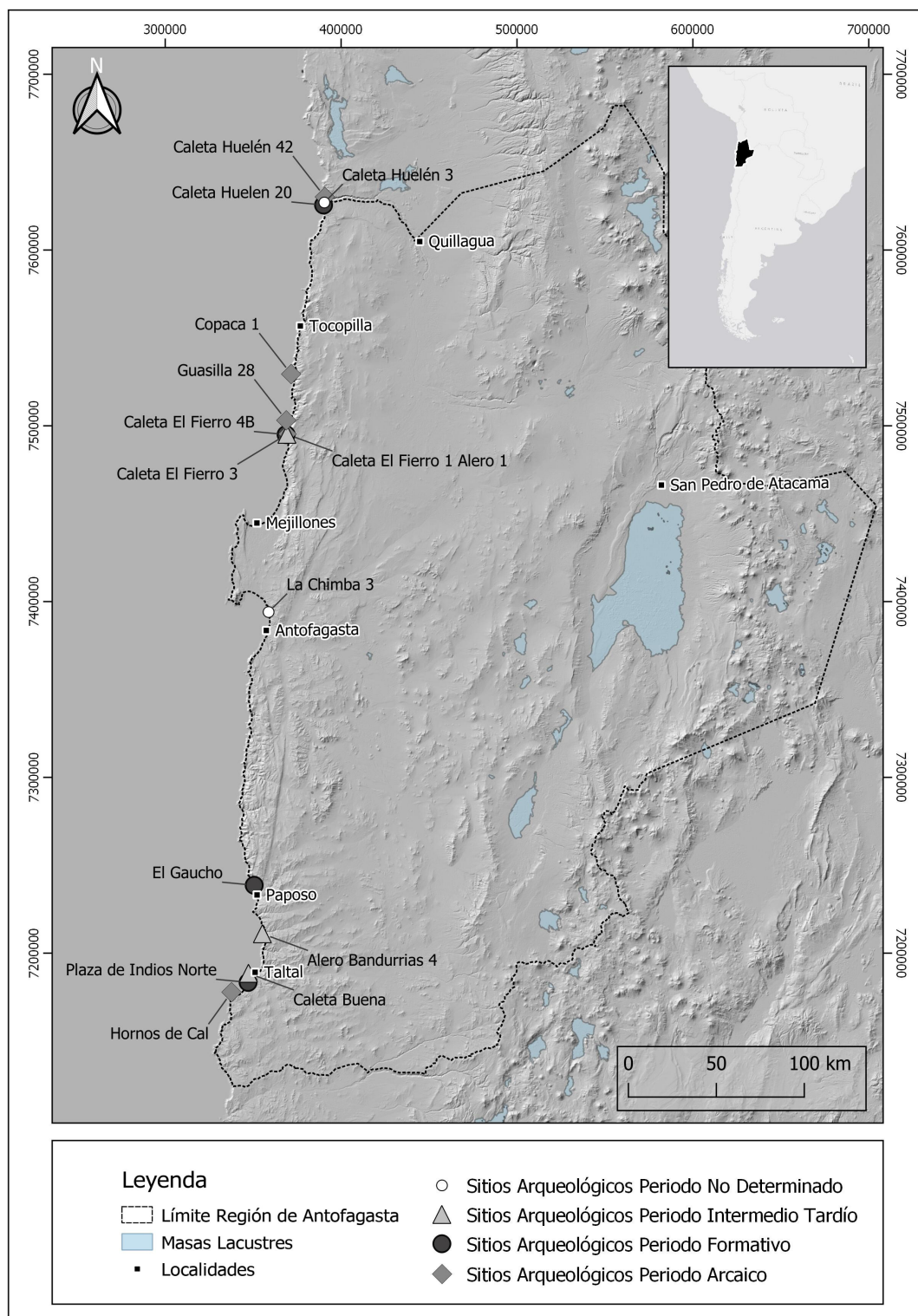


Figura 2. Ubicación de los sitios arqueológicos de donde se obtuvieron las muestras de cálculo dental analizadas en este estudio. Elaboración propia.

Location of the archaeological sites where dental calculus samples analyzed in this study were obtained. Own elaboration.

Tabla 1. Información contextual de las muestras analizadas en el presente estudio. Las fechas fueron calibradas con la curva MARINE20, considerando el efecto reservorio planteado por Ortlieb et al. (2011; 226±98), incluyendo aquellas de origen humano, siguiendo la sugerencia de Andrade et al. (2015). Las únicas fechas calibradas con la curva SCHAL20 fueron las de Caleta Huelén 42, que provienen de maderas.

Contextual information for the samples analyzed in this study. The dates were calibrated using the MARINE20 curve, considering the reservoir effect proposed by Ortlieb et al. (2011; 226±98), including those of human origin, following the suggestion of Andrade et al. (2015). The only dates calibrated with the SCHAL20 curve were from Caleta Huelén 42, which come from wood.

Sitio	Periodo	Muestras analizadas	Fecha(s) (Código Laboratorio)	Fecha calibrada (AP)	Referencia	Depósito actual
Hornos de Cal		1	6180 ± 25 (UGAMS 30567)	6399 (6189) 5956	Andrade y Araneda (2020)	UdeC
Caleta El Fierro 3		3	5810 ± 25 (UGAMS 38955)	6010 (5781) 5560	Andrade (2019)	UdeC
Copaca 1	Arcaico	2	5220 ± 25 (UGAMS 15624)	5364 (5131) 4859	Castro et al. (2015)	UdeC
			5200 ± 25 (UGAMS 15623)	5352 (5104) 4842		
Caleta Huelén 42		7	4780 ± 100 (GaK-3546)	5721 (5468) 5281	Cocilovo et al. (2005)	UA
			3780 ± 90 (GaK-3545)	4408 (4111) 3879		
Guasilla 28		1	4420 ± 20 (UGAMS 38964)	4373 (4093) 3848	Andrade (2019)	UdeC
El Gaucho		1	2814 ± 36 (KIA51516)	2348 (2101) 1848	Mengozi et al. (2018)	UdeC
Plaza de Indios Norte	Formativo	1	2670 ± 70 (Beta-169218)	2233 (1921) 1638	Castelleti (2007)	UdeC
Caleta El Fierro 4b		2	2300 ± 20 (UGAMS 38956)	1705 (1477) 1284	Andrade (2019)	UdeC
Caleta Huelén 20		1	1735 ± 100 (HV-557)	1198 (903) 645	Núñez (1971)	UA
Alero Bandurrias 4		1	1670 ± 23 (S-EVA 33805)	1047 (832) 651	Andrade (2019)	UdeC
Caleta Buena	Intermedio Tardío	1	1570 ± 25 (UGAMS 15973)	930 (734) 549	Andrade et al. (2014)	UdeC
Caleta El Fierro 1 Alero 1		1	1360 ± 25 (UGAMS 15622)	740 (560) 389	Andrade y Araneda (2020)	UdeC
Caleta Huelén 3	Indeterminado	1	Sin información		Núñez (1971)	UA
La Chimba 3		1	Sin información		Arriagada et al. (2013)	UA

establecido como asociada a prácticas fumatorias en estudios arqueológicos (Rafferty 2002, 2006; Tushingham et al. 2013; Tushingham y Eerkens, 2016; Zimmerman y Tushingham 2023).

Los reactivos, los estándares de anabasina (pureza > 97%), (-) - cotinina, (-) - nicotina (pureza ≥ 99%, grado GC), (±) - nornicotina (pureza ≥ 98%, grado TLC, líquido) junto a la matriz de ácido

2,5-dihidroxibenzoico (DHB) fueron adquiridos desde Sigma–Aldrich (Steinheim, Germany). Las soluciones stock de los cuatro alcaloides fueron preparadas en metanol y almacenadas a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta su uso. Los solventes agua, acetonitrilo, cloroformo y metanol (hipergrado LiChropur™ para LC-MS) fueron adquiridos desde Merck (Darmstadt, Alemania). La secuencia de análisis se puede observar en la Figura 3.

Extracción de cálculo de las muestras

La extracción de cálculo dental se realizó de forma manual utilizando instrumental odontológico metálico, el que fue lavado con agua destilada después de cada extracción, con el fin de evitar contaminación cruzada. Posteriormente, las muestras fueron almacenadas en tubos de microcentrífuga de 2,0 ml, las que fueron rotuladas con códigos individuales.

Una vez extraídas, las muestras fueron trasladadas al Departamento de Análisis Instrumental de la Facultad de Farmacia, Universidad de Concepción, donde fueron preparadas para su análisis. A cada contenedor con muestra se agregó un rodamiento de acero para que estas fuesen trituradas homogéneamente en un molino-mezclador Retsch, para luego ser pesados en una balanza analítica. Se tomaron ~ 3 mg de cada muestra, estas fueron transferidas a tubos eppendorf en donde fueron extraídas según el método descrito por Eerkens et al. (2018), con un volumen de 500 μL de una solución de acetonitrilo: 2- propanol: agua

(APW) en proporciones 3:2:2 respectivamente, las que luego se llevaron a un baño ultrasónico de 10 minutos a temperatura ambiente. El sobrenadante (extracto) de APW fue llevado a tubos eppendorf de 1,5 mL para luego ser liofilizado durante tres días. Concluido el tiempo, las muestras liofilizadas fueron resuspendidas en 100 μL de una solución de agua al 0,1% de ácido fórmico con acetonitrilo en proporciones 1:1, finalmente las muestras se centrifugaron a 10.000 g por 10 minutos a $4\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Análisis mediante espectrometría de masas MALDI-TOF

Los análisis de espectrometría de masas MALDI-TOF se realizaron en un sistema autoflex® maX MALDI-TOF/TOF (Bruker Daltonics, Leipzig, Alemania) equipado con un láser de 355 nm que funciona en modo reflector. Todos los espectros se adquirieron sumando 3.500 disparos de rayos láser para el modo ion reflector, 1.000 disparos láser para la masa precursora y 4.000 disparos láser para los fragmentos en modo elevación (LIFT). La potencia del láser se ajustó entre el 38% de su intensidad máxima utilizando un láser smartbeam de 1.000 Hz. Los espectros de MS se adquirieron en el modo de ion positivo reflector dentro de un rango de masas de 60 a 1.000 Da. El voltaje de la fuente de iones 1 fue de 19 kV y el voltaje de la fuente de iones 2 se mantuvo en 16,65 kV. El voltaje del lente fue de

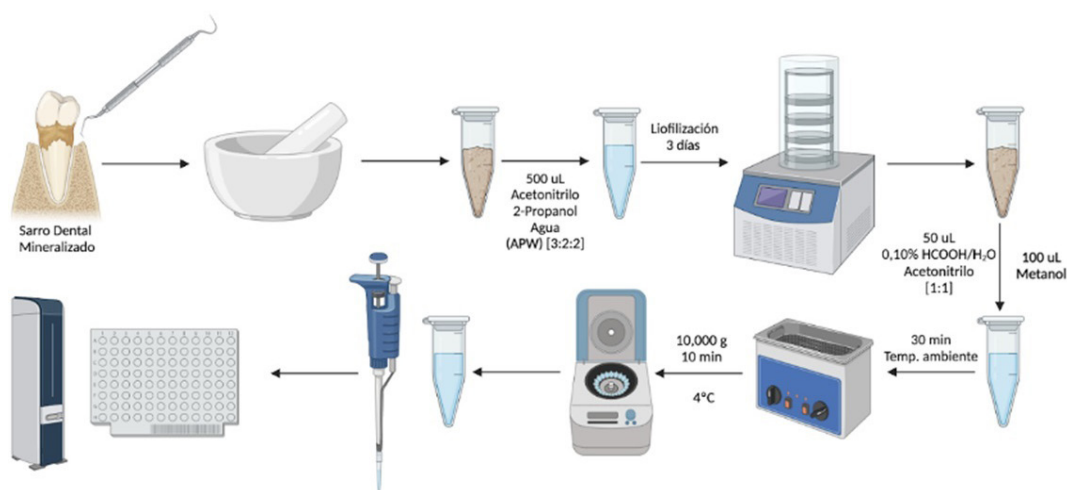


Figura 3. Procesamiento de muestras para técnica analítica de MALDI-TOF. Elaboración propia.

Sample processing for the MALDI-TOF analytical technique. Own elaboration.

7,8 kV y el tiempo de extracción de iones de pulso fue de 110 ns. Los espectros de MS en tándem (MS/MS) se adquirieron en el modo LIFT de iones positivos dentro de un rango de masas de 60 a 1.000 Da. El voltaje de la fuente de iones 1 fue de 6,0 kV y el voltaje de la fuente de iones 2 se mantuvo en 5,3 kV. El voltaje de la lente fue de 3 kV y el tiempo de extracción de iones de pulso fue de 120 ns.

Resultados por Periodos

Inicialmente se realizó el análisis de espectrometría de masas MALDI-TOF de cuatro estándares de alcaloides mayoritarios presentes en la planta *Nicotiana solanifolia*: anabasina (162,1156 g/mol), cotinina (176,0949 g/mol), nicotina (162,1156 g/mol) y nornicotina (148,1000 g/mol).

Para el periodo Arcaico, se obtuvo que solo la muestra correspondiente al individuo recuperado del sitio Hornos de Cal presenta un espectro coincidente de manera exacta con la relación masa/carga con el ion monoisotópico de la nicotina (163,111) (Figura 4). En las muestras restantes de este periodo no se presentan otras lecturas positivas.

En el caso de las muestras analizadas correspondientes al periodo Formativo, se pudo establecer una coincidencia exacta en relación masa/carga con el ion monoisotópico de anabasina (163,115)

y la nicotina (163,111), para los individuos de Caleta El Fierro 4B y El Gaucho, respectivamente (Figuras 5 y 6). La muestra de Plaza de Indios Norte y la de Caleta Huelén 20 no entregaron resultados positivos.

Finalmente, para el periodo Intermedio Tardío, no se registraron muestras positivas que detectaran la presencia de alcaloides, mientras que para aquellas muestras cuya cronología es indeterminada, se volvió a contar con una coincidencia exacta en relación masa/carga con el ion monoisotópico de la nicotina (163,111), en la muestra proveniente de Caleta Huelén 3 (Figura 7).

De esta forma, de las 24 muestras analizadas inicialmente, se pudo detectar la presencia de alcaloides relacionados con las prácticas fumatorias en solo cuatro de ellas, es decir, un 16,7% de las muestras entregaron espectros con una coincidencia exacta en relación masa/carga con los alcaloides seleccionados para esta investigación.

Discusión y Conclusiones

Considerando lo anterior, podemos decir que la muestra general analizada muestra una ausencia superior al 80% de los alcaloides que se pretendían identificar y que se asocian a la práctica fumatoria. Sin embargo, no es posible descartar por completo la ausencia de alcaloides en algunas muestras debido a

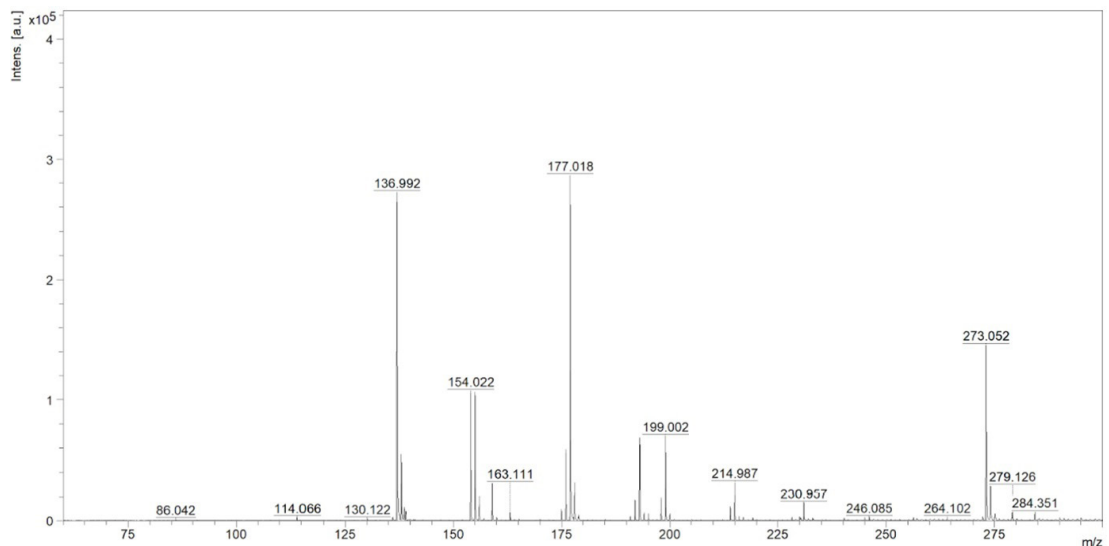


Figura 4. Espectro de masas MALDI correspondiente a cálculo dental de la muestra Hornos de Cal, la cual presenta el ion monoisotópico de la Nicotina (163,111).

MALDI mass spectrum corresponding to dental calculus from the sample Hornos de Cal, which shows the monoisotopic Nicotine ion (163.111).

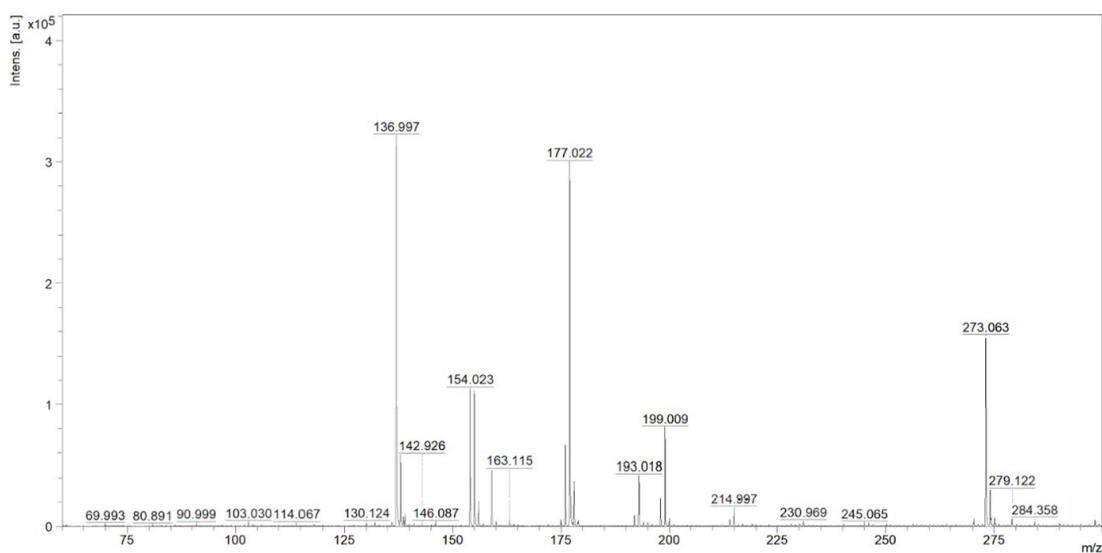


Figura 5. Espectro de masas MALDI correspondiente a cálculo dental de la muestra Caleta El Fierro 4b – Individuo 1, la cual presenta el ion monoisotópico de la Anabasina (163,115).

MALDI mass spectrum corresponding to dental calculus from the Caleta El Fierro 4b sample - Individual 1, which shows the monoisotopic Anabasine ion (163.115).

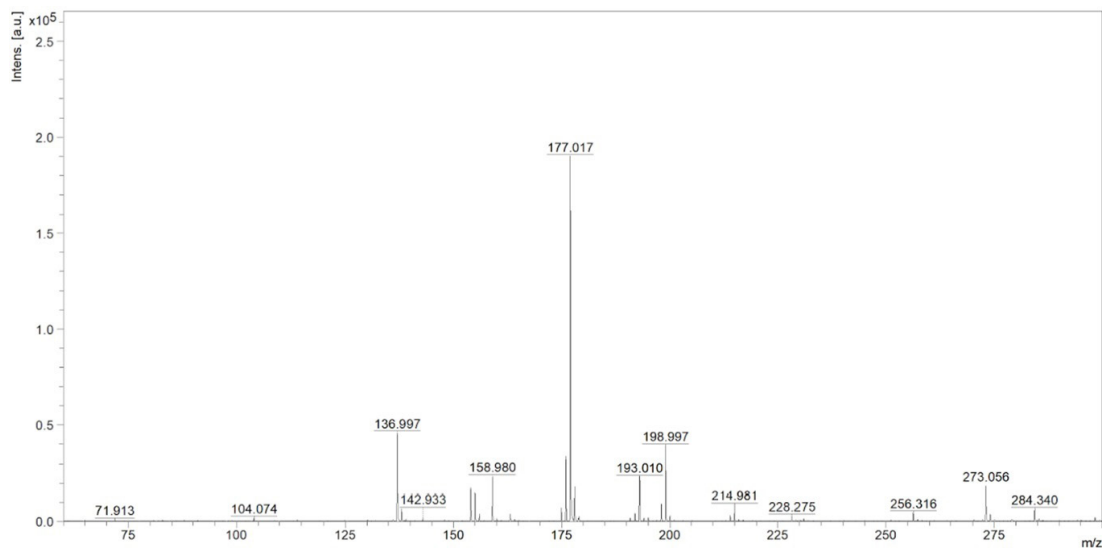


Figura 6. Espectro de masas MALDI correspondiente a cálculo dental de la muestra El Gaucho., el cual presenta el ion monoisotópico de la Nicotina (163,111).

MALDI mass spectrum corresponding to dental calculus from the El Gaucho sample, which shows the monoisotopic Nicotine ion (163.111).

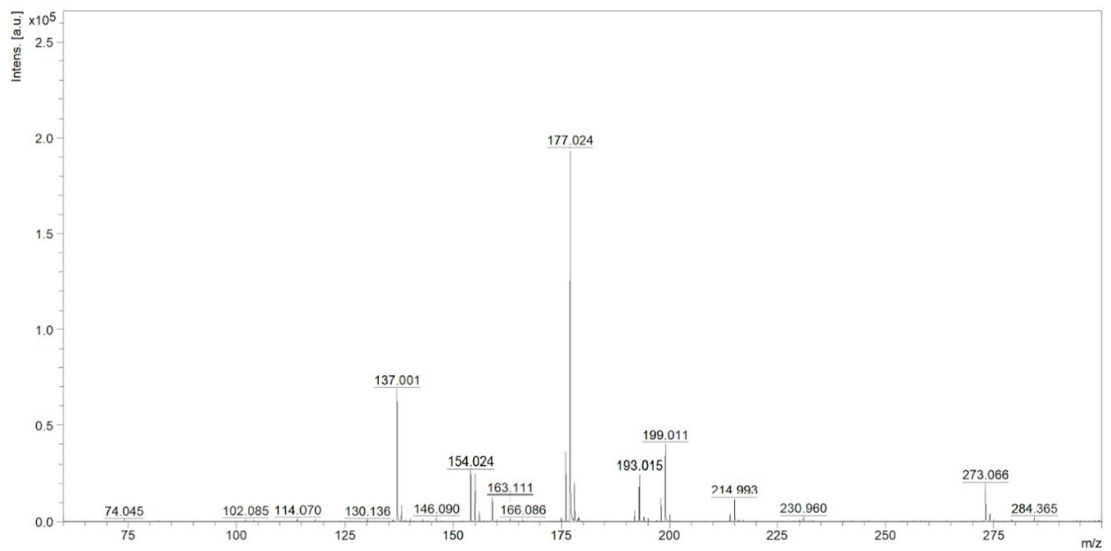


Figura 7. Espectro de masas MALDI correspondiente a cálculo dental de la muestra de Caleta Huelén-3, la cual presenta el ion monoisotópico de la Nicotina (163,111).

MALDI mass spectrum corresponding to dental calculus from the Caleta Huelén-3 sample, which shows the monoisotopic Nicotine ion (163.111).

la gran similitud que presentan las relaciones de masa/carga de fragmentos presentes en estas (fragmentos provenientes de la matriz empleada en la técnica) con iones monoisotópicos de los alcaloides estudiados, específicamente para nicotina y anabasina. En consecuencia, para confirmar la identidad de aquellos analitos genera incertidumbre, evaluaremos un método de extracción de alcaloides que sea más afín a la técnica, es decir, cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas, además de trabajar en un modo altamente sensible y selectivo (como p.ej., Multiple Reaction Monitoring), evitando los falsos positivos y los falsos negativos en el análisis (Stashenko y Martínez 2010).

Asimismo, antes de descartar nuestros resultados, debemos considerar dos situaciones previas que nos permiten considerar la validez inicial de los mismos. Por una parte, se debe recordar que los trabajos de Carrasco et al. (2015) presentaron un resultado similar a aquellos que hemos obtenido, esto es, la presencia de nicotina obtenida a partir de un proceso de extracción con metanol, basándose en el tiempo de retención e intensidad del peak identificado como nicotina. Por otra parte, los estudios realizados por Eerkens et al. (2018), sobre cálculo dental, mostraron una proporción similar de resultados positivos a los que hemos presentado (20%), por lo que creemos que los valores exhibidos por nosotros son un indicador

inicial de posibles prácticas fumatorias, tal como lo deducen los autores mencionados anteriormente en sus propios resultados.

Volviendo a la realidad arqueológica de la muestra analizada, debemos recordar que un poco más de la mitad de las muestras analizadas (n:14) provienen del periodo Arcaico. Tal como se mencionó antes, las prácticas fumatorias en la costa hiperárida de Antofagasta comenzarían recién en el periodo Formativo, lo que se ha asociado principalmente a la aparición de pipas de diferentes materias primas en esta época. En consecuencia, la ausencia mayoritaria de marcadores de alcaloides para el Arcaico reafirmaría esta situación.

Antes de continuar, debemos prestar atención al único caso positivo que se presenta en el periodo Arcaico, el cual corresponde al sitio Hornos de Cal. Se debe recordar que estudios previos (Andrade y Araneda 2020; Andrade et al. 2023) indican que este individuo presentó una patología del desarrollo correspondiente a una sacralización de L5. En términos clínicos, se trata de una patología en la que se produce la fusión de la quinta vértebra lumbar con el sacro, lo cual en algunos pacientes se muestra asintomática, mientras que otros reportan la recurrencia de un dolor lumbar permanente que incluso se torna invalidante. Por otro lado, estudios clínicos han establecido que la nicotina tendría un efecto analgésico de bajo a moderado (Ditre et al. 2016), por lo que no podemos descartar que la

presencia exclusiva de alcaloides de nicotina en el individuo de Hornos de Cal no pueda responder a un suministro de esta con fines paliativos.

Con respecto a los periodos posteriores, podemos observar dos casos que muestran la presencia de alcaloides durante el Formativo y uno de cronología indeterminada, mientras que no existieron resultados positivos para el periodo Intermedio Tardío. De esta forma, es posible plantear dos escenarios: el primero de ellos, es que la práctica fumatoria sería una actividad realizada de manera ocasional por las personas, es decir, no una práctica que involucrara a todos los individuos. Ejemplo de esto es justamente lo que se puede observar en el caso del sitio Caleta El Fierro 4B, donde solo uno de los dos individuos analizados entregó resultados positivos. De manera complementaria, vemos que durante el Intermedio Tardío las muestras no arrojaron resultados positivos. Entonces, podemos suponer que durante el Formativo y el Intermedio Tardío, si bien existieron prácticas fumatorias en la costa desértica de Antofagasta, estas no habrían sido llevadas a cabo de manera similar por todos los miembros de un grupo. Si este fuera el caso, podríamos suponer, además, que la muestra analizada para el Intermedio Tardío correspondía justamente a individuos que efectivamente no fumaban. Así, podríamos interpretar que las prácticas fumatorias pudieron estar reservadas a algunos miembros de las sociedades del Formativo e Intermedio Tardío. De todas formas, esta situación debe considerarse solo como una primera interpretación y ha de contrastarse con nuevos análisis y diferentes técnicas analíticas más adecuadas a los analitos en cuestión,

principalmente considerando su masa molar, tanto de muestras humanas como artefactuales, ya que las circunstancias de consumo pueden haber sufrido modificaciones en los periodos señalados.

Nuevamente, en el caso del individuo muestreado del sitio El Gaucho, debemos mencionar que presenta una severa lesión crónica en el hombro derecho (Mengozzi et al. 2016), correspondiente a una dislocación anteroinferior de esta articulación, por lo que tampoco podemos descartar que la presencia de nicotina pueda estar relacionada con un uso medicinal y/o paliativo, tal como postulamos para el caso de Hornos de Cal.

Un segundo escenario dice relación con las características propias de *Nicotiana solanifolia*, especie vegetal endémica de la costa desértica de Antofagasta y que se ha considerado como la más probablemente utilizada para ser consumida mediante el acto de fumar, considerando su disponibilidad geográfica. Una de las características que diferencia a *N. solanifolia* de otras especies de *Nicotiana* del Norte Grande -más allá de su dispersión geográfica- es el contenido de nicotina que posee. Tal como se puede observar en la Tabla 2, de las cuatro especies de *Nicotiana* que se registran en la actual Región de Antofagasta, *N. solanifolia* es la que presenta la menor concentración de nicotina y una concentración media de anabasina.

Considerando que hasta el 23% de la nicotina y cerca del 26% de la anabasina se elimina del cuerpo humano mediante la orina (Bade et al 2020; Kyerematen y Vessell, 1991), se puede plantear la posibilidad de que la población del Formativo e Intermedio Tardío estén consumiendo *N. solanifolia* en sus prácticas

Tabla 2. Porcentaje de nicotina y anabasina presente en las especies de *Nicotiana* distribuidas en la Región de Antofagasta. (*indica crecimiento en invernadero; **indica crecimiento al aire libre).

Percentage of nicotine present in *Nicotiana* species distributed in the Antofagasta Region. (*indicates greenhouse growth; **indicates outdoor growth).

Especie	Concentración de Nicotina/Anabasina (Sisson y Severson 1990*)	Concentración de Nicotina/Anabasina (Sisson y Severson 1990**)	Concentración de Nicotina/Anabasina (Saitoh et al. 1985)	Concentración de Nicotina/Anabasina (Kaminsky et al. 2020)
<i>Nicotiana solanifolia</i>	0,7% / 45,3%	1,3% / 41,2%	3,2% / 15,4%	2,3 + 0,042% / 43 + 0,74%
<i>Nicotiana petunioides</i>	0,9% / 83,3%	1,4% / 83,1%	Indeterminado	41% + 5,5% / 33 + 24%
<i>Nicotiana acuminata</i>	47,1% / 33,8%	61,9% / -	83,6% / -	84 + 13% / 16 + 13%
<i>Nicotiana undulata</i>	97,4% / 0,2%	91,6% / 1%	95,3% / 1,3%	79% + 1,6% / 9,2 + 6,5%

fumatorias, pero ya que esta deja una impronta tan baja a nivel de alcaloides dentro del cálculo dental, se vuelva prácticamente indetectable. Esto explicaría las diferencias obtenidas entre los estudios llevados a cabo en el interior de la Región de Antofagasta con los que presentamos en esta investigación. Específicamente, en el caso de la anabasina, debemos recordar que este alcaloide si bien se ha utilizado como un biomarcador del consumo de tabaco, su presencia no siempre es detectable, siendo la nicotina el alcaloide de mayor detección asociado a las prácticas fumatorias (Zimmerman y Tushingham 2023).

Entonces, podemos formular una nueva situación. Tal como se indicó anteriormente, es durante el periodo Formativo que se intensifican las conexiones e intercambio con el interior. Por lo tanto, es factible preguntarse si las especies de *Nicotiana* del interior fueron parte de este proceso de intercambio y también si su acceso fue igual para todos los habitantes de la costa. Teniendo en cuenta este factor, creemos que por lo menos durante el Formativo y el Intermedio Tardío es probable que haya existido un consumo basal de *Nicotiana solanifolia*, que, considerando las características propias de esta especie, no haya dejado una impronta marcada en el cálculo dental. Sumado a esto, se puede suponer que las prácticas fumatorias pudieron estar reservadas para momentos especiales dentro del grupo, es decir, no actividades cotidianas por parte de la mayoría de las personas pertenecientes a un grupo, sino más bien particulares, ligadas a la ritualidad o festividades. Por otro lado, es posible suponer que puede haber existido un grupo de individuos con acceso a las especies del interior, las que habrían llegado a la costa de manera ocasional y cuyo consumo estaba reservado a aquellos con un prestigio o condición especial dentro del grupo, como por ejemplo quienes presentaban lesiones dolorosas, tal como se ha planteado. Finalmente, no podemos desconocer que el uso medicinal de las nicotianas que hemos propuesto para el caso del periodo Arcaico, se mantenga en Formativo e Intermedio Tardío producto de cambios sociales y culturales asociados a la valoración y uso de estas especies vegetales. Todo lo indicado más arriba corresponde a escenarios hipotéticos, los que deben ser contrastados con un aumento de muestra de cálculo a analizar, nuevas técnicas analíticas y una mayor consideración del contexto artefactual de cada uno de los periodos, como también analizar de manera directa las especies de *Nicotiana* presentes en la Región de Antofagasta. Creemos que la realización de estas actividades

ayudará a descartar algunas de nuestras hipótesis y dirigir nuevos caminos interpretativos.

Sin embargo, no podemos obviar una situación que también debemos considerar alternativamente para el consumo de *Nicotiana* spp. relacionada con el complejo inhalatorio, el cual se encuentra presente en la costa de Antofagasta tanto en el periodo Formativo como el Intermedio Tardío (para mayor detalle de lugares hallazgos, cantidades y tipos, véase Ballester 2021; Capdeville 2008 [1923], 2009 [1914-1923]; Carrasco et al. 2015; Gili et al. 2009; Spahni 1957). Al respecto, debemos recordar que la aspiración nasal de tabaco mezclado con otras sustancias era una práctica recurrente en la zona andina (Echeverría y Niemeyer 2013; Llamazares y Martínez 2004; Lowell 1990; Torres 1995; Torres y Repke 2006; Wilbert 1987), por lo que no podemos descartar su ingesta mediante esta vía en la costa de Antofagasta.

En el caso específico de la ingesta nasal, la presencia de tabaco seguiría una ruta de absorción por la sangre, ya sea mediante difusión pulmonar, como directamente desde las fosas nasales (Illum 2002, 2004; Rowland y Tozer 2011; Scendoni 2021), para luego llegar a las glándulas salivales, desde donde el fluido secretaría para llegar al cálculo dental. Estudios clínicos mediante diferentes técnicas analíticas han dado cuenta de la presencia de metabolitos de drogas en la saliva de consumidores (Dana et al. 2015; Hans et al. 2014; Scendoni 2021; Scherer et al. 2017), lo que también ocurre en el caso de los fumadores de tabaco pasivos (Demirtas et al. 2014; Feyereabend et al. 1982; Fu et al. 2012).

Con esto en mente, no podemos descartar que algunos de nuestros resultados puedan estar reflejando la práctica del consumo de especies de *Nicotiana* mediante la aspiración nasal, lo que pudo haber variado no solo desde el Formativo al Intermedio Tardío, sino que también a lo largo de la costa de Antofagasta. Para esto, consideramos fundamental poder realizar análisis directos sobre tabletas y bombillas inhalatorias de contextos costeros que nos permitan identificar o descartar en ellas la presencia de alcaloides asociados al consumo de tabaco, replicando la experiencia realizada en contextos de San Pedro de Atacama, que han podido detectar en estos artefactos la presencia de sustancias alucinógenas (Torres et al. 1991).

Recapitulando, la evidencia recuperada en este estudio permite visualizar un probable uso de nicotianas desde el periodo Arcaico en adelante. Este consumo habría sido utilizado probablemente con fines medicinales, rituales y/o recreativos. No

obstante, creemos que la ausencia de alcaloides en los diferentes espectros obtenidos puede estar dando cuenta de un acceso diferenciado a distintas especies de nicotianas que están arribando a la costa, lo que daría cuenta de una complejidad mayor en cuanto a la accesibilidad y disponibilidad de estas especies vegetales en la costa. Sea como fuere, los resultados obtenidos nos invitan a realizar nuevos análisis con técnicas que nos permitan confirmarlos. Dada la ausencia de restos de cabello en los contextos de proveniencia de los individuos, utilizaremos contramuestras de cálculo dental de los individuos incluidos en esta investigación, las cuales serán analizadas mediante la técnica de GC/MS. Además, realizaremos estudios con esta misma técnica sobre muestras de nicotianas nativas de la Región de Antofagasta, lo que ayudará a conocer la concentración de los alcaloides en cada una de ellas y cruzar estos datos con los resultados obtenidos en las muestras humanas. Creemos que esto nos permitirá afinar resultados y ajustar nuestras

hipótesis, como la eventual imperceptibilidad de los alcaloides presentes en *Nicotiana solanifolia*, evaluar la amplitud del consumo de esta especie dentro de las poblaciones estudiadas y la posibilidad de que especies vegetales del interior hubiesen sido incorporadas en las prácticas fumatorias costeras.

Agradecimientos: Esta investigación fue realizada en el marco del proyecto VRID-2022000659INT. Los autores agradecen a Carlos Cortés Aros, Director del Instituto de Investigaciones Antropológicas de la Universidad de Antofagasta, por permitirnos acceder a las colecciones de esta institución, a Consuelo Huerta por su ayuda con la toma de muestras y a Luis Milla por la elaboración de las cartografías. Finalmente, agradecemos a los evaluadores anónimos de este artículo y al equipo editorial de *Revista Chungara*, quienes, gracias a sus pertinentes y acertadas observaciones y comentarios, ayudaron a mejorar la calidad de nuestro artículo.

Referencias Citadas

- Andrade, P. 2019. *La Dieta del Periodo Formativo en la Costa del Desierto de Atacama a través del Estudio de Isótopos Estables*.
- Tesis para optar al grado de Doctor en Antropología, Universidad de Tarapacá-Universidad Católica del Norte, Arica y Antofagasta.
- Andrade, P. y M. Araneda 2020. Causas o azares: reflexiones en torno a presencia de malformaciones congénitas de la columna vertebral en poblaciones arqueológicas de la costa desértica de Antofagasta, norte de Chile. *Revista Argentina de Antropología Biológica* 22(2):5-6.
- Andrade, P., R. Fernandes, K. Codjambassis, J. Urrea, L. Olguín, S. Rebolledo, F. Lira, C. Aravena y M. Berrios 2015. Subsistence continuity linked to consumption of marine protein in the formative period in the Interfluvial coast of northern Chile: re-assessing contacts with agropastoral groups from highlands. *Radiocarbon* 57 (4):679-688.
- Andrade, P., C. Huerta, M. Araneda, D. Salazar, J. Urrea-Navarrete, V. Martínez, M. Escobar y V. Castro 2023. Patologías congénitas y defectos del desarrollo en poblaciones arqueológicas en la costa desértica de Antofagasta: reflexiones sobre su origen a partir de casos de estudio. *Estudios Atacameños. Arqueología y Antropología Surandinas* 69:01-39.
- Andrade, P., D. Salazar, J. Urrea y V. Castro 2014. Modos de vida de los cazadores-recolectores de la costa aricaica del norte grande de Chile: una aproximación bioarqueológica a las poblaciones prehistóricas de Taltal. *Chungara Revista de Antropología Chilena* 46 (3):467-491.
- Arriagada, C., A. Cifuentes, D. Meza y J. Urrea 2013. *Puesta en valor de las colecciones arqueológicas de La Chimba*. Catálogo de Colecciones. Museo Regional de Antofagasta, DIBAM, Antofagasta.
- Bade, R., J. White, B. Tschärke, M. Ghetia, A. Abdelaziz y C. Gerber 2020. Anabasine-based measurement of cigarette consumption using wastewater analysis. *Drug Testing and Analysis* 12 (9):1393-1398.
- Ballester, B. 2014-2015. Nadando entre alegorías tribales o la crónica del descubrimiento de las pinturas de Izcuña. *Taltalia* 7-8:9-17.
- Ballester, B. 2018. Tecnología de arponaje en la costa del desierto de Atacama, norte de Chile. *Estudios Atacameños. Arqueología y Antropología Surandinas* 57:65-95.
- Ballester, B. 2021. Así cargaron a los que aquí vivieron: excavación, embalaje y transporte de cuerpos y objetos precolombinos en la desembocadura del río Loa (1962). En *Cargar y descargar en el Desierto de Atacama*, coordinado por B. Ballester y N. Richard, pp. 93-105. Servicio Nacional del Patrimonio Cultural / IHEAL, Santiago.
- Ballester, B., C. Carrasco y Caminante del Desierto 2016. Nicotianas litorales del desierto de Atacama: historia de registro y consumo de tabaco cimarrón (*Nicotiana solanifolia* var.). *Taltalia* 9:69-87.
- Ballester, B. y A. Clarot 2014. *La Gente de los Túmulos de Tierra. Estudio, Conservación y Difusión de Colecciones Arqueológicas de la Comuna de Mejillones*. Gráfica Marmor, Santiago.
- Bartholdy, B., J. Hasselström, L. Sørensen, M. Casna, M. Hoogland, H. Beemster y A. Henry 2024. Multiproxy analysis exploring patterns of diet and disease in dental calculus and skeletal remains from a 19th century Dutch population. *Peer Community Journal* 4:e46.

- Benton, M., F. Rockwell, L. Sundar y M. Jan 2010. Direct detection of nicotine and cotinine in dust latent fingerprints of smokers by using hydrophobic silica particles and MS. *Surface and Interface Analysis* 42 (5):378-385.
- Blanco, F., I. Correa, C. Flores y G. Pimentel. 2017. La extracción prehispánica de recursos minerales en el internodo Quillagua-Costa, desierto de Atacama. *Estudios Atacameños. Arqueología y Antropología Surandinas* 56:77-102.
- Bush, L. y M. Crowe 1992. Nicotiana alkaloids. En *Toxicants of Plant Origin*, editado por P. Cheeky, pp. 87-107. CRC Press Inc., Boca Raton.
- Capdeville, A. 2008 [1923]. Un Cementerio Chíncha-Atacameño en Punta Grande, Taltal. *Revista Taltalia* 1:23-45.
- Capdeville, A. 2009 [1914-1923]. Augusto Capdeville Rojas, notas arqueológicas. *Revista Taltalia* 2:10-87.
- Carrasco, C., I. Correa, C. Belmar, B. Ballester y F. Gallardo 2017. Cocinando relaciones interculturales: residuos adheridos en vasijas cerámicas de cazadores recolectores marinos del Desierto de Atacama (Período Formativo, Norte de Chile). *Estudios Atacameños. Arqueología y Antropología Surandinas* 55:85-108.
- Carrasco, C., J. Echeverría, B. Ballester y H. Niemeyer 2015. De pipas y sustancias: costumbres fumatorias durante el periodo Formativo en el litoral del desierto de Atacama (norte de Chile). *Latin American Antiquity* 26 (2):143-161.
- Castelleti, J. 2007. *Patrón de Asentamiento y Uso de Recursos a través de la Secuencia Ocupacional Prehispánica en la Costa de Taltal*. Memoria para optar al grado de Magíster en Antropología. Universidad Católica del Norte-Universidad de Tarapacá, Arica y Antofagasta.
- Castelleti, J. O. Reyes, G. Maltrain, I. Martínez, P. Galarce, H. Velásquez y J.P. Ugalde 2010. Ocupaciones en abrigos rocosos en la costa de Taltal: patrón de uso del espacio desde momentos holocénicos tempranos. *Actas del XVII Congreso Nacional de Arqueología Chilena*, pp. 685-695.
- Castro, V. 2014. Pre-Hispanic cultures in the Atacama Desert: a Pacific coast overview. En *The Chinchorro Culture: A Comparative Perspective. The Archaeology of the Earliest Human Mummification*, editado por N. Sanz, B. Arriaza y V. Standen, pp. 11-34. UNESCO, Arica.
- Castro, V., C. Aldunate, V. Varela, L. Olguín, P. Andrade, F. García-Albarido, F. Rubio, P. Castro, A. Maldonado y J. Ruz 2016. Ocupaciones arcaicas y probables evidencias de navegación temprana en la costa arica de Antofagasta, Chile. *Chungara Revista de Antropología Chilena* 48 (4):503-530.
- Chaumeil, J.P. 2012. Una manera de vivir y de actuar en el mundo: estudios de chamanismo en la Amazonía. En *No Hay País más Diverso. Compendio de Antropología Peruana 2*, editado por C. Degregori, P. Sendón y P. Sandoval, pp. 411-432. Instituto de Estudios Peruanos, Lima.
- Cocilovo, J., H. Varela, M. Costa-Junqueira y S. Quevedo 2005. Los pescadores arcaicos de la desembocadura del Río Loa (Norte de Chile): el sitio Caleta Huelén 42. *Chungara Revista de Antropología Chilena* 37 (1):5-19.
- Dana, K., C. Shende, H. Huang y S. Farquharson 2015. Rapid analysis of cocaine in saliva by surface-enhanced Raman spectroscopy. *Journal of Analytical & Bioanalytical Techniques* 6 (6):1-5.
- Demirtas, M., U. Senel, S. Yüksel y M. Yüksel 2014. A comparison of the generation of free radicals in saliva of active and passive smokers. *Turkish Journal of Medical Sciences* 44 (2):208-211.
- Ditre, J., B. Heckman, E. Zale, J. Kosiba y S. Maisto 2016. Acute analgesic effects of nicotine and tobacco in humans: a meta-analysis. *Pain* 157 (7):1373-1381.
- Do Carmo, J.T., A. Andrés-Pueyo y E. Álvarez López 2005. La evolución del concepto de tabaquismo. *Cad. Saúde Pública* 21 (4):999-1005.
- Echeverría, J. y H.M. Niemeyer 2013. Nicotine in the hair of mummies from San Pedro de Atacama (Northern Chile). *Journal of Archaeological Science* 40 (10):3561-3568.
- Eerkens, J., S. Tushingham, K. Brownstein, R. Garibay, K. Perez, E. Murga, P. Kajjankoski, J. Rosenthal y D. Gang 2018. Dental calculus as a source of ancient alkaloids: Detection of nicotine by LC-MS in calculus samples from the Americas. *Journal of Archaeological Science. Reports* 18:509-515.
- Fagnäs, Z. y C. Warinner 2023. Dental calculus. En *Handbook of Archaeological Sciences (2nd Edition), Vol. 1*, editado por M. Pollard, R. Armitage y C. Makarewicz, pp. 575-590. John Wiley & Sons Ltd., New Jersey.
- Feyerabend, C., T. Higenbottam y M. Russell 1982. Nicotine concentrations in urine and saliva of smokers and non-smokers. *British Medical Journal* 284:1002-1004.
- Figueroa, V., D. Salazar, B. Mille y G. Manriquez 2015. Metal use and production among coastal societies of the Atacama Desert. *Archeometry* 57 (4):687-703.
- Fu, M., J. Martínez-Sánchez, A. Agudo, J. Pascual, C. Ariza, A. Mondaca, E. Fernández y DCOT Study Investigators 2012. Nicotine dependence and salivary cotinine concentration in daily smokers. *European Journal of Cancer Prevention* 21 (1):96-102.
- Fuenzalida, N. y F. Gallardo 2013. Exchange and ritual funerary consumption: late marine hunter-gatherers of the Taltal Coast (Atacama Desert, Northern Chile). *Andean Past* 11:263-281.
- Gallardo, F. 2017. Arqueología de los intercambios recíprocos: costa y oasis del río Loa Medio e Inferior, época formativa (500 cal. a.C.-700 d.C.). En *Monumentos Funerarios de la Costa del Desierto de Atacama. Los Cazadores Recolectores Marinos y sus Intercambios (500 a.C. - 700 d.C.)*, editado por F. Gallardo, B. Ballester y N. Fuenzalida, pp. 15-24. Serie Monográfica de la Sociedad Chilena de Arqueología, Santiago.
- Gili, F. 2014. *La Práctica Fumatoria en el Salar de Atacama durante el Periodo Formativo*. Tesis para optar al grado de Magíster en Antropología con mención en Arqueología, Universidad Católica del Norte-Universidad de Tarapacá, Arica y Antofagasta.
- Gili, F., F. Espinoza y A. Villagrán 2009. Diseño de una estrategia analítica para la conservación de información asociada: el caso de dos complejos alucinógenos. *Conserva* 13:41-59.

- Hans, K., M. Müller, T. Petrosyan y M. Sigrist 2014. Infrared detection of cocaine and street cocaine in saliva with a one-step extraction. *Analytical Methods* 6: 666-673.
- Hendy J. 2021. Ancient protein analysis in archaeology. *Sciences Advances* 7 (3):eabb9314.
- Hoek, J., R. Edwards y A. Waa 2022. From social accessory to societal disapproval: smoking, social norms and tobacco endgames. *Tobacco Control* 31 (2):358-364.
- Illum, L. 2002. Nasal drug delivery: new developments and strategies. *Drug Discovery Today* 7:1184e1189.
- Illum, L. 2004. Is nose-to-brain transport of drugs in man a reality? *Journal of Pharmacy and Pharmacology* 56:3e17.
- Kaminski, K., L. Bovet, H. Laparra, G. Lang, D. de Palo, N. Sierro, S. Goepfert y N.V. Ivanov 2020. Alkaloid chemophenetics and transcriptomics of the Nicotiana genus. *Phytochemistry* 177:1-11.
- Kramell A., M. García-Altare, M. Pötsch, R. Kluge, A. Rother, G. Hause, C. Hertweck y R. Csuk 2019. Mapping Natural Dyes in Archeological Textiles by Imaging Mass Spectrometry. *Scientific Reports* 9(1):2331. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-38706-4>
- Kučkova, S., P. Cejnar, J. Santrucek y R. Hynek 2018. Characterization of proteins in cultural heritage using MALDI-TOF and LC-MS/MS mass spectrometric techniques. *Physical Sciences Reviews* 4:20180011.
- Kyerematen, G. y E. Vesell 1991. Metabolism of nicotine. *Drug Metabolism Reviews* 23 (1-2):3-41.
- León, T., G. Vargas, D. Salazar, J. Goff, J.L. Guendon, P. Andrade y G. Álvarez 2019. Geoarchaeological records of large Holocene tsunamis along the hyperarid coastal Atacama Desert in the major northern Chile seismic gap. *Quaternary Science Reviews* 220:335-358.
- Le Pogam, P., P. Richomme, M. Beniddir, T. Duong, G. Bernadat y A. Schinkovitz 2020. A thorough evaluation of matrix-free laser desorption ionization on structurally diverse alkaloids and their direct detection in plant extracts. *Analytical and Bioanalytical Chemistry* 412:7405-7416.
- Llagostera, A. 2023. Sitios Arqueológicos y aguadas en la costa hiperárida del Desierto de Atacama. *Revista CUHSO* 33:7-31.
- Llamazares, A. y C. Martínez. 2004. Main Sacred Plants in South America. En *El Lenguaje de los Dioses: Arte, Chamanismo y Cosmovisión Indígena en Sudamérica*, editado por A. Llamazares y C. Martínez, pp. 259-285. Editorial Biblos, Buenos Aires.
- Lowell, E. 1990. Paletas and tabletas: Comparison of Hohokam Stone Palettes with Snuff Trays of South America. *Kiva* 55 (4):321-355.
- Mark, L., Z. Patonai, A. Vaczy, T. Lorand y A. Marcsik 2010. High-throughput mass spectrometric analysis of 1400-year-old mycolic acids as biomarkers for ancient tuberculosis infection. *Journal of Archaeological Science* 37 (2):302-305.
- Mengozi, F., R. Contreras, P. Andrade, X. Power, C. Flores, D. Salazar, G. Bravo, J. Urrea, R. Fernandes y C. Hamann 2016. Reconstrucción de un contexto funerario disturbado: Artefactos y ecofactos del sitio El Gaucho (2325 cal. AP), costa arica del norte de Chile. *Taltalia* 9:7-25.
- Monroy, I., C. Borie, A. Troncoso, X. Power, S. Parra, P. Galarce y M. Pino 2016. Navegantes del desierto. Un nuevo sitio con arte rupestre estilo El Médano en la Depresión Intermedia de Taltal. *Taltalia* 9:27-47.
- Moragas, C. 1982. Túmulos funerarios en la costa sur de Tocopilla (Cobija) - II Región. *Chungara Revista de Antropología Chilena* 9:152-173.
- Nastri, J. 2008. La figura de las largas cejas de la iconografía santamariana. Chamanismo, sacrificio y cosmovisión calchaquí. *Boletín del Museo Chileno de Arte Precolombino* 13 (1):9-34.
- Niemeyer, H., P. de Souza, C. Camilo y J. Echeverría 2018. Chemical evidence of prehistoric passive tobacco consumption by a human perinate (early Formative Period, South-Central Andes). *Journal of Archaeological Science* 100:130-138.
- Núñez, L. 1971. Secuencia y cambio en los asentamientos humanos de la desembocadura del río Loa en el norte de Chile. *Boletín de la Universidad de Chile* 112:3-25.
- Núñez, P. y R. Contreras 2004. El Arte Rupestre de Taltal, Norte de Chile. En *Actas del V Congreso Chileno de Antropología*, Tomo I, pp. 348-357, Colegio de Antropólogos de Chile. Santiago.
- Ortlieb, L., G. Vargas y J. Saliège 2011. Marine Radiocarbon Reservoir Effect along the Northern Chile–Southern Peru Coast (14–24°S) throughout the Holocene. *Quaternary Research* 75:91-103.
- Pimentel, G., C. Rees, P. de Souza y P. Ayala 2010. Estrategias de Movilidad del período Formativo en la Depresión Intermedia, Desierto de Atacama. *Actas del XVII Congreso Nacional de Arqueología Chilena*, pp. 1353-1364, Colegio de Antropólogos de Chile. Santiago.
- Rafferty, S. 2002. Identification of nicotine by gas chromatography/mass spectroscopy analysis of smoking pipe residue. *Journal of Archaeological Science* 29 (8):897-907.
- Rafferty, S. 2006. Evidence of early tobacco in Northeastern North America? *Journal of Archaeological Science* 33 (4):453-458.
- Rowland, M. y T. Tozer 2011. *Clinical Pharmacokinetics and Pharmacodynamics. Concepts and Applications* (Cuarta Edición). Lippincott Williams & Wilkin, Baltimore.
- Rubio, H. y A. Rubio 2006. Breves comentarios sobre la historia del tabaco y el tabaquismo. *Revista del Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias* 19 (4):297-300.
- Saitoh, F., M. Noma y N. Kawashima 1985. The alkaloid contents of sixty Nicotiana species. *Phytochemistry* 24 (3):477-480.
- Salazar, D., C. Arenas, P. Andrade, L. Olguín, J. Torres, C. Flores, G. Vargas, S. Rebolledo, C. Borie, C. Sandoval, C. Silva, A. Delgado, N. Lira y C. Robles 2018. From the use of space to territorialization during the Early Holocene in Taltal, coastal Atacama Desert, Chile. *Quaternary International* 473:225-241.
- Salazar, D., G. Easton, J., Goff, J.L. Guendon, J. González-Alfaro, P. Andrade, X. Villagrán, M. Fuentes, T. León, M. Abad, T. Izquierdo, X. Power, L. Sitzia, G. Álvarez, A. Villalobos, L. Olguín, S. Yrarrázaval, G. González, C. Flores, C. Borie, V. Castro y J. Campos 2022. Did a 3800-year-old Mw 9.5 earthquake trigger major social disruption in the Atacama Desert? *Science Advances* 8 (14):eabm2996.

- Salazar, D., X. Power, P. Andrade, C. Flores, S. Rebolledo, J. Torres, G. Vargas, I. Monroy, C. Borie, L. Olguín y J. Guendón 2020. Trayectoria histórica y complejidad entre los cazadores-recolectores-pescadores del Holoceno medio en la costa norte de Chile. En *Iguales, pero Diferentes: Trayectorias Históricas Prehispánicas en el Cono Sur*, editado por L. Sanhueza, A. Troncoso y R. Campbell, pp. 49-94. Social-Ediciones, Santiago.
- San Francisco, A. y B. Ballester 2018. Antiguos aleros al norte de Paposo. *Taltalia* 11:7-35.
- Scondoni, R. 2021. Salivary Analysis for Medico-Legal and Forensic Toxicological Purposes. En *Forensic Analysis - Scientific and Medical Techniques and Evidence Under the Microscope*, editado por I. Freckelton, pp. 109-131. IntechOpen, Londres.
- Scherer, J., T. Fiorentina, T. Spousal, R. Limberger y F. Pechansky 2017. Oral fluid testing for cocaine: analytical evaluation of two point-of-collection drug screening devices. *Journal of Analytical Toxicology* 41:392-398.
- Schinkovitz, A., G. Kenfack, D., Seraphin, E. Levillain, M. Dias y P. Richomme 2012. Selective detection of alkaloids in MALDI-TOF: The introduction of a novel matrix molecule. *Analytical and Bioanalytical Chemistry* 403:1697-1705.
- Sisson, V. A., y R. F. Severson 1990. Alkaloid composition of the *Nicotiana* species. *Contributions to Tobacco & Nicotine Research* 14 (6):327-339.
- Sivagnanam K, E. Komatsu, S. Patrick, C. Rampitsch, H. Perreault y T. Gräfenhan 2016. Rapid Screening of Ergot Alkaloids in Sclerotia by MALDI-TOF Mass Spectrometry. *Journal of AOAC International* 99 (4):895-898.
- Smith, R. 2015. *Novel Applications of Mass Spectrometry to Organic Residues in Archaeology*. Doctoral dissertation, Department of Chemistry, University of York, Heslington.
- Sorensen, L., J. Hasselstrom, L. Larsen y D.A. Bindslev 2021. Entrapment of drugs in dental calculus—Detection validation based on test results from post-mortem investigations. *Forensic Science International* 319:110647.
- Soto, C., X. Power y B. Ballester 2018. Circulación de objetos perforados de concha: Aportes para la interpretación de su rol en las relaciones sociales del desierto de Atacama entre los 6000-3500 ap. *Boletín del Museo Chileno de Arte Precolombino* 23:51-69.
- Spahni, J. 1957. Recherches archéologiques à l'embouchure du Rio Loa (Côte du Pacifique Chili). *Journal de la Société des Américanistes* 56 (1):179-251.
- Stashenko, E., y J. Martínez 2010. GC-MS: Más de un analizador de masas, ¿para qué? *Scientia Chromatographica* 2 (4):25-48.
- Torres, C. 1995. Archaeological evidence for the antiquity of psychoactive plant use in the Central Andes. *Annali dei Musei Civici Rovereto* 11:291-326.
- Torres, C. y D. Repke 2006. *Anadenanthera. Visionary Plant of Ancient South America*. The Haworth Herbal Press, Nueva York.
- Torres, C., D. Repke, K. Chan, D. McKenna, A. Llagostera y R. Schultes 1991. Snuff powders from pre-Hispanic San Pedro de Atacama: Chemical and contextual analysis. *Current Anthropology* 32 (5):640-649.
- Tushingham, S., D. Ardura, J. Eerkens, M. Palazoglu, S. Shahbaz y O. Fiehn 2013. Hunter-gatherer tobacco smoking: earliest evidence from the Pacific Northwest Coast of North America. *Journal of Archaeological Science* 40 (2):1397-1407.
- Tushingham, S. y J. Eerkens 2016. Hunter-gatherer tobacco smoking in Ancient North America: Current chemical evidence and a framework for future studies. En *Perspectives on the Archaeology of Pipes, Tobacco and Other Smoke Plants in the Ancient Americas*, editado por E. Bollwerk y S. Tushingham, pp. 211-230. Springer, Cham.
- Varela, V. 2009. La cerámica arqueológica de Taltal. *Taltalia* 2:119-128.
- Vargas, G., J. Rutland y L. Ortlieb 2006. ENSO tropical-extratropical climate teleconnections and mechanism for Holocene debris flows along the hyperarid coast of western South America (17°-24°S). *Earth and Planetary Science Letters* 249:467-483.
- Vegh, E. y K. Douka 2024. SpecieScan: semi-automated taxonomic identification of bone collagen peptides from MALDI-ToF-MS. *Bioinformatics* 40 (3):btae054.
- Wilbert, J., 1987. *Tobacco and Shamanism in South America*. Yale University Press, New Haven.
- Wilbert, J., 1994. The cultural significance of tobacco use in South America. En *Ancient Traditions: Shamanism in Central Asia and the Americas*, editado por G. Seaman y J. Day, pp. 47-76. University Press of Colorado & Denver Museum of Natural History, Denver.
- Zimmermann, M., B. Byrd, L. Engbring, J. Eerkens, M. Arellano, A. Leventhal, D. Grant, E. Mabie, A. Berim, D- Gang y S. Tushingham 2024. Disease and healing in ancient societies: Dental calculus residues and skeletal pathology data indicate age- and sex-biased medicinal practices among Native Californians. *Human Biology* 94 (1):9-24.
- Zimmerman, M. y S. Tushingham 2023. The biomolecular and archaeology of psychoactive substance. En *Handbook of Archaeological Sciences (2nd Edition), Vol. 1*, editado por M. Pollard, R. Armitage y C. Makarewicz, pp. 591-605. John Wiley & Sons Ltd., New Jersey.