



# **La Memoria del Fuego. Antracología, Pirotecnología y Metalurgia Prehispánica del Período Tardío en San Pedro de Atacama, Chile**

The Memory of Fire. *Anthracology, Pyrotechnology and Prehispanic Metallurgy of Late Period in San Pedro de Atacama, Chile*

Daniela Grimberg<sup>1,3</sup>, Ariadna Cifuentes<sup>2</sup> y Valentina Figueroa<sup>3</sup>

<sup>1</sup>École doctorale d'archéologie ED112, Institut d'art et d'archéologie. Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, Paris, France. UMR 8068 Temps, Technologie et Ethnologie des Mondes Préhistoriques, Nanterre, France. E-mail: [daniela.grimberg@etu.univ-paris1.fr](mailto:daniela.grimberg@etu.univ-paris1.fr)

<sup>2</sup>Departamento de Antropología, Universidad de Chile. Ignacio Carrera Pinto 1045, Piso 2, Ñuñoa, Chile. E-mail: [ariadnacifuentes@uchile.cl](mailto:ariadnacifuentes@uchile.cl)

<sup>3</sup>Instituto de Investigaciones Arqueológicas y Museo R.P. Gustavo Le Paige S.J., Universidad Católica del Norte, San Pedro de Atacama, Chile. E-mail: [vfigueroa@ucn.cl](mailto:vfigueroa@ucn.cl)

## **Resumen**

A partir de las excavaciones en dos hornos metalúrgicos del sitio Catarpe Túnel (San Pedro de Atacama) en operación durante el Período Tardío (1400-1536 DC), y orientados a la producción de cobre metálico, se discute el rol del combustible leñoso en el desarrollo de esta tecnología en el contexto hiperárido del desierto de Atacama. Nuestro estudio se enfoca en el análisis de material antracológico y carpológico, en conjunto con el análisis de las características depositacionales de los eventos de combustión y la información etnobotánica preliminar. Como resultado, proponemos la reconstrucción de una fase en la cadena operativa de la metalurgia del cobre, compuesta por la gestión y uso del combustible leñoso, además de la identificación de posibles áreas de actividad desarrolladas en las estructuras. Con esto, planteamos una estrategia metodológica integral, enfocada en aspectos como el registro y recuperación de este tipo de estructuras con potencial antracológico, que no suele ser considerada dentro de las actividades generales de excavación arqueológica, la que a su vez es aplicable para estructuras de combustión en general, aportando a la comprensión de las actividades en torno a la gestión y uso del combustible vegetal.

**Palabras claves:** Estructuras de combustión; Gestión del combustible; Algarrobo; Carpología; Hornos metalúrgicos; Desierto de Atacama.

## **Abstract**

Based on the excavations of two metallurgical furnaces from the Catarpe Túnel site (San Pedro de Atacama) in operation during the Late Period (A.D. 1400-1536), and oriented to the production of metallic copper, we discuss the role of woody fuel in the development of this technology in the hyper-arid context of the Atacama Desert. Our study focuses on the analysis of anthracological and carpological material, together with the analysis of the depositional characteristics of combustion events and preliminary ethnobotanical information. As a result, we propose the reconstruction of a phase of the operational chain of copper metallurgy, composed of the handling and use of woody fuel, as well as the identification of possible areas of activity developed in the structures. With this, we propose a comprehensive methodological strategy, focusing on aspects such as the recording and recovery of this type of structures with anthracological potential, which is not usually considered within the general archaeological excavation activities, which in turn is applicable to combustion structures in general, contributing to the understanding of the activities surrounding the handling and use of plant fuel.

**Keywords:** Combustion structures; Woody fuel management; Carob tree; Carpology; Metallurgical furnaces; Atacama Desert.

## **Introducción**

La tecnología metalúrgica prehispánica en el Desierto de Atacama se orientó a la reducción de minerales de cobre en hornos de piedra emplazados en sectores ventosos (*huayras*), siendo el tiraje natural proporcionado por el

viento, un recurso fundamental en la cadena operativa (Cifuentes *et al.*, 2024; Figueroa *et al.*, 2018; Garrido y Plaza, 2020; Salazar *et al.*, 2013). Las investigaciones arqueometalúrgicas desarrolladas en el área, han logrado profundizar en la comprensión de distintos aspectos relativos a la producción de cobre, tales como

Recibido 14-02-2024. Recibido con correcciones 03-04-2024. Aceptado 02-07-2024

Revista del Museo de Antropología 17 (2): 467-482 /2024 / ISSN 1852-060X (impreso) / ISSN 1852-4826 (electrónico)  
<http://revistas.unc.edu.ar/index.php/antropologia/index>

IDACOR-CONICET / Facultad de Filosofía y Humanidades – Universidad Nacional de Córdoba - Argentina



la identificación de la composición química elemental de minerales, metales y escorias, la reconstrucción de las cadenas operativas y el abordaje de aspectos sociales de la organización de la producción (Cifuentes *et al.*, 2018, 2024; Figueroa *et al.*, 2010, 2015, 2018; Garrido y Plaza, 2020; Niemeyer *et al.*, 1983; Plaza *et al.*, 2023; Rodríguez, 1981; Sapiains *et al.*, 2020; Salazar *et al.*, 2013).

Sin embargo, a pesar del carácter ubicuo del carbón en el ambiente hiperárido del desierto de Atacama, el cual proporciona condiciones de conservación excepcionales, a la fecha contamos con sólo un estudio orientado a comprender el uso de los combustibles vegetales en operaciones metalúrgicas, y éste nos ofrece conocimientos respecto a las especies leñosas utilizadas a partir del análisis de tan sólo tres fragmentos, identificando el uso de *Parastrephia* sp. y *Polylepis* sp. (Figueroa *et al.*, 2018). Es importante señalar, que, si bien contamos con otros dos estudios antracológicos para el desierto de Atacama, éstos están orientados a la comprensión de las estrategias de aprovisionamiento de recursos leñosos en grupos cazadores recolectores, sin un enfoque tecnológico como parte de un proceso productivo. Uno de estos desarrollado en sitios residenciales tempranos de la costa de Taltal, en Antofagasta (Salazar *et al.*, 2018), y otro para contextos finis pleistocenos de la Pampa del Tamarugal, en Tarapacá (Joly *et al.*, 2017). Ambos estudios concluyen el uso de especies arbóreas de *Prosopis* sp., *Myrica Pavonis*, *Strombocarpa tamarugo* y *Schinus molle*, además de especies arbustivas como *Atriplex taltalensis* y *Euphorbia lactiflua*, todas especies endémicas del desierto de Atacama.

Por su parte, existen numerosos estudios sobre hornos prehispánicos en Argentina (Cruz *et al.*, 2021; González, 2010; Spina y Giovanetti, 2014; Spina, 2018) y Bolivia (Cruz *et al.*, 2022; Lechtman *et al.*, 2010), pero éstos abordan los desechos de la producción metalúrgica y la comprensión general del proceso productivo, sin considerar el estudio específico del combustible como parte de las actividades de fundición. A esto queremos agregar que, si bien se reconoce una especialización de la tecnología metalúrgica adaptada a las particularidades del desierto de Atacama, no existen para el área investigaciones dirigidas específicamente al estudio de las tecnologías pirometalúrgicas de altas temperaturas en ambientes hiperáridos. En una metalurgia extractiva, el cobre se funde a los 1085°C, lo cual implica un manejo específico de las condiciones estructurales de la combustión. Por ejemplo, un tanto más al norte, en el estudio de los hornos de Collahuasi, se dedujo, a partir del estudio del sistema químico de las escorias, que las temperaturas de funcionamiento del horno alcanzaron valores elevados, de al menos 1200°C, e incluso, la ausencia de minerales sin reaccionar sugiere que la operación de fundición fue duradera (Figueroa *et al.*, 2018), lo cual indica que las altas temperaturas fueron sostenidas en el tiempo. Con estos

antecedentes, pensamos que la incorporación de estudios antracológicos para la comprensión y caracterización de las cadenas operativas y procesos productivos de la metalurgia prehispánica, es fundamental.

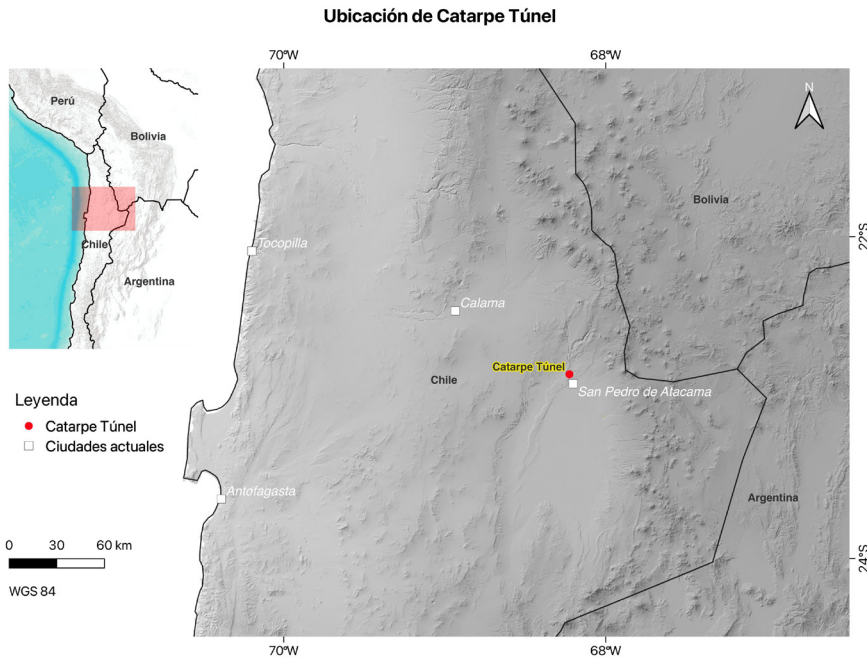
En esta línea, el objetivo de este trabajo es comprender, desde una perspectiva tecnológica, el proceso de selección, adquisición y uso del combustible leñoso, para actividades de reducción de minerales de cobre, desde el análisis del material antracológico recuperado de dos hornos de fundición del sitio Catarpe Túnel localizado en San Pedro de Atacama, región de Antofagasta, los que estuvieron en operación durante el período Tardío (Cifuentes *et al.*, 2024). Es decir, en esta primera aproximación antracológica de los hornos del sitio Catarpe Túnel, buscamos indagar sobre el rol que tuvo el combustible leñoso dentro de la cadena operativa de las actividades metalúrgicas, y no reconstruir el paisaje leñoso local contemporáneo a las ocupaciones del sitio, tarea que nos encontramos trabajando en investigaciones en curso. Para complementar este análisis, incorporamos un registro preliminar de datos etnobotánicos obtenidos en el área de estudio, a fin de reconstruir las áreas de actividad de dichas estructuras, así como también las modalidades de obtención y uso del combustible vegetal.

En consecuencia, planteamos una metodología integral enfocada en un protocolo *ad-hoc* dirigido al registro y recuperación de estructuras de combustión con potencial antracológico, que permita la obtención de información contextual, la cual se suele perder en el propio proceso de excavación.

### Entorno vegetal actual

El desierto de Atacama se caracteriza por tener un ambiente hiperárido con una marcada oscilación térmica, que contrasta con una importante diversidad ecológica, presente gracias a los regímenes de pluviosidad y la gradiente altitudinal que alberga este vasto territorio (Di Castri y Hajek, 1976; Luebert y Pliscoff, 2006). Según estudios climatológicos, esta situación climática en la Puna de Atacama se ha mantenido a partir del Holoceno Tardío (4.000 años AP) (Sarricolea *et al.*, 2017, 2023).

En el área de oasis y Salar de Atacama, la vegetación presenta una marcada zonación altitudinal, la que ha sido dividida según sus composiciones florísticas en cuatro pisos. El piso Prepuneño o desértico (2.600/3.400 msnm) posee menor diversidad florística, destacando arbustos deciduos como *tikara* (*Ambrosia artemisioides*), ojalar o cachiyuyo (*Atriplex imbricata*), *rica rica* (*Acantholippia deserticola*), *iloka* (*Adesmia atacamensis*), *tomatillo* (*Lycopersicon chilense*) y *malva* blanca (*Tarasa operculata*), junto a cactáceas del género *Opuntia* (Villagrán *et al.*, 1998). En el piso Puneño o Tolar (3.400-3.800/4.000 msnm) se desarrolla el conjunto florístico más diverso y de mayor cobertura, dominado por arbustos de *tara* hembra



**Figura 1.** Mapa con la ubicación geográfica del sitio arqueológico Catarpe Túnel (elaborado por C. González).

**Figure 1.** Map with the geographical location of the Catarpe Túnel archaeological site (elaborated for C. González).

(*Fabiana ramulosa*) y *quebraolla* (*Diplostephium meyenii*, *Chuquiraga atacamensis*), junto a otros de tolilla o lejíja (*Baccharis boliviensis*, *B. tola*), *añawa blanca* (*Adesmia erinacea*), *konti* (*Lupinus oreophilus*), *lampaya* (*Lampaya medicinalis*) y *pingo pingo* (*Ephedra breana*), que hacia los 3.800/4.000 msnm transicionan hacia el piso de Pajonal, pareciendo de arbustos de *chachacoma* (*Parastrephia quadrangularis*) y *añawa negra* (*Adesmia spinosissima*) (Luebert y Pliscoff, 2006; Villagrán et al., 1998). En el piso Altoandino o Pajonal (3.900-4.350 msnm) conviven matorrales bajos y pajonales cuyas especies varían según la latitud. Domina el conjunto de pajonal de *Stipa frígida*, *Stipa chrysophylla* y *Festuca chrysophylla*, y arbustos bajos como *copa-copa* (*Artemisia copa*) y *pata de perdiz* (*Fabiana bryoides*), con arbustos espinosos de *Adesmia melanthes* y subarbustos de *Senecio* como *chachacomas*, cambiando hacia áreas septentrionales, donde dominan los tolares de géneros de *Parastrephia* y pajonales de *Festuca orthophylla*, que se desarrollan junto a queñoas del altiplano en este sector (*Polylepis tarapacana*). Ya en el piso Subnival (sobre 4.350 msnm), se desarrolla una vegetación de carácter estepario muy abierta y dominada por plantas en cojín como la *yareta* (*Azorella compacta*) y *yaretillas* (*Pycnophyllum molle*, *Pycnophyllum bryoides*), además de herbáceas en roseta como la flor de puna (*Chaetanthera sphaeroidalis*) (Luebert y Pliscoff, 2006; Villagrán y Castro, 2004).

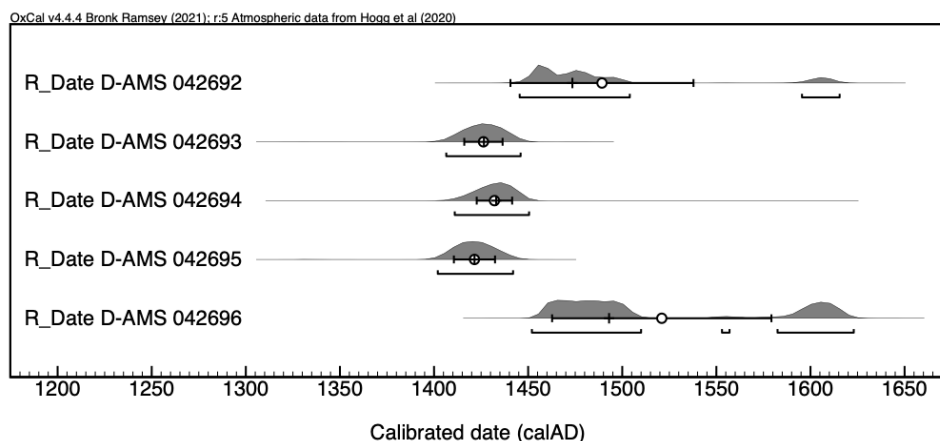
Actualmente, la vegetación azonal del Salar de San Pedro Atacama, así como de la quebrada de Toconao, posee importantes extensiones de tamarugos (*Strombocarpa tamarugo*), algarrobos (*Neltuma* spp.), chañares (*Geoffroea decorticans*), algunos ejemplares de sauces (*Salix humboldtiana*), molles (*Schinus molle*) y, ocasionalmente, espinos (*Vachellia macracantha*),

arbustos de *cachiyuyo* o *kórial* (*Atriplex madariagae*), *chilka* (*Baccharis scandens*), *cola de caballo* (*Equisetum giganteum*), *visa visa* (*Trixis cacalioides*), *brea* (*Tessaria absinthioides*) y abundante grama o gramillo (*Distichlis* spp.) (Luebert y Pliscoff, 2006; Villagrán, 1998). Existen también ejemplares arbóreos de algarrobo (*Neltuma* spp.) en el bosque de Tambillo, el cual corresponde a una plantación de tamarugos llevada a cabo en el sector entre 1971-1973 por CORFO, dentro de un plan de reforestación, recuperación de suelos y desarrollo ganadero, iniciado en la década de 1960, contemporánea al plan de reforestación en la Pampa del Tamarugal (CONAMA, 1999; Luebert y Pliscoff, 2006; Villagrán, 1998).

### Sitio Arqueológico Catarpe Túnel

Catarpe Túnel es un sitio metalúrgico ubicado aproximadamente a 6 km al norte del poblado actual de San Pedro de Atacama (Figura 1), orientado a la reducción de minerales de cobre para la obtención de cobre metálico de alta pureza, en operación entre los años 1.402 y 1.450 cal d.C. (Figura 2) (Cifuentes et al., 2024). El sitio se emplaza sobre el filo de un cordón de cerros de la Cordillera de la Sal, a una altura de 2.640 msnm, en aparente asociación al tramo del *Qhapaq Ñan* que conecta el Loa Superior con la región de Atacama y frente al tambo Catarpe Este, el asentamiento incaico más importante de la cuenca del salar de Atacama (Lynch, 1977), respecto al cual media una distancia de poco más de un kilómetro.

En el sitio fueron identificados un total de seis estructuras pirometalúrgicas tipo *huayras* de piedra y restos productivos como escorias, mineral de cobre, fragmentos



**Figura 2.** Fechados radiocarbónicos de Catarpe Túnel (tomada de Cifuentes et al., 2024).

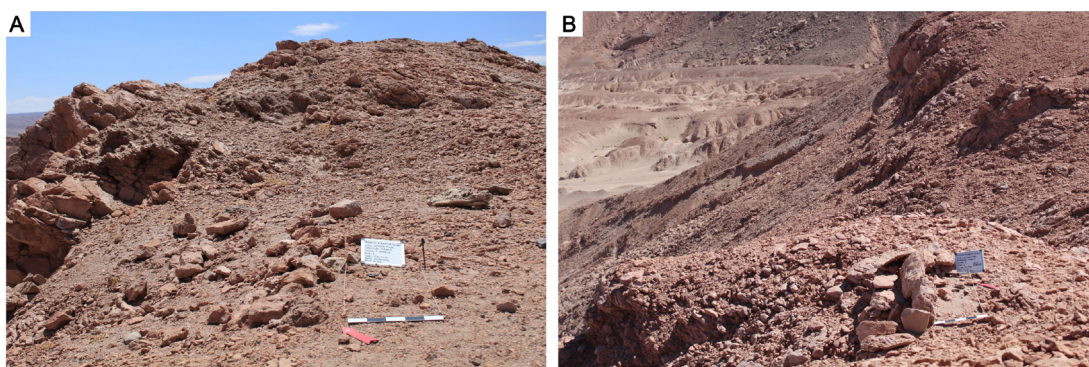
**Figure 2.** Radiocarbon dating of Catarpe Túnel (taken from Cifuentes et al., 2024).

de cerámica con adherencias de escorias, además de martillos de mano para la molienda de minerales y escorias. Estas estructuras corresponden a hornos rectangulares construidos en toba (roca local), de longitudes de entre 2 a 4 m, con orientación perpendicular a la dirección de los vientos, utilizando una estrategia tecnológica similar a la identificada en los hornos del altiplano sur de Tarapacá, en los sitios de Ujina y Sallihuinca, es decir, hornos de tiro natural que utilizan el viento como recurso clave para el desarrollo de las operaciones metalúrgicas (Cifuentes, 2023; Cifuentes et al., 2024; Figueroa et al., 2015, 2018).

Se llevaron a cabo excavaciones estratigráficas acotadas mediante unidades de sondeo de 1x0,5 m en dos de estas estructuras, los Horno-1 y Horno-2, que corresponden a dos tipos morfológicos distintos, distanciados por 350 m (Figuras 3 y 4). El Horno-1 corresponde a una estructura de planta rectangular, conformada por un muro bajo elaborado a partir de piedras semienterradas dispuestas en hilera, generando una zona interior expuesta a los vientos y una zona exterior sobre elevada. Por su parte, el Horno-2 corresponde a una estructura de planta rectangular, conformada por un respaldo de lajas verticales y una superficie plana de piedra tipo banqueteta. Para el caso del Horno-1 se excavaron dos unidades, una al exterior o unidad 1-exterior (1E) y otra en el interior del horno, o unidad 2-interior (2I), mientras que en el Horno-2 se excavó sólo una unidad en el exterior, unidad

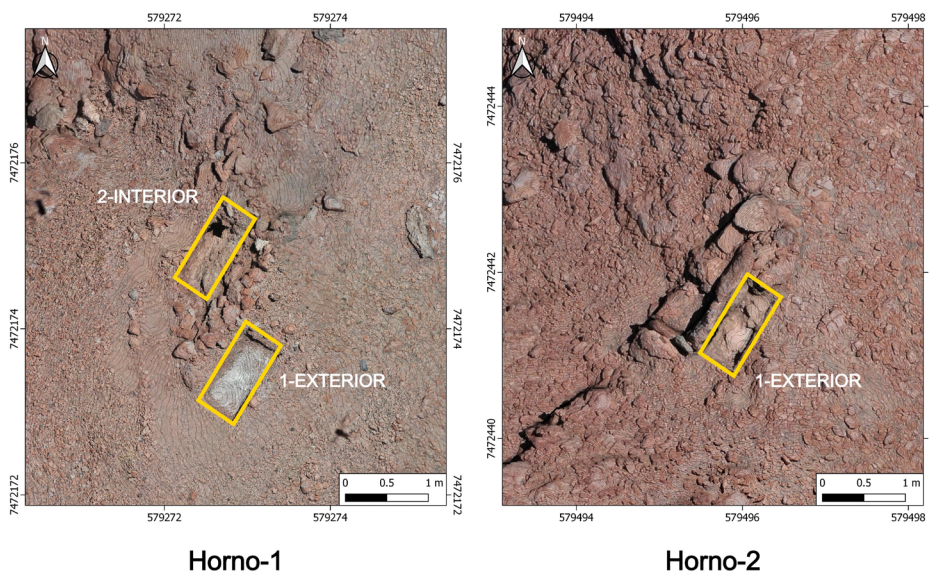
1-exterior (1E), dado que su interior corresponde a una superficie rocosa sin contenido sedimentario (Figura 4).

La metodología de excavación siguió los cánones de una excavación fina y rigurosa, decapando con brocha y espátula, discriminando y registrando a partir de unidades estratigráficas (capas naturales y culturales), pero manteniendo un control adicional mediante niveles artificiales cada 5 cm, tamizando el sedimento extraído con malla fina de 4 mm. Las excavaciones permitieron recuperar abundante mineral de cobre, cobre metálico (*prills* y gotas), escorias, fragmentos de cerámica, arcilla, astillas óseas, fecas de camélido y carbón. En el caso del Horno-1, se pudo distinguir una capa superficial (capa A) de alrededor de 1 cm de espesor, de color amarillo, compactación suelta y selección de grano heterogéneo de formas subangulosas con rocas y gravas de la toba asociada a gravillas de cuarzo. La capa B (sólo identificada en la unidad 1E) es de poco espesor (1,3 cm), con compactación suelta, de color amarillo grisáceo, con arenas más finas, pero aún con una importante cantidad de gravas, gravilla y arena gruesa. Por su parte, la capa C (identificada en ambas unidades, del Horno-1) corresponde a un sedimento termoalterado de más de 7 cm de espesor, de color amarillo rojizo, semicompacto, con abundantes carbones y escorias. Además, en esta capa se registraron dos importantes rasgos de combustión en cada unidad. En la mitad norte de la unidad 1E se identificó el Rasgo



**Figura 3.** Hornos metalúrgicos de Catarpe Túnel. A) Horno-1, B) Horno-2 (tomada de Cifuentes et al., 2024).

**Figure 3.** Catarpe Túnel metallurgical furnaces. A) Furnace-1, B) Furnace-2 (taken from Cifuentes et al., 2024).



**Figura 4.** Ortofoto con la localización de las unidades excavadas (modificado de Cifuentes et al., 2024).

**Figure 4.** Orthophoto showing the location of the excavated units (modified from Cifuentes et al., 2024).

1A, evento de quema acotado y focalizado con cenizas y abundantes fragmentos de carbón; mientras que la unidad 2I dio cuenta de un depósito de mayor potencia, identificándose una especie de bolsón, denominado Rasgo 1B, que albergaba una mezcla de abundante mineral de cobre finamente triturado, escorias de menor tamaño, fragmentos de cerámica y restos óseos de animal, junto a material combustible (fecas de animal, madera y carbón), todo con claras evidencias de haber sido sometido a altas temperaturas, lo que es coherente, ya que es el sector donde se habrían llevado a cabo las actividades de fundición. Cabe destacar, que las evidencias de rubefacción para el caso de la unidad 2I, alcanzó no sólo el piso sedimentario, sino también la base de rocas internas que conforman el horno. Por su parte, en la unidad ubicada al exterior del Horno-2, bajo la capa superficial (Capa A), la excavación confirmó la presencia de una pequeña área de combustión alojada en la capa B, donde se recuperaron escasos materiales, incluyendo dos escorias, fecas (probablemente de camélido) y fragmentos de carbón; mientras que en superficie se hallaron restos de una pieza de cerámica refractaria. Las características de la capa B son similares a la capa C detectada para el Horno-1, tratándose entonces del mismo estrato de ocupación. Como ya señalamos, esta estructura no posee depósito en su interior, sino que se trata de una superficie de piedra donde se llevaron a cabo las operaciones, y esta no conserva material sedimentario.

## Material y métodos

En términos generales, el material arqueobotánico recuperado en ambos hornos consiste en abundante material antracológico, restos carpológicos y pocos fragmentos de madera sin evidencias de manufactura (Tabla 1). Éstos fueron hallados en tres formatos: a) en el Rasgo 1A, locus específico de combustión focalizado

y bien conservado en la unidad 1E del Horno-1; b) en el Rasgo 1B, correspondiente a un bolsón de sedimentos con mezcla de abundantes carbones y una alta cantidad de materiales de actividad metalúrgica, hallado en la unidad 2I del Horno-1; y, c) dispersos y en baja cantidad en el depósito sedimentario para la unidad 1E del Horno-2. Dada la heterogeneidad de la presentación de los hallazgos, se utilizó una metodología combinada de recuperación del material arqueobotánico, adaptada a las características de cada caso. Las metodologías combinadas o mixtas permiten la recuperación exhaustiva de restos vegetales, tanto en cantidad como en diversidad (Solari y Lehnebach, 2006). El Rasgo 1A fue embolsado en su totalidad (4,5 L), para su posterior flotación en laboratorio, con el fin de recuperar el material antracológico y potenciales evidencias carpológicas. En tanto que, los materiales arqueobotánicos del Rasgo 1B, dado que se presentaron en conjunto con otros materiales culturales, se decidió tamizar en seco con criba de 4 mm, a fin de recuperar la diversidad de materiales *in situ*, siguiendo el protocolo de rigurosidad de 5 cm de niveles artificiales para su embolsado y etiquetado, y siempre respetando la capa estratigráfica de origen. Por su parte, el material antracológico procedente de la unidad 1E del Horno-2, al hallarse disperso en el sedimento de la capa B, fue también recuperado en seco a partir del tamizado *in situ*.

El procedimiento de flotación del Rasgo 1A, se siguió conforme a lo descrito en la literatura arqueobotánica (Buxó, 1997; Buxó y Piqué i Huerta, 2008; Greig, 1989; Watson, 1976), mediante el cribado con agua corriente y uso de tamices con luces de 3, 1 y 0,25 mm, cuyo fin es la separación de la fracción botánica (semillas, hojas pequeñas, filamentos, fragmentos de carbón) del material sedimentario y otros elementos no vegetales, asegurando una correcta manipulación de los restos. Una vez obtenido

Material arqueobotánico	Horno 1/Unidad 1E	Horno 1/Unidad 2I	Horno 2/Unidad 1E
Antracológico	3759	2349	233
Carpológico	351	12	0
Madera	5	0	0

**Tabla 1.** Cantidad de material arqueobotánico recuperado de las excavaciones de los Horno-1 y Horno-2 en el sitio Catarpe Túnel.

**Table 1.** Quantity of archaeobotanical material recovered from the excavations of Horno-1 and Horno-2 at site Catarpe Túnel.

el conjunto vegetal, este fue secado a temperatura ambiente, bajo la sombra y con ventilación suficiente, para no generar daños que pueden ser ocasionados por un secado abrupto o demasiado lento.

El análisis arqueobotánico se dividió en dos líneas analíticas: carpológica y antracológica. El análisis carpológico consistió en cuantificar, clasificar, agrupar según similitud morfológica, describir, fotografiar y finalmente determinar las especies vegetales recuperadas del Rasgo 1A (n=351) y aquellas obtenidas en el harneo (n=12). Estas tareas se llevaron a cabo con una lupa binocular estereoscópica Labquimed® (con aumentos de 20X y 40X), y las fotografías se obtuvieron con una cámara digital Canon®. Las agrupaciones se realizaron a partir de comparaciones morfológicas, considerando por ejemplo, el color y brillo superficial, la forma, el tamaño y la disposición del hilo, entre otras características; en tanto que las determinaciones se realizaron con el apoyo de atlas carpológicos especializados (Davis, 1993; Martin y Barkley, 2000) y la colección de referencia física, que la primera autora ha confeccionado en el marco de trabajos arqueobotánicos desarrollados previamente en el desierto de Atacama. Finalmente, se determinó también el estado de conservación de las especies identificadas, a partir de criterios de carbonización y fragmentación, ya que nuestra zona de estudio favorece la buena conservación del material orgánico en general, por lo que el estado de carbonización y/o fragmentación, nos permite discernir entre elementos que ingresaron natural o culturalmente al contexto arqueológico en estudio (Buxó y Piqué i Huerta, 2008).

Por su parte, la metodología de muestreo aplicada en el análisis antracológico, dirigida a la caracterización de la gestión del combustible leñoso, y no a la reconstrucción paleoecológica, para la cual se utiliza una metodología diferente con contextos arqueológicos de distinta naturaleza (Chabal, 2001; Théry-Parisot et al., 2012), consistió en la selección de una muestra representativa del total del material antracológico recuperado de la flotación y del tamizado realizado *in situ* (Chabal, 1997), consistiendo ésta en el 1% (n=64) del universo total de la muestra. Para esta selección se consideraron las variables de tamaño, morfología y procedencia en el depósito (profundidad), por lo que: i) el universo total del material fue pesado y medido a partir del uso de tamices de 1mm, 2mm y 4mm, teniendo como resultado su sistematización en 3 grupos de tamaño (Dufraisse,

2004); ii) se seleccionaron carbones de los tres grupos de tamaño y con distintas morfologías (redondeados o angulosos) y superficies con diferentes grados de erosión (lisas o irregulares); y iii) se procuró analizar un número proporcional de carbones según su procedencia (rasgo, capa estratigráfica y profundidad -nivel artificial-), para tener un mejor control de las posibles diferencias morfológicas pre y post-depositacionales que se pudiesen presentar. En cuanto a la definición del porcentaje de la muestra analizada, durante el análisis se evaluaron los valores de frecuencia de las especies identificadas, a medida que se avanzaba en la determinación taxonómica, hasta llegar a una curva estable donde se pudiera controlar la variabilidad de la muestra (Miksicek, 1987). Con estos criterios se analizaron entonces 37 carbones para la unidad 1E y 20 para la unidad 2I del Horno-1, en tanto que para la unidad 1E del Horno-2, fueron analizados 7 carbones.

Para la determinación taxonómica, de cada carbón analizado se revisaron los tres planos anatómicos de la madera (transversal, longitudinal tangencial y longitudinal radial), a partir de fracturas frescas realizadas a mano alzada o con ayuda de un bisturí y orientadas a la obtención de dichos planos. La observación se realizó con microscopio óptico binocular de luz reflejada Nikon® Eclipse L150, con aumentos de 50X a 1000X, en tanto que las fotografías digitales de las características diagnósticas se realizaron con cámara Zeiss® modelo Axiocam 305 color, montada en un microscopio trinocular Nikon® modelo Eclipse ME600, también con magnificaciones de 50X a 1000X, y tratadas mediante el programa digital Zen Core 3.4®. En cuanto a las descripciones microscópicas, estas se llevaron a cabo siguiendo las claves anatómicas propuestas por Wheeler y colaboradores (1989) para especies latifoliadas. Por su parte, la determinación taxonómica se desarrolló con el uso de manuales especializados en anatomía de maderas (Evans et al., 2006; Tortorelli, 1956; Trouy, 2015; Wheeler et al., 1989), y con la revisión de la colección digital de la plataforma web Inside Wood®. Además, para la correcta identificación de los restos leñosos carbonizados, se confeccionó una pequeña colección de referencia antracológica específica para el área de estudio, a partir de la colecta de muestras de madera moderna de árboles y arbustos vivos locales de la zona del valle de Catarpe: *Acantholippia deserticola* (rica-rica), *Atriplex imbricata* (cachiyuyo), *Neltuma Alba* (algarrobo blanco), *Geoffroea decorticans* (chañar), *Tessaria absinthioides* (brea) y *Schinus molle* (molle o

pimiento). Éstas fueron posteriormente carbonizadas, a partir de un proceso experimental, siguiendo un protocolo sencillo a partir del uso de una parrilla para asar y carbón de espino, donde fueron depositadas las muestras previamente enumeradas y envueltas con papel aluminio (Solari, 2022 *com pers.*), evaluando el tiempo de exposición a las altas temperaturas de las brasas, con el fin de observar la duración que toma cada especie en carbonizar. Posteriormente fueron descritas bajo microscopio de luz reflejada (mismo utilizado para análisis antracológico), siguiendo las claves anatómicas planteadas por la International Association of Wood Anatomist para maderas latifoliadas (Wheeler *et al.*, 1989), completando una base de datos confeccionada para su documentación, además del registro fotográfico de los mejores planos anatómicos de cada especie.

A la determinación de especies se sumó el análisis de alteraciones en el carbón, que nos permiten comprender el estado de la leña al momento de seleccionarla para su uso, pudiendo ser madera verde, podrida o muerta, o bien, secada de forma intencional y controlada para obtener una leña que cumpla con los objetivos que se buscan (Théry-Parisot *et al.*, 2016; Vidal-Matutano *et al.*, 2017). Específicamente, en nuestro estudio revisamos la presencia de grietas de contracción y hongos. Las grietas de contracción se producirían cuando la madera se encuentra húmeda o verde al momento de ser combustionada, y su frecuencia tiende a ser alta, distorsionando las estructuras anatómicas del leño (Théry-Parisot *et al.*, 2016). Por su parte, la presencia de hongos, representan ataques de microorganismos que ocurren cuando la madera está verde y en proceso de deterioro, y degradan el material orgánico que constituye el alimento de estos microorganismos, por lo que su presencia en el material antracológico puede indicar el uso de madera caída (Moskal-del Hoyo *et al.*, 2010). Para saber si estos ataques se produjeron antes

de la combustión de la leña, su color debiese ser negro por la carbonización, si estos elementos tuviesen una coloración blanca o café claro en el carbón, indicarían un ataque posterior al evento de combustión (Bermeo 2023, *com pers.*). También, dentro del análisis de alteraciones, incorporamos la observación del vitrificado, el que ocurre durante el proceso de combustión, donde aparentemente las temperaturas distorsionan los elementos anatómicos de la madera. Considerando que existen pocos estudios antracológicos dedicados específicamente a esta característica del carbón, en nuestro análisis, sólo estimamos su presencia o ausencia dentro de la muestra analizada y sus características, relacionándolas a su ubicación de procedencia (profundidad), con el fin de detectar patrones.

Quisimos también identificar el tipo de soportes utilizados como leña, ya sean ramas, troncos o raíces, a partir de la descripción de la disposición de anillos de crecimiento y orientación de radios leñosos en el plano transversal.

Finalmente, para apoyar las interpretaciones de nuestros resultados, se realizaron entrevistas etnobotánicas a comuneros y comuneras de Catarpe. Para esto, se desarrollaron semi-estructuradas, enfocadas en conocer el tipo de especies leñosas seleccionadas como combustible, sus criterios de selección y sus contextos de uso.

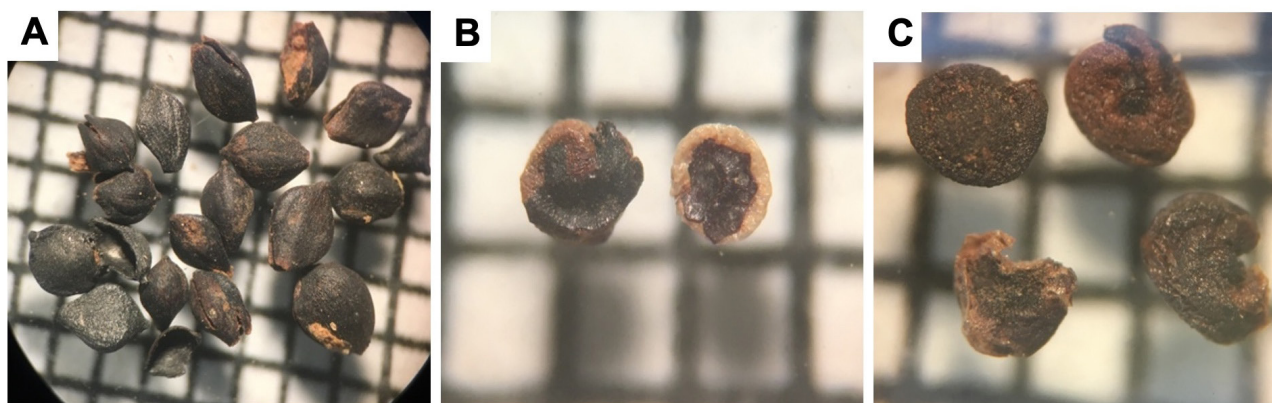
## Resultados

Para el análisis carpológico, de los 363 carporrestos recuperados, se logró identificar el 90,28%, de los cuales el 56,41% se encontró en estado carbonizado o tostado. Para el caso del Horno 1, en el Rasgo 1A de la unidad 1E se obtuvieron 351 carporrestos, para el Rasgo 1B de la unidad 2I se contabilizaron 12; en tanto que para la unidad 1E del Horno-2, no se obtuvieron hallazgos carpológicos (Tabla 2). Entre

Taxa	Cantidad y Estado																N Total	%			
	Horno 1 Unidad 1E Rasgo 1A						Horno 1 Unidad 2I				Horno 1 Unidad 1										
	C/E	C/F	T/E	T/F	NC/E	NC/F	C/E	C/F	T/E	T/F	NC/E	NC/F	C/E	C/F	T/E	T/F			NC/E	NC/F	
Atriplex sp.	0	0	0	0	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	1,38
Brassica sp.	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0,82
Chenopodium quinua	0	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0,82
Chenopodium sp.	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0,28
Geoffroea decorticans	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	10	0	0	0	0	0	0	0	12	3,31
Poa sp.	2	2	0	0	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	2,48
Scirpus sp.	24	4	107	43	43	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	241	66,39
Solanum sp. (1)	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	2,2
Solanum sp. (2)	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0,83
Suaeda sp.	0	1	0	0	13	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18	4,96
Urtica sp.	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0,82
Verbena sp.	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0,28
Indeterminadas	7	1	0	0	23	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	34	9,37
Indeterminables	0	5	0	0	0	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22	6,06
<b>Total</b>	<b>34</b>	<b>14</b>	<b>107</b>	<b>43</b>	<b>102</b>	<b>51</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>10</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>363</b>	<b>100</b>

**Table 2.** Detalle de las especies carpológicas halladas en Horno-1 y Horno-2. C/E: carbonizada entera; C/F: carbonizada fragmentada; T/E: tostada entera; T/F: tostada fragmentada; NC/E: no carbonizada entera; NC/F: no carbonizada fragmentada.

**Table 2.** Detail carpological species found in Horno-1 and Horno-2. C/E: charred complete; C/F: fragmented carbonized; T/E: toasted complete; T/F: fragmented toast; NC/E: not charred complete; NC/F: not charred fragmented.



**Figura 5.** Imágenes de semillas de especies combustibles identificadas. A) *Scirpus* sp.; B) *Chenopodium quinua*; C) *Atriplex* sp. (Grilla de fondo representa 1 mm).

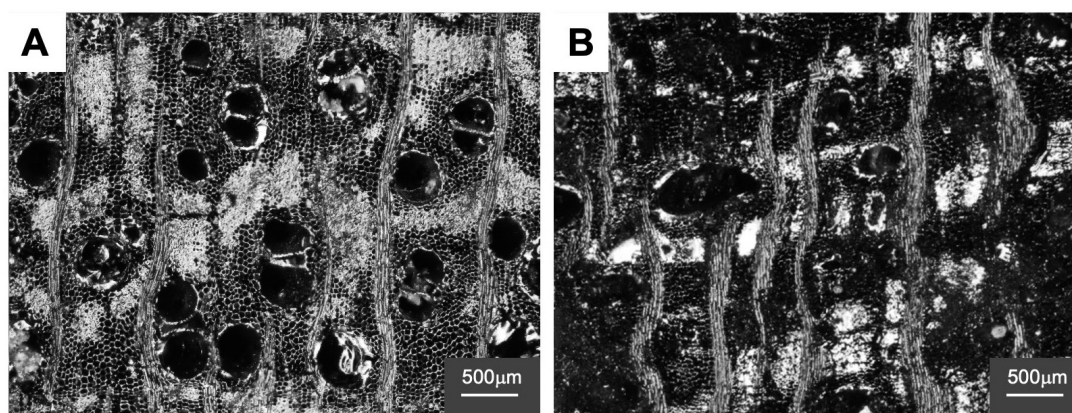
**Figure 5.** Images of seeds of identified fuel species. A) *Scirpus* sp.; B) *Chenopodium quinua*; C) *Atriplex* sp. (background grid represents 1 mm).

las especies identificadas para el Rasgo 1A sobresale, tanto por su estado carbonizado y tostado, como por su abundancia, la presencia de semillas de *Scirpus* sp. (66,39%), correspondiente principalmente a juncos. También se observó la presencia de otras especies de pastos y herbáceas como *Poa* sp. y *Suaeda* sp., también carbonizadas, pero en muy baja representatividad (2,48% y 4,96%, respectivamente). Destaca la presencia de *Atriplex* sp. (pudiendo corresponder a *A. atacamensis*, *A. imbricata* o *A. madariagae*) arbusto resinoso muy común en la región, con 1,38% de representatividad y de *Chenopodium quinua* (0,82%), planta ampliamente cultivada. Por su parte, desde el Rasgo 1B, el cual fue tamizado, se encontraron 12 carozos de *Geoffroea decorticans*, dos en estado tostado y 10 sin tostar, distribuidos en los 45 cm de profundidad de este depósito (Figura 5, Tabla 2).

La cuantificación del material antracológico por sector de procedencia, reflejó que, de un total de 6.341 fragmentos de carbón, 3.759 corresponden a la unidad 1E (2.315 del

Rasgo 1A y 1.444 en estratigrafía) y 2.349 al Rasgo 1B de la unidad 2I del Horno-1. Un total de 231 fragmentos de carbón corresponden a la unidad 1E del Horno-2. El grueso del material antracológico se concentra en la capa estratigráfica C (correspondiente al sedimento termoalterado) para ambas unidades del Horno-1. En tanto que en la unidad 1E del Horno-2, los carbones se concentran en la capa B, la cual es definida con las mismas características que la capa C para el Horno-1, tratándose entonces del mismo piso de ocupación (Tabla 3). El estado de conservación de todo el conjunto de carbones resultó ser muy bueno, permitiendo la observación de los rasgos anatómicos sin dificultades.

De la muestra antracológica analizada, se logró identificar a nivel de género el 96,88%, quedando sólo dos fragmentos indeterminables dado su alto nivel de vitrificado, condición que distorsiona la morfología anatómica. Las especies detectadas corresponden a *Neltuma alba* y *Neltuma flexuosa*, especies arbóreas locales ampliamente conocidas como algarrobo. Fue



**Figura 6.** Imágenes de especies leñosas combustibles identificadas. A) plano transversal de *N. alba*; B) plano transversal *N. flexuosa*.

**Figure 6.** Images of identified fuel species. A) transverse plane of *N. alba*; B) transverse plane *N. flexuosa*.



Horno	Unidad	Capa	Nivel artificial	Total	N analizado	Taxa	Vitrificado		N Carbones c/Grietas	N Carbones c/Hongos
							Cantidad	Grado		
1	1E	A	1 (0-5 cm)	5	1	Neltuma sp.	1	Leve	0	0
		B	1 (0-5 cm)	85	2	Neltuma sp.	0	---	0	1
		C	1 (0-5 cm)	930	14	Neltuma sp.	4	Leve	2	4
			2 (5-10 cm)	2315	10	Neltuma sp.	2	Medio	2	2
			3 (10-15 cm)	424	2	Indeterminables	5	Medio y Alto	3	2
			8	Neltuma sp.						
	2I	A	1 (0-5 cm)	38	4	Neltuma sp.	1	Medio	0	0
		C	1 (0-5 cm)	613	5	Neltuma sp.	3	Medio	2	2
			2 (5-10 cm)	451	1	Neltuma sp.	1	Medio	0	0
			3 (10-15 cm)	306	3	Neltuma sp.	0	---	0	0
			4 (15-20 cm)	258	2	Neltuma sp.	0	---	0	0
			5 (20-25 cm)	316	1	Neltuma sp.	0	---	0	1
			6 (25-30 cm)	187	1	Neltuma sp.	0	---	1	1
			7 (30-35 cm)	25	1	Neltuma sp.	1	Alto	0	0
8 (35-40 cm)			40	1	Neltuma sp.	1	Alto	0	0	
9 (40-45 cm)	115	1	Neltuma sp.	0	---	0	0			
2	1E	A	1 (0-5 cm)	5	2	Neltuma sp.	0	---	0	1
		B	1 (0-5 cm)	11	2	Neltuma sp.	0	---	1	0
		B	2 (5-10 cm)	16	1	Neltuma sp.	0	---	0	1
		B	3 (10-15 cm)	201	2	Neltuma sp.	0	---	1	0
<b>Total</b>				<b>6341</b>	<b>64</b>		<b>19</b>		<b>12</b>	<b>15</b>

**Tabla 3.** Detalle cuantitativo y cualitativo de los resultados del análisis antracológico, para Horno-1 y Horno-2.

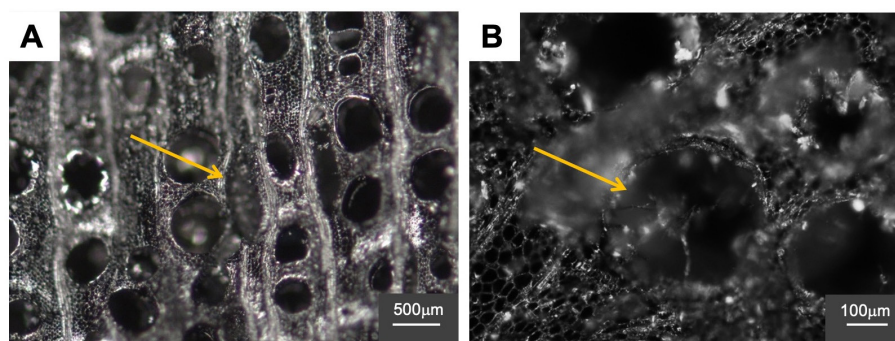
**Table 3.** Quantitative and qualitative detail of the results of the anthracological analysis, for Furnace-1 and Furnace-2.

posible hacer la distinción anatómica de estas especies dentro del mismo género, gracias a diferencias en el patrón de la disposición del parénquima axial (Figura 6), siendo paratraqueal vasicéntrico aliforme muy definido para *N. alba*, mientras que se presenta paratraqueal confluyente a bandeado muy abundante para *N. flexuosa* (Evans *et al.*, 2006).

Con respecto a las alteraciones observadas, se detectó una baja presencia de grietas de contracción (0,19%) de pequeño tamaño, no interviniendo mayormente en la identificación de la anatomía celular de los carbones (Figura 7). Es posible que su baja presencia y sus pequeñas dimensiones respondan a escasos remanentes de humedad en una leña seca. Esto coincide con la también baja presencia de hongos, que en la muestra se presentan de color negro carbonizado, por lo que se trata de ataques

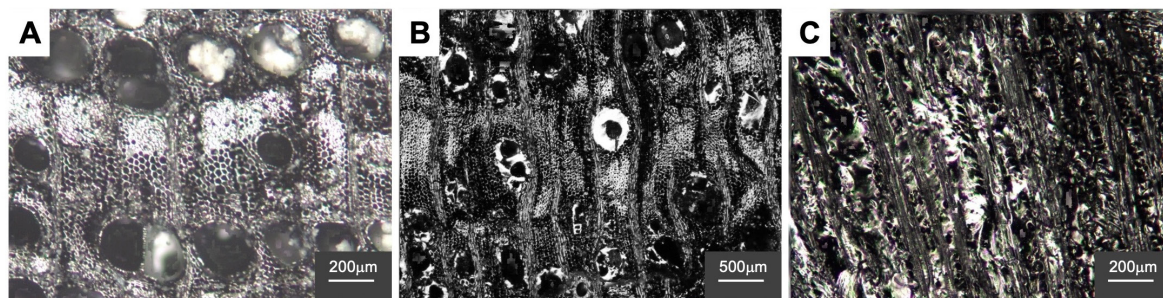
pre-combustión. Por lo tanto, la baja cantidad de grietas y de hongos (Tabla 3), indicarían que el recurso leñoso no fue utilizado en estado verde, podrido o muerto/caído, sino que pudo haber sido seleccionado, cortado y luego secado intencionalmente, de manera controlada, para posteriormente ser utilizado como combustible.

Respecto al vitrificado, en las unidades 1E y 2I del Horno-1, se detectó en 19 carbones, un 29,69% del total de la muestra analizada (Tabla 3). El análisis de correlación de los carbones vitrificados según su ubicación en el depósito estratigráfico permitió observar una relación entre el nivel de vitrificación y la profundidad en la que se encontraba cada carbón; siendo los carbones ubicados a mayor profundidad los que presentaban un mayor grado de vitrificación. Fue posible discriminar tres grados de vitrificado: leve, moderado y alto (Figura 8). El vitrificado



**Figura 7.** Imagen de carbones con alteraciones. A) fractura de contracción en plano transversal, muestra Rasgo 1B, Capa C, Nivel 1; B) presencia de hongos en poro de plano transversal, muestra de Rasgo 1A, Capa C, Nivel 2.

**Figure 7.** Image of coals with alterations. A) transverse plane shrinkage fracture, sample from Feature 1B, Layer C, Level 1; B) presence of fungi in transverse plane pore, sample from Feature 1A, Layer C, Level 2.



**Figura 8.** Imágenes de carbones con vitrificación procedentes del Rasgo 1A. A) vitrificado leve, Capa A, Nivel 1; B) vitrificado moderado, Capa C, Nivel 2; C) vitrificado alto, Capa C, Nivel 3.

**Figure 8.** Images of vitrified coals from Rasgo 1A. A) slight vitrification, Layer A, Level 1; B) moderate vitrification, Layer C, Level 2; C) high vitrification, Layer C, Level 3.

leve involucra la deformación de las paredes de las fibras leñosas; el vitrificado moderado, posee alteración en paredes de fibras leñosas y de poros (vasos); en tanto que el vitrificado alto, posee alteración en paredes de fibras leñosas, poros y parénquima. Sin embargo, para obtener resultados que permitan observar patrones más concluyentes, es necesario aumentar el número de la muestra y conducir un análisis enfocado específicamente en la correlación de los niveles de vitrificado del carbón, su ubicación en el depósito y las características de la especie leñosa, ya que estudios experimentales descartan que el vitrificado, y por tanto sus distintos grados, sea producidos específicamente por la exposición a altas temperaturas de la combustión (McParland et al., 2010).

No se observaron diferencias en cuanto al aspecto físico de los carbones (tamaño, morfología y superficies), correspondiendo todos a alguna de las dos especies de *Neltuma* identificadas. Esto da cuenta de que estos aspectos no constituyen características diagnósticas al momento de la elección de la muestra para su determinación taxonómica o de alteraciones.

En cuanto a los soportes utilizados como combustible, sólo en 6 casos pudo identificarse la utilización de ramas y raíces, dada la disposición de los anillos y radios leñosos en el plano transversal, en el resto de los carbones no fue posible hacer esta distinción con seguridad, dado el pequeño tamaño de los carbones. Para una correcta identificación de soportes es necesario aplicar metodologías más precisas, como las cuantitativas planteadas por Dufraisse (2004).

## Discusión

### Áreas de actividad

Las características descritas de los eventos de combustión en las áreas externas de los hornos (unidad 1E en Horno-1 y unidad 1E en Horno-2) nos permiten hipotetizar que se trata de áreas de actividad vinculadas al almacenaje de combustible (leña, guano y pastos secos) y a la preparación de carbón (combustión de la leña). Tanto la presencia y ubicación de fecas de animal sin combustionar,

ya sea de manera dispersa o compactada (en el caso de Horno-2), como de material antracológico abundante, concentrado y localizado, además de la baja cantidad de desechos metalúrgicos presentes (escorias y fragmentos de roca escorificada), nos lleva a pensar que los materiales combustibles aquí almacenados (leña, guano y pastos secos) habrían sido procesados en estas áreas externas de los hornos para producir brasas incandescentes y utilizarlas al interior de los hornos donde se llevó a cabo la reducción metalúrgica propiamente tal, a medida que se iba requiriendo.

Otro indicador en cuanto a las diferencias de las áreas de actividad al interior *versus* el exterior de los hornos es la rubefacción detectada en la matriz que albergaba los eventos de combustión en el Horno-1. La rubefacción respondería a la exposición de la matriz sedimentaria a altas temperaturas, ocasionando un cambio químico en la composición tanto del suelo como de las rocas que conforman la estructura de combustión, que se expresa en un color rojizo, marrón y anaranjado, dependiendo de la intensidad del fuego o calor (Wattez, 1988). Para la matriz sedimentaria de la unidad 1E, la rubefacción se presentó acotada en uno de los bordes del Rasgo 1A, y no en toda la superficie que lo albergaba, indicando un evento de combustión más bien dirigido a alcanzar temperaturas controladas para la elaboración de carbones, y no una combustión completa o calcinación del material combustible. Estas brasas producidas en el exterior del horno, habrían sido transportadas a la segunda área de combustión, en el interior del Horno-1 (unidad 2I), donde la rubefacción aumenta en extensión e intensidad, indicando el efecto de altas temperaturas alcanzadas gracias al aprovechamiento del viento (oxígeno) con el objetivo de reducir el cobre (y no de mantener las brasas como en el exterior del horno), lo que hizo que tanto la matriz que contenía el combustible, como algunas rocas que conformaban parte del horno, presenten una coloración de mayor intensidad y extensión que en el caso de la unidad 1E.

Esto pudiese explicar la presencia del vitrificado en una parte de la muestra analizada de la unidad 1E, Horno 1.

Según los experimentos de McParland y colaboradores (2010), la vitrificación no es el resultado de la exposición a altas temperaturas, sino más bien, a temperaturas más bajas, entre 310 y 530°, dentro de una combustión lenta y constante. Para el caso de la unidad 1E, durante el proceso de preparación del carbón (carbonizado de la leña) las temperaturas ideales no son las máximas alcanzadas para la reducción metalúrgica (caso de unidad 2I), sino temperaturas suficientes solo para preparar el combustible sin que este sea calcinado. Esto tiene mucho sentido al constatar la cantidad de presencia/ausencia de vitrificado entre las unidades 1E y 2I. No obstante, será importante aumentar el número de la muestra para este análisis en particular en nuestras futuras investigaciones, y así contrastar esta teoría.

Por lo tanto, señalamos para los hornos de Catarpe Túnel, dos áreas de actividad muy definidas. En la zona externa, un área destinada al almacenaje de distintos tipos de combustible (leña, hierbas secas y fecas de animal) y a la carbonización del combustible leñoso al momento de poner en funcionamiento el horno. Por su parte, en la zona interna, un área dedicada exclusivamente a la reducción metalúrgica con el uso del carbón producido y del tiraje natural proporcionado por los vientos, con excepcional capacidad para alimentar la combustión de manera constante e intensa. Aquí, tanto el combustible vegetal como el viento habrían sido recursos fundamentales en la cadena operativa metalúrgica, alcanzando temperaturas sostenidas en el tiempo de hasta 1200°C (Figueroa *et al.*, 2015, 2018).

#### *Selección del combustible y técnicas de combustión*

Los resultados expuestos nos permiten establecer, en primer lugar, que los hornos 1 y 2 corresponden a estructuras de combustión mono-específicas (Solari, 2000), dado que para los tres contextos analizados (Rasgo 1A-Horno 1, Rasgo 1B-Horno 1 y unidad 1E-Horno 2), se utilizó sólo un tipo de combustible leñoso, madera de algarrobo que, aunque en nuestro análisis discriminamos entre *N. alba* y *N. flexuosa*, en términos de propiedades caloríficas no suponen diferencias. La selección del algarrobo podría estar determinada tanto por aspectos técnicos del combustible (poder calorífico, resistencia, durabilidad de la brasa), como por aspectos de valor cultural que escapa a estas propiedades técnicas (Greene, 2013).

Para el caso particular del Rasgo 1A (Horno-1, unidad 1E) se detectaron cinco semillas de cachiyuyo (*Atriplex* sp.). Pensamos que debido a su baja presencia en el registro carpológico y su ausencia en el *corpus* antracológico analizado, su participación en el proceso de combustión habría tomado lugar probablemente durante las etapas iniciales de ignición, sobre todo considerando que se trata de un arbusto con características resinosas y, producto de la intensidad de la temperatura alcanzada por el uso del algarrobo, sus ramas habrían sido totalmente calcinadas

durante el proceso. De hecho, estudios experimentales han documentado que recursos madereros con mayor potencial calorífico, como el algarrobo, tienden a consumir y no dejar rastros de recursos leñosos secundarios con menor potencial en un mismo evento de combustión (Piqué i Huerta, 1999). En este sentido, según algunos Comuneros de Catarpe se puede utilizar el cachiyuyo (*Atriplex imbricata*, *Atriplex madariagae*) específicamente para "avivar la llama" en fogones y fogatas.

Llama la atención la presencia predominante de algarrobo (*Neltuma alba* y *N. flexuosa*) y, de manera secundaria, cachiyuyo, a pesar de haber otros arbustos como la *ricarica* (*Acantholippia deserticola*), que se desarrolla incluso en la terraza alta donde se emplazan los hornos, y para la cual se ha documentado su uso como combustible en contextos domésticos del noroeste argentino (Rodríguez, 2000; Villagrán *et al.*, 2003). Esto nos remite a una especialización en la gestión del combustible leñoso, seleccionando no lo que estuviese más accesible ("principio del menor esfuerzo" *sensu* Sanders *et al.*, 1979), sino aquellas maderas con el potencial calorífico idóneo para llevar a cabo las operaciones metalúrgicas que requerían alcanzar al menos 1200°C de temperatura para transformar el cobre mineral en cobre metálico. También, la presencia de algarrobo y cachiyuyo hablan de un uso de combustibles complementarios, donde el algarrobo funciona como el combustible principal y el cachiyuyo como el combustible de ignición. Resulta interesante contrastar esto con los resultados del análisis antracológico practicado sobre tres muestras de carbón procedentes del Horno 3 del sitio metalúrgico de Ujina 10 y del campamento de metalurgistas Collahuasi-37, localizados en el altiplano sur de Tarapacá (Figueroa *et al.*, 2018). Aquí se identificó el uso de madera de queñoa (*Polylepis* sp.) y de arbusto del género *Parastrephia* sp., por lo que nuevamente observamos la combinación de dos tipos de combustibles para la obtención de una combustión específica, y no del uso de maderas al azar. De hecho, ambas especies, queñoa y *Parastrephia lepidophylla*, son etnográficamente reconocidas por sus cualidades como combustibles en localidades del altiplano (MMAyA, 2012; Tapia Alejo, 2022; Villagrán *et al.*, 2003).

Los resultados carpológicos demostraron también la presencia de plantas acuáticas y pastos en el contexto de combustión del Rasgo 1A. Estos no se desarrollan en las inmediaciones del sitio, localizado en la terraza alta. Al respecto, su presencia es plausible de explicar desde dos escenarios posibles. Por un lado, al igual que el cachiyuyo, éstos habrían participado en la primera etapa del proceso de combustión, donde los tallos de ejemplares secos de juncos (*Scirpus* sp.), pastos (*Poa* sp.) e incluso de quínoa (*Chenopodium quinua*) pudieron servir como material inflamable para la ignición del fuego. La alta cantidad de semillas de juncos (*Scirpus* sp.), en estado carbonizado y tostado, nos remite a que esta planta habría sido la más utilizada para esta etapa de ignición del fuego, durante

la preparación de las brasas. La baja representatividad de la quínoa nos hace pensar que su presencia no tiene orígenes culinarios, sino más bien oportunistas, aprovechándose los restos de la planta seca (tallo) que no fueron consumidos para fines alimenticios. En efecto, a partir de las entrevistas etnográficas realizadas, se nos indicó que antiguamente “se aprovechaba todo” para iniciar un fuego o alimentarlo, pastos secos a la mano, residuos vegetales de las preparaciones culinarias, cualquier vegetal inflamable era bienvenido para esta etapa de la combustión.

#### Áreas y técnicas de aprovisionamiento

La observación de las estructuras anatómicas de los planos transversales de las muestras analizadas (disposición de los anillos de crecimiento y orientación de los radios leñosos) indican la participación de ramas en la combustión. Si bien no fue posible observar estas características en todos los carbones analizados, por lo que no se descarta el uso de partes del tronco, si podemos asegurar que hubo selección y uso de ramas. También, la baja presencia de hongos pre-combustión y de grietas de contracción, nos habla del uso de madera seleccionada, cortada y almacenada en un espacio destinado a su secado controlado (evidenciado por una baja cantidad de hongos), con el fin de obtener un combustible óptimo de ser utilizado en las operaciones metalúrgicas. Según información etnobotánica obtenida en terreno y en otras menciones en la literatura (Greene, 2013), la madera seca de algarrobo posee cualidades caloríficas importantes, formando una llama intensa y duradera, lo que es confirmado por comunidades del altiplano boliviano que utilizan leña de *Prosopis alba* como combustible (MMAyA, 2012). Un estudio del potencial calorífico de madera y carbón de *Prosopis juliflora* para producción de gas en Colombia, demostró que la leña de esta especie supera el límite calorífico útil considerado como buen combustible (Cabrera et al., 2012).

Actualmente, la vegetación azonal del Salar de Atacama posee una composición florística donde ejemplares de algarrobo (*Neltuma* spp.), cachiyuyo (*Atriplex imbricata*, *Atriplex madariagae*) y de juncos (*Scirpus* sp.) conviven en un mismo lugar (Villagrán et al., 1998). Esta situación se ve replicada para el área del valle de Catarpe, a 6,5 km al noroeste de San Pedro de Atacama, y a los pies de la formación montañosa donde se emplazan los hornos de Catarpe Túnel, por donde discurre el río San Pedro que alimenta el Salar de Atacama. Desde esta perspectiva, la recolección del combustible habría tenido lugar en la misma área, y probablemente los procesos de secado de maderas, juncos y pastos pudieron ocurrir en las inmediaciones del valle, o bien dentro de las mismas áreas de almacenaje, al exterior de los propios hornos. Apoyamos esta hipótesis sobre la base de la información proporcionada por estudios paleoambientales que, si bien han constatado numerosos cambios climáticos a lo largo del Holoceno, han señalado que a partir del Holoceno

Tardío (4.000 años AP) la situación climática en los Oasis y Puna de Atacama ha mantenido las condiciones de aridez como las conocemos hoy (Markgraf, 1987; Sarricolea et al., 2017, 2023). En este sentido, es difícil realizar una proyección sobre el entorno vegetal para el siglo XV, cuando estuvieron en funcionamiento los hornos de Catarpe Túnel; sin embargo, como hipótesis preliminar manejaremos la premisa de que habría tenido características similares a las que hoy conocemos, posiblemente con mayor cobertura vegetal<sup>1</sup>.

Otro aspecto de vital importancia es incorporar al estudio del aprovisionamiento de combustible, una mirada transdisciplinar que incluya la producción de paisajes desde una perspectiva de la historia socioambiental. En otras palabras, una investigación integral sobre las tecnologías del fuego y del combustible no sólo deberá incorporar los aportes de la etnobotánica y del conocimiento ecológico local, sino que también una perspectiva diacrónica de las fuentes documentales que aborden las dinámicas económicas agrícolas, ganaderas y mineras, así como las dinámicas demográficas y sus efectos sobre el paisaje, entre los siglos XV y XX para el Valle de Catarpe. La incorporación de una perspectiva diacrónica de los procesos económicos (Periodo Tardío, Colonial, Republicano y Contemporáneo) permite dinamizar una visión fija del paisaje social del Valle de Catarpe.

Se han descrito los efectos antrópicos de la minería sobre diferentes especies vegetales y arbóreas en el desierto de Atacama<sup>2</sup> (Calderón y Prieto, 2024). Para el periodo Tardío, es probable que el parcelario del Valle de Catarpe fuese un espacio agrícola principalmente sembrado principalmente con maíz. Las estructuras de almacenamiento del tambo incaico de Catarpe, así como los restos allí encontrados (chañar, algarrobo, maíz, zapallo), permiten imaginar el carácter privilegiado de los campos de cultivo de Catarpe, los cuales “reciben la primera irrigación y así producen las primeras cosechas” (Lynch, 1977; Lynch y Núñez, 1994). Las áreas sembradas requieren de una gestión de las superficies cultivables que precisa del corte de especies arbóreas y arbustivas para conformar campos de cultivo y preparar las chacras. Si bien las especies cultivables y el ganado foráneo ingresaron tempranamente a Atacama La Alta, a partir de la Colonia (Hidalgo 1984), es durante el Periodo Boliviano hasta el siglo XX, que el paisaje

<sup>1</sup> La tendencia actual en los estudios climáticos del desierto de Atacama es realizar estudios locales y regionalizar mejor las fuentes de precipitación en la región, puesto que se ha detectado que existen variabilidades anuales históricas (Sarricolea et al., 2023). Estudios recientes sobre clima, precipitaciones y cambio climático para el desierto de Atacama señalan una disminución en la pluviometría en los últimos 50 años (Sarricolea et al., 2017). En ese sentido, el desierto marginal de altura no debe pensarse como un espacio homogéneo con un Holoceno tardío sin variaciones.

<sup>2</sup> La yareta (*Azorella compacta*) se encuentra en estado de vulnerabilidad, con un número reducido de ejemplares en lugares acotados de elevada altura, y fue una especie utilizada para alimentar los hornos metalúrgicos coloniales y republicanos (Calderón y Prieto, 2024).

del Valle de Catarpe debe ser considerado como un espacio domesticación agraria, en el cual "se cercaron y apotraron las chacras indígenas" (Carmona et al., 2021), siendo un eje clave en el circuito arriero que condicionó una activación de cultivos forrajeros para alimentar el ganado mular y bovino, en el eje San Pedro-Calama, principalmente en torno a la alfalfa (Sanhueza, 1992; Carmona et al., 2021; Araneda, 2017). En suma, se debe tomar en consideración la historia de la producción de leña, carbón y forraje, en las proyecciones que se realizan sobre la disponibilidad de las especies vegetales en el pasado.

### Consideraciones finales

El estudio integral de estructuras de combustión que hemos conducido en el sitio metalúrgico Catarpe Túnel plantea la importancia de contemplar un plan metodológico minucioso de registro y recuperación de estructuras de combustión dentro de la metodología general de las excavaciones arqueológicas, de manera que su estudio se aborde tanto desde la antracología, la carpología, como del análisis de los efectos de la exposición al fuego (rubefacción) que tuvieron tanto el sedimento que conforma el piso, como las rocas que componen las estructuras.

Pudimos constatar que la recuperación del Rasgo 1A a partir del embolsado completo para su posterior flotación, resultó ser el método óptimo para recuperar los elementos carpológicos que participaron en la ignición del fuego, que desde un tamizado en seco hubiésemos perdido. Este método no ocasiona alteraciones en el conjunto antracológico y permite también recuperar el universo total de material carbonizado presente en un rasgo de combustión. En segundo lugar, la recuperación en seco mediante el harneo con criba fina (no superior a 4 mm) es pertinente cuando nos enfrentamos a un depósito heterogéneo como el Rasgo 1B; sin embargo, pensamos pertinente incluir la toma de al menos una columna o muestra del sedimento que lo compone para la recuperación de materiales mediante flotación, y de este modo, obtener información complementaria para el proceso de interpretativo del rasgo de combustión. No obstante, cuando se aplica el tamizado en seco consideramos oportuna la recuperación del material antracológico respetando, en primer lugar, las unidades estratigráficas identificadas en el proceso de excavación, pero aumentado el control de acuerdo a niveles artificiales de poco espesor (5 cm), en los casos donde las capas estratigráficas superan dicha medida, con lo cual podremos registrar las posibles diferencias en la presencia, ausencia e intensidad de características como la vitrificación del carbón, como pudimos constatar en nuestro análisis, observamos relaciones entre los niveles de vitrificado y la ubicación (profundidad) del carbón. No obstante, el aumento de la muestra a analizar por niveles artificiales de recuperación es imperativo para

obtener resultados concluyentes respecto a este tipo de alteraciones.

Finalmente, destacamos que los estudios etnobotánicos son indispensables en la comprensión del uso de las especies que se identifican en un contexto arqueológico. Para la zona de estudio, si bien son numerosos los trabajos orientados a la comprensión de la flora desde la mirada local, resulta imprescindible incorporar a la documentación etnobotánica, la comprensión del uso de especies leñosas como combustible para la producción y uso del fuego tanto desde ámbitos domésticos como productivos.

San Pedro de Atacama, 05 febrero 2024

### Agradecimientos

En primer lugar, agradecemos a los dirigentes y comuneros de la Comunidad Indígena Atacameña de Catarpe. El sitio Catarpe Túnel se encuentra dentro del territorio de la Comunidad y es parte de los sitios patrimoniales que son resguardados por ella. Agradecemos especialmente a la Directiva 2022-2023 quienes hicieron posible este trabajo: Mirta Solís, Jimmy Cenzano, Alberto Coca y Eva Siases. Esta investigación fue financiada por el Proyecto ANID FONDECYT 1201603 "Paisajes mineros prehispánicos en el Desierto de Atacama: hacia un estudio del uso de los minerales de cobre y su vinculación con la producción de tecnologías rituales". Los trabajos fueron autorizados por el CMN mediante el ORD 5419 del 24.12.2019 y la salida de muestras al extranjero autorizadas según ingreso No7041 del 30.12.2020. Este trabajo es parte de la Memoria de Master 2 de DG, realizada bajo la dirección de Marianne Christensen y Michelle Elliott, en el Institut d'art et d'archéologie, de la Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, Francia. Los análisis antracológicos se realizaron en el Laboratorio de Arqueobotánica ArScan UMR 7041 y en la Plateforme MAPS Imagerie des patrimoines et spatialisation (UAR 3225 CNRS), de la MSH Mondes, Nanterre, Francia. Nuestro reconocimiento a M.E. Solari por su aporte en la elaboración de la colección de referencia. AC agradece el soporte de la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo (ANID) Programa de Becas de Doctorado Becas Chile 2018-21181195. Agradecemos a, los proyectos: al Proyecto IRP Mines Atacama SHS, y al ANID-MILENIO NCS2022\_009 y ECOS ANID C19H05.

### Referencias citadas

Araneda, Y. (2017). *Habitar un paisaje de movimiento. Arqueología de la ruta Catarpe-Calama en tiempos de las remesas, región de Antofagasta (1870-1940)*. Memoria para optar al título de Arqueólogo. Carrera de Arqueología, Departamento de Antropología, Facultad de Ciencias Sociales, Universidad de Chile.

- Buxó, R. (1997). *Arqueología de las Plantas. La explotación económica de las semillas y los frutos en el marco mediterráneo de la Península Ibérica*. Barcelona, España: Editorial Crítica Grijalbo Mondadori.
- Buxó, R., y Piqué, R. (2008). *Arqueobotánica. Los usos de las plantas en la península Ibérica* (1a edición). Barcelona, España: Ariel Prehistoria.
- Cabrera, G., Madriñan, S. y Muñoz, D. (2012). Caracterización del gas de síntesis obtenido a partir de algarrobo y bagazo de caña. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 10(1), 166-172.
- Carmona, J., Chiappe, C. M. y Gundermann, H. (2021). Para asociarse con gentes de razón: alfalfa y 'civilización' durante la habilitación del puerto boliviano de Cobija (Atacama, 1825-1860). *Historia Crítica*, 82, 29-5.
- Chabal, L., (1997). *Forêts et sociétés en Languedoc (Néolithique final, Antiquité tardive). L'anthracologie, méthode et paléoécologie*. Paris, Francia: Editions de la Maison des Sciences de l'Homme.
- Chabal, L. (2001). Les Potiers, le bois et la forêt à Sallèles d'Aude (I-IIe s. ap. J.-C.), 20 ans de recherches à Sallèles d'Aude: le Monde des potiers gallo-romains. Colloque 27-28 sept. 1996. *Annales Littéraires de l'Université de Besançon, Sallèles d'Aude*, 93-110.
- Cifuentes, A., Figueroa, V., Salazar, D. y Mille, B. (2018). Producción metalúrgica local y coexistencia de tecnologías metalúrgicas en San Pedro de Atacama durante el Período Medio (400-1.000 d.C.). *Chungara. Revista de Antropología chilena*, 50(3), 423-439.
- Cifuentes, A. (2023). *Tecnologías Metalúrgicas en Los Andes Centro Sur (1000 AC-1500 DC). Circulación, intercambio y valoración de los objetos de metal en la vertiente occidental de la Circumpuna de Atacama*. Tesis para optar al grado de Doctora en Antropología. Universidad Católica del Norte. Instituto de Investigaciones Arqueológicas y Museo R. P. Gustavo Le Paige S.J.
- Cifuentes, A., Figueroa, V., Sapiains, P., Mille, B., Grimberg, D., González, C., Echeñique, E., Thierry, B., Salazar, D., Berenguer, J. (2024). Wind furnaces of the Atacama Salt Flat, northern Chile: copper extractive metallurgy at the edge of Qhapaq Nan. *Latin American Antiquity*. Artículo Aceptado.
- CONAMA-CONAF. (1999). *Catastro y evaluación de recursos vegetacionales nativos de Chile. Informe regional Primera a Cuarta región. Proyecto CONAF-CONAMA-BIR*. Santiago, Chile: Universidad Austral de Chile y Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Cruz, P., Angiorama, C., Becerra, F., Braticevic, S. y Comunidad Aborigen Atacama de Cobres. (2021). La mina de Cobres (puna de Salta, Argentina) y la producción de metales en baja escala durante los periodos prehispánico y colonial. *Nuevo Mundo, Mundos Nuevos*, 1-22.
- Cruz, P., Lechtman, H. y Rivera-Casanovas, C. (2022). The Escaramayu Complex: A Prehispanic Metallurgical Establishment in the South Andean Altiplano (Escara, Potosí, Bolivia), Ninth to Fifteenth Centuries AD. *Latin American Antiquity*, 34(4), 764-782.
- Davis, L. (1993). *Weed seeds of the Great Plains. A handbook for Identification*. Kansas, Estados Unidos: University Press of Kansas.
- Di Castri, F. y Hajek, E. (1976). *Bioclimatología de Chile*. Santiago, Chile: Vicerrectoría Académica de la Universidad Católica de Chile.
- Dufraisse, C. (2004). *Charcoal anatomy potential, wood diameter and radial growth. Charcoal analysis: new analytical tools and methods for archaeology. Papers from the table-ronde held in Basel (October 2004)*, Basel, Switzerland, 47-61.
- Evans, J., Gasson, P. E., & Lewis, G. P. (2006). Wood Anatomy of the Mimosoideae (Leguminosae). *International Association of Wood Anatomists Journal Supplement*, 5, 117.
- Figueroa, V., Mille, B., Salazar, D., Berenguer, J., Menzies, A., Sapiains, P., Cifuentes, A. y Joly, D. (2018). A new major Prehispanic copper production center identified at Collahuasi, southern Tarapacá Altiplano (Chile). *Chungara. Revista de Antropología Chilena*, 50(4), 557-575.
- Figueroa, V., Montero, I. y Rovira, S. (2010). Estudio tecnológico de objetos de cobre procedentes de Cerro Turquesa (San José del Abra, II Región). *Actas del XVII Congreso Nacional de Arqueología Chilena, II*, (pp. 1135-1147).
- Figueroa, V., Salazar, D., Mille, B., y Manríquez, G. (2015). Metal use and production among coastal societies of the Atacama Desert. *Archaeometry*, 57, 687-703.
- Garrido, F. y Plaza, M.T. (2020). Provincial Inca metallurgy in northern Chile: New data for the Viña del Cerro

- smelting site. *Journal of Archaeological Science*, 33, 1-13.
- Greene, F. (2013). Árboles, cultura e identidades colectivas en San Pedro de Atacama. Memoria para optar al título profesional de Antropóloga Social. Departamento de Antropología, Escuela de Ciencias Sociales, Facultad de Ciencias Sociales, Universidad de Chile.
- Greig, J. (1989). *Handbooks for Archaeologist 4: Archaeobotany*. Strasbourg, France: Editorial European Science Foundation.
- González, L. (2010). Fuegos sagrados. El taller metalúrgico del sitio 15 de Rincón Chico (Catamarca, Argentina). *Boletín del Museo Chileno de Arte Precolombino*, 15(1), 47-62.
- Lechtman, H., Cruz, P., Macfarlane, A. y Carter, S. (2010). Procesamiento de metales durante el Horizonte Medio en el Altiplano Surandino (Escaramayu, Pulacayo, Potosí, Bolivia). *Boletín del Museo Chileno de Arte Precolombino*, 15(2), 9-27.
- Luebert, F., y Plissock, P. (2006). *Sinopsis bioclimática y vegetacional de Chile*. Santiago, Chile: Editorial Universitaria.
- Lynch, T. (1977). Tambo incaico Catarpe Este (informe de avance). *Estudios Atacameños*, 5, 145-150.
- Lynch, T., y Núñez, L. (1994). Nuevas evidencias incas entre Collahuasi y Río Frío (I y II Regiones del norte de Chile). *Estudios Atacameños*, 11, 145-164.
- Markgraf, V. (1987). Paleoclimates of the Southern Argentine Andes. *Current Research in the Pleistocene*, 4, 150-157.
- Martin, A. y Barkley, W. (2000). *Seed Identification Manual*. Estados Unidos: The Blackburn Press.
- McParland, L., Collinson, M., Scott, A., Campbell, G. y Veal, R. (2010). Is vitrification in charcoal a result of high temperature burning of wood? *Journal of Archaeological Science*, 37, 2679-2687.
- Ministerio del Medio Ambiente y Agua (MMyA). (2012). *LIBRO ROJO de la Flora Amenazada de Bolivia*. Vol. 1. Zona Andina. La Paz, Bolivia.
- Miksicek, C. (1987). Formation Processes of the Archaeobotanical Record. *Advances in Archaeological Method and Theory*, 10, 211-247.
- Moskal-del Hoyo M., Wachowiak, M. y Blanchette, R. (2010). Preservation of fungi in archaeological charcoal. *Journal of Archaeological Science*, 37(9), 2106-2116.
- Niemeyer, H., Cervellino, M. y Muñoz, E. (1983). Viña del Cerro, expresión metalúrgica inca en el valle de Copiapó. *Creces*, 4(4), 50-57.
- Rodríguez, L. (1981). *La Production Métallurgique dans les Sociétés Précolombines des Andes Meridionales*. Tesis Doctoral. École de Hautes Études en Sciences Sociales, Paris, Francia.
- Rodríguez, M. F. (2000). Woody plant species used during Archaic Period in the Southern Argentine Puna. Archaeobotany of Quebrada Seca 3. *Journal of Archaeological Science*, 27, 341-361.
- Paracca, I. y Cuello, A. (2014). Análisis de la oferta de energía derivada de la biomasa accesible en el noreste de la puna argentina. *Revista UD y la Geomática*, 47-56.
- Piqué i Huerta, R. (1999). *Producción y uso del combustible vegetal: Una evaluación arqueológica*. Barcelona, España: Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- Plaza, M. T., Garrido, F. y Larreina-García, D. (2023). A new piece of the puzzle: slag and ore analysis to reconstruct the prehispanic smelting technology at the Atacama Desert, Chile. *Heritage Science*, 11(171). <https://doi.org/10.1186/s40494-023-01017-z>
- Sanders, W. T., Parsons, J. R. y Santley, R. S. (1979). *The Basin of Mexico: Ecological Processes in the Evolution of a Civilization*. Nueva York, Estados Unidos: Academic Press.
- Salazar, D., Berenguer, J. y Vega, G. 2013. Paisajes minero-metalúrgicos incaicos en Atacama y el Altiplano Sur de Tarapacá (Norte de Chile). *Chungara, revista de Antropología Chilena*, 45(1), 83-103.
- Sanhueza, J. 1992. Tráfico caravanero y arriería colonial en el siglo XVI. *Estudios Atacameños*, 10, 173-187.
- Sapiains, P., Menzies, A., Figueroa, V., Wilke, H.G., Mille, B., Salazar, D., y Berenguer, J. (2020). Estudio arqueomineralógico de las menas de cobre prehispánicas en Collahuasi, norte de Chile. *Estudios Atacameños*, 66, 83-103.
- Spina, J. y Giovannetti, M. (2014). Metalurgia prehispánica en el valle de Hualfín. Nuevos datos sobre Quillay. *Intersecciones en Antropología*, 15, 473-477.
- Spina, J. (2018). *Arqueometalurgia Inka en el Noroeste*

- argentino. *Estudio del sitio Quillay (Catamarca) y abordaje tecno-estilístico de piezas de colección*. Tesis doctoral inédita. Facultad de Ciencias Naturales y Museo. Universidad Nacional de La Plata.
- Sarricolea, P., Meseguer Ruiz, O., y Romero-Aravena, H. (2017). Tendencias de la precipitación en el norte grande de Chile y su relación con las proyecciones de cambio climático. *Diálogo andino*, 54, 41-50.
- Sarricolea, P., Romero-Aravena, H., Serrano-Notivoli, R., Meseguer-Ruiz, O., Dubreuil, V., y Funatsu, B. M. (2023). Precipitation extremes in the Puna of Atacama Desert, Chile: How to manage current and future uncertainty? *Investigaciones Geográficas*, 79, 51-66.
- Solari, M. E. (2000). Antracología, Modo de Empleo: En torno a Paisajes, Maderas y Fogones. *Revista Austral de Ciencias Sociales*, 4, 167-174.
- Solari, M. E. y Lehnebach, C. (2006). Estudio de los macrorrestos vegetales de sitios arqueológicos: aportes y limitaciones a la discusión del uso del bosque templado en la región sur-austral de Chile. *Actas del XVII Congreso de Arqueología Chilena*, 2, 847-855.
- Tapia Alejo, C. (2022). Uso y beneficio de la thola (*Parastrephia lepidophylla*) en producción sostenible de ecosistemas de altura en Bolivia. *Revista de Investigación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 9(2), 63-75. DOI : 10.53287/caki9646fx83s
- Théry-Parisot, I. (2001). *Économie des combustibles au paléolithique : expérimentation, taphonomie, anthracologie*. Paris, Francia: CNRS Éditions
- Théry-Parisot, I., Henry, A., y Chrzasvez, J. (2016). Apport de l'expérimentation à la compréhension des pratiques sociétales en anthracologie : Gestion et utilisation du bois de feu dans les sociétés préhistoriques. *Cadernos do LEPAARQ (UFPEL)*, 13(25), 484-509.
- Tortorelli, L. (1956). *Maderas y Bosques Argentinos*. Buenos Aires, Argentina: ACME.
- Trouy, M. C. (2015). *Anatomie du bois. Formation, fonctions et identification* (1er éd.). Paris, Francia : Quae.
- Vidal-Matutano, P., Henry, A. y Théry-Parisot, I. (2017). Dead wood gathering among Neanderthal groups: Charcoal evidence from Abric del Pastor and El Salt (Eastern Iberia). *Journal of Archaeological Science* 80, 109-121.
- Villagrán, C., Castro, V., Sánchez, G., Romo, M., Latorre, C. e Hinojosa, L.F. (1998). La tradición surandina del desierto: Etnobotánica del área del Salar de Atacama (Provincia de El Loa, Región de Antofagasta, Chile. *Estudios Atacameños*, 16, 1-99.
- Villagrán, C., Romo, M. y Castro, V. (2003). Etnobotánica del sur de los Andes de la primera región de Chile: un enlace entre las culturas altiplánicas y las quebradas altas del Loa Superior. *Chungara, Revista de Antropología Chilena*, 35(1), 73-124.
- Villagrán, C. y Castro, V. (2004). *Ciencia Indígena de Los Andes del Norte de Chile*. Santiago, Chile: Editorial Universitaria.
- Watson, P.J. (1976). In pursuit of prehistory subsistence: a comparative account of contemporary flotation techniques. *Mid Continental Journal of Archaeology*, 1, 77-100.
- Wattez, J. (1988). Contribution à la connaissance des foyers préhistoriques par l'étude des cendres. *Bulletin de la Société préhistorique française* 85(10-12), 352-366.
- Wheeler, E. A., Bass, P., y Gasson, P. E. (1989). List of microscopic features for hardwood identification. *International Association of Wood Anatomists Bulletin*, 10(3), 219-332