



UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

**PAISAJES LÍTICOS Y SU CONTEXTO GEOLÓGICO PARA LA  
SECUENCIA CULTURAL DE LAS CUENCAS DE PEDERNALES, INFIELES  
Y MARICUNGA (25°-27°S), REGIÓN DE ATACAMA, CHILE**

TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGÍSTER EN CIENCIAS, MENCIÓN  
GEOLOGÍA

ANGÉLICA ISABEL SOTO RIVEROS

PROFESORA GUÍA:  
VALENTINA FLORES AQUEVEQUE

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:  
PATRICIO LÓPEZ MENDOZA  
PATRICIA LARREA MÁRQUEZ

Este trabajo ha sido financiado por Proyecto Fondecyt #1190197

SANTIAGO DE CHILE

2023

## **RESUMEN DE LA TESIS PARA OPTAR AL**

**GRADO DE:** Magíster en Ciencias, Mención Geología

**POR:** Angélica Isabel Soto Riveros

**FECHA:** 2023

**PROFESORA GUIA:** Valentina Flores-Aqueveque

### **PAISAJES LÍTICOS Y SU CONTEXTO GEOLÓGICO PARA LA SECUENCIA CULTURAL DE LAS CUENCAS DE PEDERNALES, INFIELES Y MARICUNGA (25°-27°S), REGIÓN DE ATACAMA, CHILE**

En los grupos cazadores-recolectores del Pleistoceno Tardío-Holoceno Temprano (12.500-10.000 años cal. AP) de la Puna Meridional del Desierto de Atacama (Región de Atacama, 26°-28°S) se evidencia el primer acercamiento del hombre con su entorno geológico, donde la colonización y dispersión humana temprana ocurre en torno a paleohumedales, lagos y vegas, microambientes productivos y dispersos en un contexto de aridez pronunciada (López et al., 2021a; Núñez et al., 2002).

La metodología utilizada consiste en el estudio macroscópico, petrográfico y geoquímico de materias primas líticas encontradas en fuentes primarias (afloramientos rocosos) y secundarias (depósitos fluviales, abanicos aluviales y depósitos coluviales), y su comparación con las materias primas recuperadas de los distintos contextos arqueológicos excavados durante el proyecto Fondecyt #1190197, con especial énfasis en los contextos datados para la transición Pleistoceno-Holoceno. Por otro lado, para muestras en las que, por su valor arqueológico, no es posible realizar estudios destructivos debido a que se encuentran protegidas por la Ley de Patrimonio 17.288, se llevan a cabo análisis de Fluorescencia de Rayos X (FRX), técnica que no afecta la integridad de las piezas. El conjunto de las diversas técnicas analíticas a utilizar permite discriminar entre materias primas líticas provenientes de afloramientos cercanos de aquellas de carácter alóctono. Lo anterior, permite entender el denominado paisaje lítico, es decir, los lugares donde los antiguos habitantes de los salares explotaron para la confección de artefactos de “piedra”, elementos clave para llevar a cabo distintas actividades cinegéticas y tecnológicas en general. Es por ello que el redescubrimiento de fuentes y en particular una cantera aledaña al sitio Infieles-1 de materias primas asociadas a los materiales arqueológicos recolectados en Pedernales-38 e Infieles-1 coincide con una primera fase de exploración esperable durante los primeros poblamientos humanos a inicios del Pleistoceno Tardío.

Este trabajo demuestra que un estudio más acabado con una mirada geo-arqueológica permite entender de mejor forma la distribución de grupos humanos y sirve a su vez para trazar posibles caminos de prospección arqueológica asociada a posibles rutas de los primeros exploradores-colonizadores en busca de materias primas. Adicionalmente permite plantear si existe la posibilidad de que tuvieran algún grado de conocimiento sobre las zonas más propicias para encontrar materias primas de su interés.

*Dedicado a Federico*

## Agradecimientos

En primer lugar agradezco a Valentina Flores-Aqueveque, profesora guía y al arqueólogo Patricio López Mendoza por haber confiado en mis capacidades y compromiso con este estudio en un momento complicado y en pandemia.

Al equipo de arqueólogos, antropólogos y toda la gente que participa en el proyecto Fondecyt #1190197. Aquellos arqueólogos que en terreno me enseñaron y me guiaron para poder integrar la arqueología con mis conocimientos de geología.

A la profesora Patricia Larrea por aceptar ser parte de la revisión de este estudio geo-arqueológico.

Además, reconozco todo el apoyo familiar y espacio que me fue proporcionado para dedicarlo a este estudio y su gran cantidad de muestras. Y en general a todas aquellas personas que aportaron a la entrega de esta tesis.



## Tabla de contenido

CAPÍTULO 1 .....	1
INTRODUCCIÓN .....	1
<b>1.1 Estructura de la tesis</b> .....	1
<b>1.2 Formulación del estudio propuesto</b> .....	1
<b>1.3 Ubicación Geográfica de la zona de estudio</b> .....	2
<b>1.4 Objetivos</b> .....	4
<b>1.4.1 Hipótesis de Trabajo</b> .....	4
<b>1.4.2 Objetivo General</b> .....	4
<b>1.4.3 Objetivos Específicos</b> .....	4
<b>1.5 Metodología</b> .....	5
CAPÍTULO 2 .....	10
PETROGRAFÍA Y PROCEDENCIA DE LAS MATERIAS PRIMAS USADAS EN MATERIALES ARQUEOLÓGICOS EN LA PUNA MERIDIONAL DEL DESIERTO DE ATACAMA (26-28°S, 3.200-4.500 MSNM) .....	10
<b>Resumen</b> .....	10
<b>2.1 Introducción</b> .....	10
<b>2.1.1 Antecedentes geológicos</b> .....	11
<b>2.1.2 Antecedentes regionales arqueológicos</b> .....	17
<b>2.1.3 Fuentes de materias primas y sitios arqueológicos considerados</b> .....	20
<b>2.2 Procedimiento analítico, materiales y métodos</b> .....	27
<b>2.3 Resultados</b> .....	27
<b>2.3.1 Características petrográficas de canteras y sitios</b> .....	27

<b>2.3.2 Análisis de composición elemental por FRX para materiales arqueológicos y su comparación con materias primas</b> .....	63
<b>2.4 Discusiones</b> .....	77
<b>Fuente y Petrografía de materias primas</b> .....	77
<b>Rocas silicificadas <i>versus</i> obsidiana</b> .....	79
<b>Paisaje lítico y su importancia</b> .....	80
<b>Poblamiento temprano y su relación con el uso de fuentes de materias primas</b> .....	81
<b>Estudios petrográficos como herramienta de identificación de fuentes de materias primas</b> .....	81
<b>2.5 Conclusiones</b> .....	83
<b>Bibliografía</b> .....	84
<b>ANEXOS</b> .....	92

Índice de figuras

Figura 1. Mapa de localización zona de estudio: franja Salar de Infieles-Salar de Pedernales-Salar de Maricunga, Región de Atacama, Chile.....	3
Figura 2. Ubicación de Materias primas en alrededor de los salares de Infieles, Pedernales y Maricunga.....	6
Figura 3. Modelo atómico para el método de Análisis de Fluorescencia de Rayos X tomado de Rebollo (2021) .....	9
Figura 4. A: Marco Geológico Región de Atacama, Chile. Franja Salar Infieles-Salar de Pedernales-Salar de Maricunga. Modificado de SERNAGEOMIN 2003, B: Mapa	

geológico esquemático cantera de sílice Infieles_1 (extracto carta Exploradora 2009), C: Mapa geológico esquemático fuente de Chert (extracto carta Laguna del Negro Francisco 2012) D: Mapa geológico esquemático fuente de obsidiana (extracto Geología de las áreas Nevado Ojos del Salado y Cerro El Fraile 2019).....	16
Figura 5. (a) Principales geoformas en el área de excavación, sitio Infieles-1, y (b) corte de sección del área excavada. Tomado de López et al. (2023b) .....	21
Figura 6. Mapas de sitios arqueológicos considerados; Infieles-1 y Pedernales-38 y fuentes de materias primas encontradas en terreno. ....	23
Figura 7: (a) Área de taller-cantera en el Salar de Infieles, (b) detalle de núcleos y lascas <i>in situ</i> , (c) detalle de nódulos de calcedonia (superior) y sílice (inferior). Tomado de López et al., (2023b) .....	24
Figura 8. (a) Emplazamiento de los sitios PE-1, PE-5, PE-22 y PE-38 detallando las principales geoformas (para el enfoque de este estudio sólo se considera PE-38 sitio temprano Pleistoceno tardío-Holoceno), y (b) corte de sección de la quebrada. Modificado de López et al., 2023a.....	25
Figura 9. (a) Vista satelital fuente de obsidiana, y (b) Fuente de obsidiana, nódulos de obsidiana.....	26
Figura 10. Fuente de sílice. Rocas con diferentes texturas. A: Chert con brechización producto de vetillas de óxido; B: Chert con brechización y erosión eólica; C; Chert con bandeamiento y; D: Chert de textura homogénea.....	26
Figura 11. Mapa de ubicación de materias primas silicificadas, en particular brechas (PE-01, PE-04) y variedades de Chert (PE-02, PE-21, PE-19 y PE-22) con sus artefactos arqueológicos asociados.....	32

Figura 12. Materias primas; brechas silicificadas (A: PE-01; y B: PE-04) y Punta de proyectil (C) recolectado de Pedernales-38-Nivel 11. ....	33
Figura 13. Cortes delgados a nícoles paralelos (NP) y nícoles cruzados (NX) correspondientes a las muestras PE-01 (A, B y C) y PE-04 (D). En la imagen A y B se muestran como fragmentos volcánicos (Lít. V.) han sido parcialmente silicificados en sus plagioclasas (Pl. Sil). En la imagen C y D se aprecia con claridad como el cemento de sílice varía en su tamaño de microcristalino hasta presentarse como chert, siendo en la muestra PE-01 más abundante el sílice microcristalino y en la muestra PE-04 el sílice criptocristalino. ....	34
Figura 14. Materia prima, chert (sílex) con líticos (imagen superior), y punta de proyectil-cuchillo, sitio Pedernales-38, recuperación superficial (imagen inferior) .....	35
Figura 15. Cortes delgados en nicoles paralelos (NP) y nicoles cruzados (NX) correspondiente a la muestra PE-02. En la imagen derecha se aprecia como los líticos se encuentran completamente silicificados (Lít. Sil. ).....	36
Figura 16. Materia prima, Chert (Sílex) gris amarillento con líticos (imagen superior) y Punta de Proyectil, sitio Pedernales-38, recuperación superficial (imagen inferior). .....	37
Figura 17. Cortes delgados a nícoles paralelos (NP) y nícoles cruzados (NX) correspondiente a la muestra PE-21. En la imagen A se observa tanto cuarzo (Qz) como anfíbol (Amp), esta última alterada con microperforaciones. Las imágenes B y D muestran como la matriz de sílice criptocristalino rodea los clastos alterados.....	38
Figura 18. Materia prima: Chert (Sílex) .....	39
Figura 19. Cortes delgados a nícoles paralelos (NP) y nícoles cruzados (NX) correspondiente a la muestra PE-19, cuarzo microcristalino.....	39

Figura 20. Materia prima, Chert (Sílex) gris oscuro (imagen superior) y Punta de proyectil, sitio Pedernales-38, recuperación superficial (imagen inferior).....	40
Figura 21. Cortes delgados a nícoles paralelos (NP) y nícoles cruzados (NX) correspondiente a la muestra PE-22. En las imágenes a NX se puede observar como la calcedonia rellena los poros; en la imagen B la calcedonia se observa con hábito radial y granulada, mientras que en la imagen D se observa como esferulitas. En ambas imágenes lo ennegrecido es producto de óxido de manganeso.....	41
Figura 22. Mapa de ubicación de Jaspe, en particular M-14, M-18, M-17, I-5 y M-21, y su artefacto arqueológico asociado.....	42
Figura 23: En la imagen superior se observan cinco variedades de jaspe. A: muestra M-14, B: muestra M-18, C: muestra M-17, D: muestra I-5, y E: muestra M-21. En la imagen inferior izquierda se observa un raspador del sitio Pedernales-38, recuperación superficial confeccionado por jaspe. Por último, en la imagen inferior derecha se pueden apreciar dos texturas en las que se pueden presentar los jaspe ya sea en bandeamiento (similar al agata) o en cúmulos de diversos colores, ambos con cristales de cuarzo. ....	43
Figura 24. Cortes delgados de las muestras M-14 (A y B), M-21 (C), M-17 (D), I-5 (E y F) y M-18 (G y H). En A y B se observan bioclastos; en particular A muestra los restos de un alga roja mientras que en B se observa cianobacterias del grupo Renalcis. En C se destaca la presencia de radiolarios (microfósiles silíceos). En D minerales con hábito esferulítico, presencia de hematita (Hem) y ópalo (Opl). En E y F se observan minerales de hematita (Hem) en cúmulo y en G resto de briozoos silicificados. Por último en H observa cristalización de cuarzo relleno de vetillas.....	45
Figura 25. Mapa de ubicación de Chert opalino (M-12, M-2, M-1 e I-1.) y Cuarcita (PE-14 y PE-17) y sus artefactos arqueológicos asociados.....	46

Figura 26. Muestras de manos (imagen superior) y texturas de cada muestra mano (imagen inferior). A: M-12, B: M-2, C: M-1 y D: I-1 .....	48
Figura 27. Cortes delgados de las muestras a nicoles paralelos (NP) y nicoles cruzados (NX): M-1 (A y B), M-2 (C y D), M-12 (E y F) y I-1 (G y H). En A y B se observa como las vetillas se encuentran rellenas por sílice (aparentemente) microcristalino; C y D presentan relleno de sílice y/u ópalo, en general la muestra se ve ennegrecida por óxidos de manganeso. E y F muestra una roca arcillosas con óxidos opacos formando franjas sinuosas, para G y H la roca se ve silicificada con presencia de óxidos.....	50
Figura 28. Materias primas; cuarcitas (A: PE-14; y B: PE-17) y Punta de proyectil, sitio Pedernales-38, recuperación superficial (C). .....	52
Figura 29. Cortes delgados a nicoles paralelos (NP) y nicoles cruzados (NX) correspondiente a la muestra PE-17. En la imagen izquierda se puede observar con claridad como la bioturbación forma una ‘línea’ recta que atraviesa el corte, mientras que en la imagen derecha a NX esta ‘línea’ se nota levemente debido a los colores de interferencia del cuarzo cristalino.....	53
Figura 30. Mapa de ubicación de Andesita (M-4), Tobas (M-19, PE-12 y PE-10), Obsidiana (M-5) y sus artefactos arqueológicos asociado. ....	54
Figura 31. Materia prima, andesita (imagen superior), y Punta de proyectil, sitio Pedernales-38, recuperación superficial (imagen inferior). ....	56
Figura 32. Cortes delgados a nicoles paralelos (NP) y nicoles cruzados (NX) correspondiente a las muestras M-4 (A y B) y PE-06 (C y D). La andesita de la muestra M-4 presenta anfíboles con bordes de opacíticos mientras que la andesita de la muestra PE-06 es más rico en clinopiroxenos. Ambas muestras presentan nódulos negros de magnetita más evidente en PE-06 (C) debido a su mayor tamaño. ....	57

Figura 33: Materia prima obsidiana (imagen superior), y desechos de talla de obsidiana (imagen inferior) .....	58
Figura 34: Corte delgado de obsidiana con textural fluidal nicoles paralelos (imagen izquierda), y nicoles cruzados (imagen derecha). .....	59
Figura 35: Materia prima, toba lítica. Muestras M-19, PE-12, PE-10 están representadas por A, B y C respectivamente (imagen superior) y puntas de proyectil confeccionadas con tobas, sitio Pedernales-38, recuperación superficial (imagen inferior). .....	60
Figura 36: Cortes delgados de las muestras a nicoles paralelos (NP) y nicoles cruzados (NX): PE-10 (A y B), PE-12 (C y D) y M-19 (E y F). En ellas se puede apreciar parte de la roca que aún conserva sus minerales sin silicificar (A y B), tobas altamente silicificadas, con formación de calcedonia (C y D), y rocas que sólo conservan relictos de sus minerales originales (E y F). .....	62
Figura 37. Diagrama multielemental resultados de FRX para materiales de chert (sílex). .....	66
Figura 38. Diagrama multielemental resultados de FRX para materiales confeccionados con jaspe. ....	68
Figura 39. Diagrama multielemental resultados de FRX para materiales confeccionados con cuarcita.....	70
Figura 40. Diagrama multielemental resultados de FRX para materiales de toba lítica silicificada .....	72
Figura 41. Diagrama multielemental resultados de FRX para materiales de andesita. ...	74
Figura 42. Diagrama multielemental resultados de FRX para materiales de chert (sílex) negro. ....	76

## Índice de tablas

Tabla 1. Base de datos, con su respectivo ejemplo .....	7
Tabla 2. Expectativas de materias primas en cada sector. Se señala el tipo de materia prima, la edad de la roca y la probabilidad de haber sido usada como fuente. ....	15
Tabla 3. Resumen de antecedentes arqueológicos para los salares de Infieles, Pedernales y Maricunga.....	19
Tabla 4. Dataciones realizadas dentro del marco del proyecto FONDECYT #1190197	21
Tabla 5. Materias primas de materiales arqueológicos identificadas en superficie y en las unidades 1 y 2 separadas considerando los niveles de excavación. Sitio Pedernales-38. ....	29
Tabla 6. Materias primas identificadas en superficie y en las unidades 1 y 2 separadas considerando los niveles de excavación. Sitio Infieles 1 .....	30
Tabla 7: Porcentajes de elementos según el mineral.....	64



# CAPÍTULO 1

## INTRODUCCIÓN

### 1.1 Estructura de la tesis

El presente trabajo se realiza con el siguiente formato; el **Capítulo 1** consiste en la contextualización del estudio, su ubicación, objetivos y la metodología que se emplea para alcanzar los objetivos planteados. Por otro lado, el **Capítulo 2** se muestra en formato de revista científica donde sus antecedentes, resultados, discusiones y conclusiones representan lo alcanzado en esta tesis.

### 1.2 Formulación del estudio propuesto

La Puna Meridional del Desierto de Atacama (Región de Atacama, 26°-28°S) y los valles transversales semiáridos se comienzan a colonizar desde fines del Pleistoceno (12.500 años cal. AP) cuando grupos cazadores-recolectores se asientan en ambientes lagunares interiores y costeros para la búsqueda de recursos sobre todo bióticos para la subsistencia (Castelleti, 2011).

En base a expectativas arqueológicas, es de esperar que en una primera fase de exploración durante los primeros poblamientos humanos hacia la transición Pleistoceno-Holoceno, el uso de fuentes de materias primas se relacione a aquellas que sean más ubicuas y de fácil acceso a lo largo del paisaje, y en lugares que son más fáciles de transitar y asentarse por la mayor disponibilidad de recursos bióticos (Borrero y Franco 1997; Franco, 2002). En una posterior fase de colonización y de mayor conocimiento del paisaje circundante, es esperable que la diversidad de materias primas líticas sea mayor, con fuentes primarias (afloramientos rocosos) y secundarias (depósitos fluviales, abanicos aluviales y depósitos coluviales) que pueden estar muy distantes a los asentamientos arqueológicos presentes en las cuencas (salares de Infieles, de Pedernales y de Maricunga) (Borrero y Franco 1997; Franco, 2002).

El presente estudio tiene como objetivo principal identificar fuentes de aprovisionamiento de materias primas líticas utilizadas a lo largo de toda la secuencia arqueológica reconocida para tres cuencas localizadas en las tierras altas de la actual Región de Atacama, a saber: Salar de Infieles, Salar de Pedernales y Salar de Maricunga (25°-27°S) y su comparación con las materias primas recuperadas de los distintos contextos arqueológicos excavados durante el proyecto Fondecyt #1190197: "Ocupaciones humanas y paisajes de altura. Marco paleoambiental y geoarqueológico durante el poblamiento humano inicial en La Puna Meridional del Desierto de Atacama (26-28°S, 3.200-4.500 msnm)" (investigador responsable Patricio López Mendoza), con especial énfasis en los contextos datados para el Pleistoceno Tardío y Holoceno Temprano.

Lo anterior, posibilitará comprender el denominado paisaje lítico (Gould y Saggars, 1985), es decir, los lugares que explotaron los antiguos habitantes de los salares para la

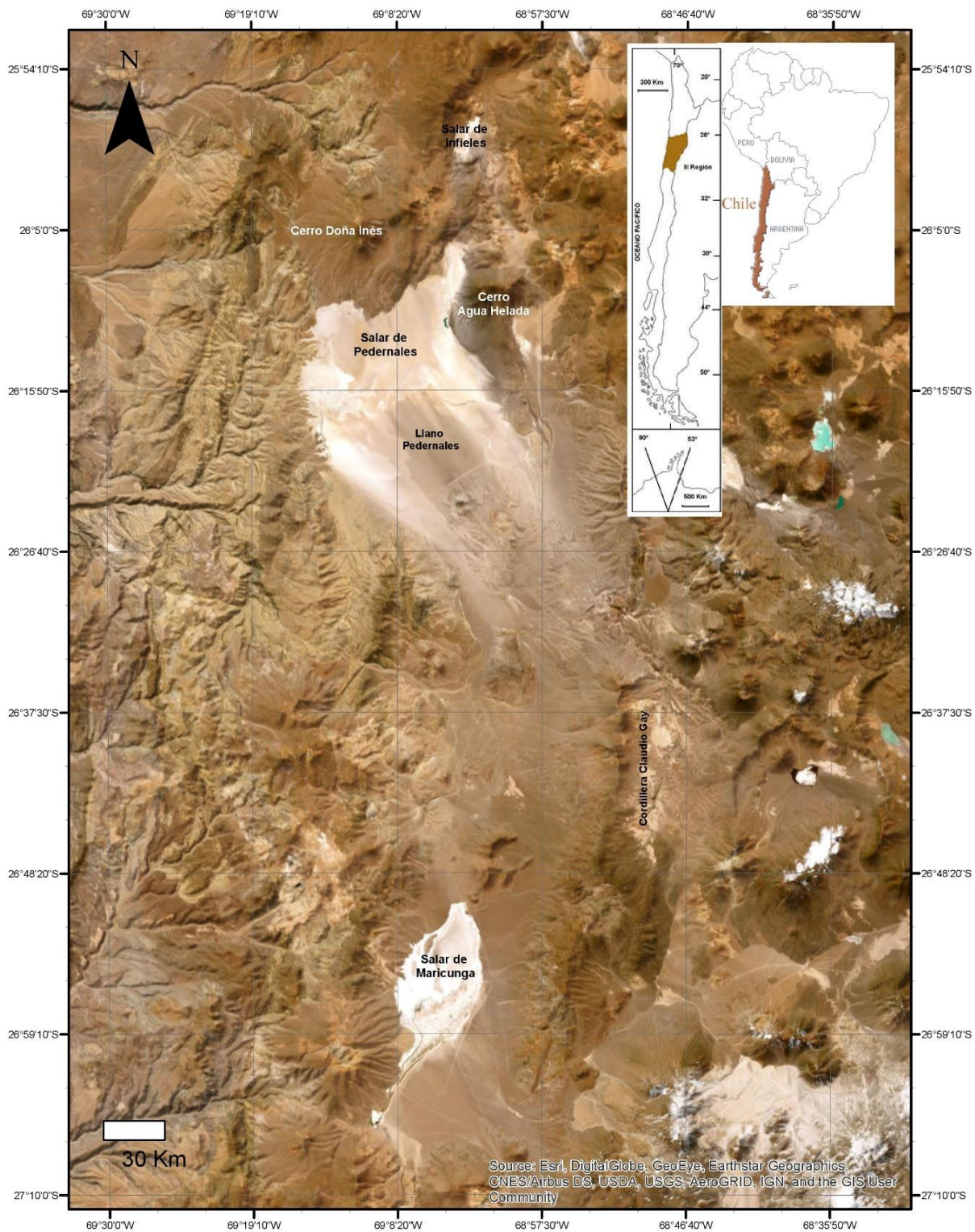
confección de artefactos de piedra, elementos clave para llevar a cabo distintas actividades cinegéticas y tecnológicas en general.

Esta tesis, por lo tanto, busca, a partir de la caracterización geológica del paisaje lítico, ser una herramienta útil a la hora de construir un trazador litológico que permita entender el comportamiento y distribución de los grupos humanos durante el poblamiento temprano y de toda la secuencia cultural holocénica de las cuencas de Infieles, de Pedernales y de Maricunga. A su vez, este trabajo busca fortalecer la denominada perspectiva Geoarqueológica, encargada del uso de métodos y técnicas de las geociencias para resolver un problema arqueológico (Renfrew 1976), que en el resto del mundo tiene un gran desarrollo hace décadas, pero que en Chile aún se encuentra en ciernes.

### **1.3 Ubicación Geográfica de la zona de estudio**

El área de estudio abarca tres cuencas diferenciadas por sus salares: Salar de Infieles, Salar de Pedernales y Salar de Maricunga (Figura 1). Salar de Infieles se ubica aproximadamente a 65 km al E de Diego de Almagro y a 332 km de Copiapó (Región de Atacama), con una altitud promedio de 3.520 msnm y una superficie de 6,7 km<sup>2</sup>, dentro de una superficie de cuenca de 293 km<sup>2</sup> (Figura 1). Por su parte, el Salar de Pedernales se ubica a 124 km al E de Diego de Almagro desarrollado al O de la Cordillera de Claudio Gay a unos 3.356 msnm (Figura 1). Este salar cubre un área de 335 km<sup>2</sup> y constituye el centro de una cuenca de 3.620 km<sup>2</sup> (López et al., 2021a). Por último, el Salar de Maricunga está localizado a 160 km al noroeste de Copiapó, a una altitud de 3.756 msnm, siendo el más austral de Chile. Su superficie aproximada alcanza los 146 km<sup>2</sup> y un tamaño de cuenca de 3.045 km<sup>2</sup> (Figura 1).

Para efectos de esta tesis se usará el término salar sólo para referirse al depósito salino y no a la cuenca que lo contiene.



**Figura 1. Mapa de localización zona de estudio: franja Salar de Infielos-Salar de Pedernales-Salar de Maricunga, Región de Atacama, Chile.**

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Hipótesis de Trabajo**

La geología ofreció una gran diversidad de recursos líticos que fue explotada por las sociedades humanas desde periodos tempranos, existiendo una explotación de recursos locales y en menor medida alóctonos.

### **1.4.2 Objetivo General**

Identificar fuentes de aprovisionamiento de materias primas líticas utilizadas a lo largo de toda la secuencia arqueológica que comprende tres cuencas localizadas en las tierras altas de la actual Región de Atacama: Salar de Inieles, Salar de Pedernales y Salar de Maricunga (25°-27°S).

### **1.4.3 Objetivos Específicos**

- Asociar litologías presentes en la zona de estudio como fuentes de materias primas para la construcción de artefactos arqueológicos recuperados durante el proyecto Fondecyt #1190197.
- Definir una tipificación litológica sobre la base de descripciones macroscópicas, petrográficas, caracterización geoquímica y análisis por Fluorescencia de Rayos X de materias primas líticas.
- Determinar la caracterización y disponibilidad de rocas que permiten entender tendencias tecnológicas y búsqueda de sitios arqueológicos en áreas inexploradas, para comprender el paisaje lítico asociado al ambiente geológico donde se asentaron los primeros grupos humanos de la Puna Meridional.

## 1.5 Metodología

A continuación se especifica la metodología llevada a cabo para abordar el objetivo de esta tesis.

En la etapa inicial del estudio, se realizó una campaña de terreno donde se llevó a cabo la recolección de muestras de materias primas líticas tales como obsidiana, chert (sílex), rocas volcánicas, y diversas rocas silicificadas (Figura 2), para luego proceder a una descripción macroscópica general de estas mismas. Posteriormente, se realizó el trabajo en gabinete, donde se apoya los datos obtenidos anteriormente con las descripciones macroscópicas más acabadas. Los criterios utilizados para determinar las variedades de materias primas son esencialmente el color según la carta de colores de Munsell Rock Color Book (2009), el tamaño relativo de los cristales (macrocristalino o criptocristalino), textura, brillo y grado de transparencia (relacionado con la diafanidad<sup>1</sup>) de las rocas. Además, se realizaron descripciones petrográficas al microscopio óptico de las muestras recolectadas para luego ser analizadas a través de Fluorescencia de Rayos-X (XRF) y Microscopio Electrónico de Barrido (SEM).

### Campañas de terreno

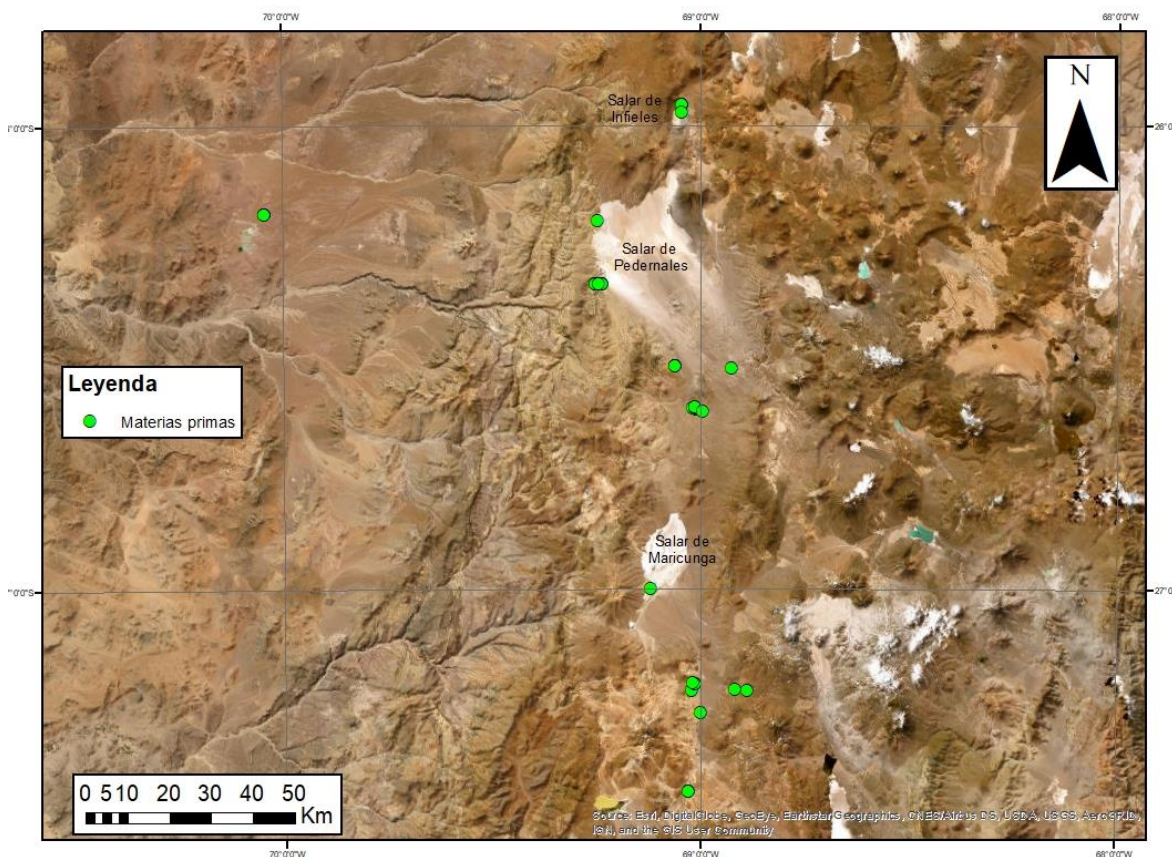
Las campañas de terreno se realizaron entre los años 2020 y 2022 en los salares de Infieles, Pedernales y Maricunga, donde en paralelo al trabajo realizado con arqueólogos, se llevó a cabo la recolección de materias primas asociadas a sitios o zonas arqueológicas. La campaña consistió no sólo en su recolección, sino también en el reconocimiento de su proveniencia, ya sea materia prima de fuentes primarias (afloramientos rocosos) o provenientes de afloramientos secundarios, es decir, depósitos principalmente de carácter aluvial, y coluvial, la mayoría originado por acumulaciones provocadas por la erosión de la roca y el posterior transporte de los materiales erosionados.

Se seleccionan en total 49 muestras de materias primas líticas (Figura 2) que a simple vista representan la gran mayoría de variedades litológicas presentes en la zona. Su contexto geológico y arqueológico permitirá esclarecer el tipo de conocimiento que tenían los grupos humanos, alcance y utilidad de cada tipo de materia prima .

---

<sup>1</sup> Propiedad de un material para dejar pasar la luz, las muestras de sílex se definen en relación a ello con términos que oscilan gradualmente desde la transparencia, la translucidez y la opacidad (Rey, 2013).





**Figura 2. Ubicación de Materias primas alrededor de los salares de Infielles, Pedernales y Maricunga.**

De cada uno de los fragmentos de roca se extrae una parte utilizada para la confección de cortes transparentes petrográficos. Los cortes transparentes y su respectiva muestra macroscópica se describen minuciosamente según las pautas señaladas a continuación:

#### Pauta para descripción petrográfica macroscópica

La primera etapa consistió en la asociación de las materias primas líticas con uno o varios artefactos arqueológicos. Una vez identificada la similitud entre ambos materiales en base a criterios como color, textura, magnetismo, grado de silicificación y tipo de fractura, se procedió a la descripción macroscópica de la muestra.

Para cada muestra se consideraron los datos expuesto en la Tabla 1, donde *Salar* se refiere a si pertenece al Salar de Pedernales, Salar de Infielles o Salar de Maricunga, *Área* indica el contexto geomorfológico donde fue recuperado (quebrada, río, etc.), además cuenta con sus respectivas coordenadas E-S y altitud (Anexo A).

Tabla 1. Base de datos, con su respectivo ejemplo

Código Final	Salar	Área	UTM E	UTM S	Altitud msnm
PE-1	Salar de Pedernales	Quebrada Pedernales	476511	7086227	3400

Para la descripción petrográfica macroscópica consideran los siguiente puntos:

1. Tipo de roca: sedimentaria, ígnea o metamórfica
2. Características generales: color, tamaño de cristales, textura, brillo y grado de transparencia (sólo para chert)
3. Identificación mineralógica en muestra de mano (el estudio exhaustivo se realiza en corte transparente)
4. Porosidad
5. Presencia de magnetismo
6. Tipo de fractura (concoidea, laminar, astillosa, etc.) si es que presenta

Debido a que en la literatura se puede encontrar el nombre de sílex, *chert* y pedernal para el mismo tipo de roca se procedió a la siguiente aclaración; por un lado tenemos el término pedernal perteneciente a la lengua castellana y de uso más tradicional. En el Diccionario de la Lengua Española (Real Academia Española 22<sup>a</sup>, 2001) se define como “Variedad de cuarzo, que se compone de sílice con muy pequeñas cantidades de agua y alúmina. Es compacto, de fractura concoidea, translúcido en los bordes, lustroso como la cera y por lo general de color gris amarillento más o menos oscuro. Derivado del latín *petrinus* ‘pétreo’. Mientras que el término sílex usado más comúnmente dentro de la arqueología en el mismo Diccionario de la Lengua Española (Real Academia Española 22<sup>a</sup>, 2001) se define como pedernal (II variedad de cuarzo). Sin embargo, en el mundo de la geología se suele usar el término inglés *chert* para referirse a una roca sedimentaria de grano fino compuesta por cuarzo microcristalino o criptocristalino. Es así que en esta tesis la cual tiene un enfoque geoarqueológico se decide usar el término *chert* (sílex) cuando esta roca sirve para la construcción de materiales arqueológicos, aunque se aclara que sílex es el equivalente español de *chert*.

Para la descripción microscópica se utiliza a su vez la siguiente pauta; sin embargo, un detalle más exhaustivo de cada corte se encuentra en la sección Anexos B.

#### Pauta para descripción petrográfica microscópica

La segunda etapa consiste en la descripción petrográfica de los cortes transparentes realizados a las 49 muestras de materias primas líticas, para lo que se ha utilizado como base la metodología propuesta por Rey (2013).

Cada corte incluye una descripción general de aquellas características que posee, luego se incluye una imagen del corte delgado a nícoles paralelos (N//) y nícoles cruzados (NX). Las materias primas que son en su mayoría silicificadas, pueden tener componentes síliceos y no síliceos, es por eso que considera las siguientes categorías:

- Material encajante: corresponde a la roca caja o protolito preexistente que ha sido reemplazado total o parcialmente por sílice.
- Texturas relictas: mineral o fósil que ha sido sustituido por sílice.
- Pseudomorfos: mineral que ha sido reemplazado parcialmente por sílice conservando su forma original.
- Otros componentes: incluye componentes como óxidos de hierro.

Respecto a los componentes síliceos se tiene:

- Megacuarzo: cristales de cuarzo de tamaño mayor a 500  $\mu\text{m}$  que normalmente se presentan en mosaico tapizando cavidades (*pore-filling*).
- Microcuarzo: cristales de cuarzo de tamaño menor o igual a 20  $\mu\text{m}$ .
- Calcedonia: variedad textural fibrosa de sílice donde sus cristales no se pueden individualizar y su morfología botroidal suele rellenar cavidades y/o fracturas.
- Ópalo: mineraloide de sílice que carece de estructura cristalina.

### Fluorescencia de Rayos-X (FRX)

El análisis de materias primas líticas, artefactos arqueológicos y lascas<sup>2</sup> se realizó a través de Espectrometría de Fluorescencia de Rayos-X (FRX). El método ha sido escogido por su capacidad de identificar elementos químicos sin la necesidad de alterar la muestra, lo que resulta indispensable cuando se trata de materiales con valor arqueológico. Para poder llevar a cabo el análisis de muestras en formato sólido es indispensable que la muestra tenga una superficie lisa, es decir, pulida de forma óptima en la zona donde se requiere hacer el análisis. Por otro lado, el tamaño de la zona a analizar debe ser de por lo menos 13 mm de largo (con un máximo de 5 cm, dependiendo de su porosidad).

La Espectrometría de FRX mediante dispersión de energía se realizó en el Laboratorio de Espectrometría de Fluorescencia de Rayos-X (EDX-XRF) del Departamento de Geología de la Universidad de Chile. Ésta consiste en analizar la radiación X característica generada por una muestra al ser irradiada con rayos-X emitidos desde un tubo de rayos X. La Fluorescencia de rayos-X utiliza la emisión secundaria o fluorescente de radiación X generada al excitar una muestra con una fuente de radiación X. La radiación X incidente o primaria expulsa electrones de capas interiores del átomo. Los electrones de capas más externas ocupan los lugares vacantes, y el exceso energético resultante de esta transición se disipa en forma de fotones, radiación X fluorescente o secundaria (Figura 3), con una longitud de onda característica que depende del gradiente energético entre los orbitales electrónicos implicados, y una intensidad directamente relacionada con la concentración del elemento en la muestra.

---

<sup>2</sup> Trozos pequeños, planos y delgados desprendidos de una roca al ser trabajada.



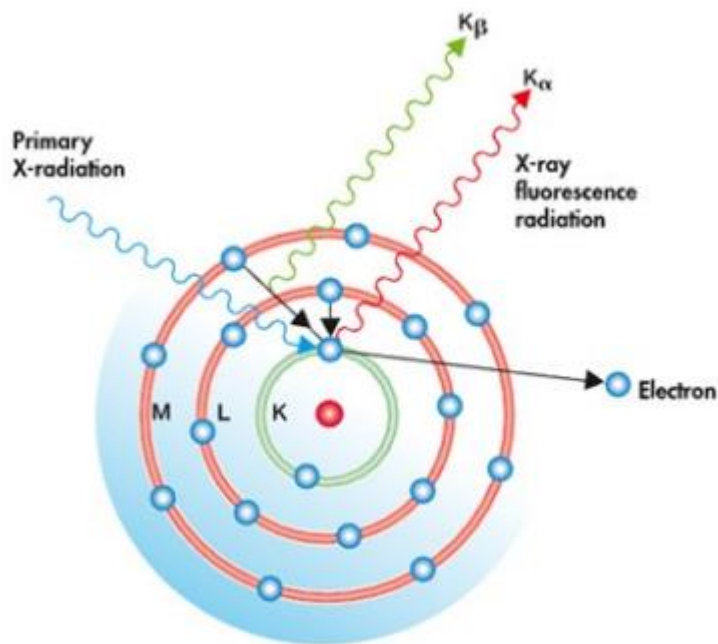


Figura 3. Modelo atómico para el método de Análisis de Fluorescencia de Rayos X tomado de Rebollo (2021)

La técnica permite el análisis químico de cualquier elemento entre el 11Na y 92U. Para ello se utilizó el equipo Shimadzu EDX-720 el cual permite identificar elementos químicos con concentraciones superiores a los 20-50 ppm (dependiendo del elemento y la muestra) ("Laboratorio de Espectrometría de Fluorescencia de Rayos-X (EDX-XRF) - Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas-Universidad de Chile", 2021).

### Microscopio Electrónico de Barrido (SEM)

El Microscopio Electrónico de Barrido (SEM, FEI Quanta 250) se utilizó como instrumento alternativo para determinar los elementos químicos de las muestras debido a problemas técnicos con el FRX. Sin embargo, el método posee otras aplicaciones como la obtención de imágenes de alta resolución y la capacidad de analizar características morfológicas, estructurales y químicas de las muestras. Su funcionamiento se basa en la incidencia de un haz de electrones sobre una muestra conductora. Este haz se enfoca en un punto en el que se lleva a cabo un barrido de la superficie. El resultado de la interacción es la emisión de diversas señales: electrones retrodispersados, electrones secundarios y rayos X, entre otros. Estas señales son captadas por detectores que las procesan, posteriormente se amplifican y se transforman en señales eléctricas que son codificadas como píxeles en un monitor (Lantes-Suárez et al., 2011). Los análisis se llevaron a cabo el Microscopio Electrónico de Barrido (SEM, FEI Quanta 250) disponible en el Laboratorio de Microscopía Electrónica y Microanálisis del Departamento de Geología de la Universidad de Chile.

De un total 35 muestras se analizaron 27 muestras arqueológicas por FRX (código XRF-Nº) y 8 muestras de materias primas por SEM (código corresponde al de la materia prima) (ver Anexo C).

## CAPÍTULO 2

# **PETROGRAFÍA Y PROCEDENCIA DE LAS MATERIAS PRIMAS USADAS EN MATERIALES ARQUEOLÓGICOS EN LA PUNA MERIDIONAL DEL DESIERTO DE ATACAMA (26-28°S, 3.200-4.500 MSNM)**

### **Resumen**

El estudio petrológico de las materias primas empleadas por los grupos cazadores recolectores resulta esencial a la hora de entender su distribución y procedencia en un entorno dado. Es por ello que definir el paisaje lítico asociado al ambiente geológico, resulta clave para entender tendencias tecnológicas y búsqueda de sitios arqueológicos en áreas inexploradas debido a la disponibilidad de rocas aptas para la talla. En este estudio se corrobora que las rocas usadas en la construcción de materiales arqueológicos provienen de rocas locales donde se asentaron los primeros grupos humanos de la Puna Meridional de Atacama asociada a dos sitios Infieles-1 y Pedernales-38, descubiertos en el marco del proyecto Fondecyt #1190197.

### **2.1 Introducción**

El presente estudio está enfocado en el análisis petrológico de los artefactos arqueológicos y materias primas usadas por poblaciones humanas prehispánicas en las tres cuencas localizadas en las tierras altas de Los Andes Centrales: Salar de Infieles, Salar de Pedernales y Salar de Maricunga (25°-27°S). Asimismo, se busca identificar la procedencia de materias primas líticas utilizadas para la confección de la diversidad de materiales arqueológicos encontrados. Esto se llevó a cabo mediante la caracterización geológica del paisaje lítico de la región. Para su realización se consideraron diversos factores tales como la composición mineralógica de las rocas seleccionadas para la confección de artefactos de piedra y la disponibilidad en la zona, es decir, si existen canteras abiertas en afloramientos donde se pudo haber extraído las materias primas y/o realizaban un proceso de recolección-selección de rocas en fuentes secundarias procedentes de las distintas formaciones geológicas como, por ejemplo, depósitos aluviales y/o coluviales.

Lo anterior, permitirá generar una caracterización del paisaje lítico, como herramienta útil a la hora de construir un trazador litológico que permita entender el comportamiento y distribución de los grupos humanos. Así mismo, esclarece como se llevaban a cabo distintas actividades cinegéticas y tecnológicas durante el poblamiento temprano, y de toda la secuencia cultural de las cuencas de Infieles, Pedernales y Maricunga.

## 2.1.1 Antecedentes geológicos

### Geología y base regional de recursos líticos en las cuencas de Pedernales, Infieles y Maricunga

En la puna meridional del desierto de Atacama (Los Andes Centrales, 25-28°S) se encuentran tres cuencas claves para la investigación arqueológica debido a sus propiedades litológicas, fuente de materias primas aptas para la confección de artefactos arqueológicos. Estas cuencas son representadas por: Salar de Infieles, Salar de Pedernales y Salar de Maricunga.

La Cuenca del Salar de Infieles se ubica entre las coordenadas 7.126.416 N y 495.102 E, al este de la Región de Atacama cerca de la frontera con Argentina (Figura 1). Esta cuenca tiene un tamaño de 293 km<sup>2</sup>, con un salar que bordea los 6,7 km<sup>2</sup> y una altitud promedio de 3.520 msnm. En el sector sur-oeste limita con el cerro Doña Inés (5.070 msnm.) y el Salar de Pedernales. El Salar de Pedernales de coordenadas 7.099.483N - 484.510E está desarrollado al oeste de la Cordillera de Claudio Gay y a unos 3.356 msnm, cubre un área de 335 km<sup>2</sup> y constituye el centro de una cuenca de 3.620 km<sup>2</sup> (López et al., 2021a), con lo cual corresponde al salar más grande de la Región de Atacama. Al sur del Salar de Pedernales se encuentra el Salar de Maricunga, siguiendo la línea del cerro de La Sal, cerro Vertientes y Pico Wheelwright. El Salar de Maricunga de coordenadas 7.021.187 N-491.753 E, abarca una superficie de 146 km<sup>2</sup> con una altitud de 3.756 msnm, siendo el más austral de Chile. El extremo sur del salar termina en la Laguna Santa Rosa con una extensión aproximada de 2 km por 1,2 km.

De manera general el Salar de Infieles (Figura 4a, zona superior) se encuentra rodeado de rocas volcánicas provenientes de erupciones ocurridas durante el Mioceno Inferior y Medio. El Mioceno Inferior se caracteriza por ignimbritas y bloques de avalanchas volcánicas. Para el Mioceno medio se tiene complejos volcánicos de composición desde andesítica-basáltica, y dacítica. Respecto al salar en sí, se compone de costras rugosas de sulfatos, cloruros y limos depositados durante el Mioceno Superior al Holoceno. Por último, los depósitos más jóvenes de edad Pleistoceno-Holoceno son de carácter aluvial y depósitos de travertinos (Cornejo et al., 2009).

En el Salar de Pedernales, debido a su extensión, existe una mayor variedad de litologías (Figura 4a, zona centro) compuestas por rocas sedimentarias, volcánicas y plutónicas. Las rocas más antiguas son sedimentarias de origen continental-lacustre formadas durante el Devónico al Carbonífero. Luego están las rocas del Pérmico correspondiente al Batolito Pedernales, sus rocas plutónicas abarcan dioritas, granodioritas, granitos, y pórfidos riolíticos. Le siguen lavas basálticas y riolíticas del Triásico Superior al Jurásico Inferior. En el Jurásico las rocas son sedimentarias-marinas pasando al Cretácico a sedimentarias-continentales. Luego hay un lapso de tiempo hasta el Mioceno en el que aparecen los complejos volcánicos mencionados anteriormente para el Salar de Infieles y otras secuencias de ignimbritas, además de gravas. Lo que respecta al salar en sí, se forma por depósitos salinos antiguos y más recientes. Los antiguos son del Mioceno Superior al Plioceno y corresponde a costras rugosas de sulfatos, yeso y clorurados, mientras que los más recientes del Cuaternario son costras de halita y niveles de limos yesíferos. En el borde oriental del salar existen bancos de arenas y limos cementados

por las sales. Por último, se pueden encontrar conos aluviales y depósitos coluviales del Cuaternario (Tomlinson et al., 1999).

Finalmente, en los alrededores del Salar de Maricunga existen todo tipo de rocas (Figura 4a zona inferior), es decir, metamórficas, ígneas (plutónicas y volcánicas) y sedimentarias. Las rocas más antiguas son del Paleozoico, donde encontramos rocas metamórficas como metareniscas y filitas, también existen pórfidos y brechas riolíticas y tobas soldadas. Para el Jurásico Inferior al Cretácico Inferior tenemos pórfidos granodioríticos y monzograníticos mientras que para el Cretácico Superior por un lado se tiene rocas volcánicas como tobas dacíticas, traquiandesíticas y andesitas basálticas, y brechas volcánicas y, por el otro, rocas plutónicas como monzogabros y monzodioritas. Para el Oligoceno a Mioceno Inferior los sistemas volcánicos están representados por tobas riódacíticas, domos dacíticos, lavas daciandesíticas-andesíticas y flujos piroclásticos. Prosiguiendo en el tiempo al igual que en el resto de los salares mencionados la mayoría de las rocas que afloran son del Mioceno, originado de diversos aparatos volcánicos. Se tiene domos extrusivos dacíticos, coladas de lavas andesíticas, ignimbritas, avalanchas gravitacionales, flujos piroclásticos, entre otros. En este periodo, específicamente Mioceno Superior al Plioceno se comienza a formar el Salar de Maricunga cuyos depósitos salinos contienen costras sulfatadas de yeso y halita, y costras boratadas que afloran en la zona suroriental del salar, levantadas entre 1 y 2 m sobre el nivel de las lagunas salobres y costras de cloruros del sector occidental. También existen depósitos salinos más recientes o activos en la zona noroccidental del salar, separados de la zona alzada y deformada de las costras antiguas. Los depósitos salinos más recientes se constituyen por costras de halita en bloques, costras planas y en láminas, donde estas sales en conjunto a limos salinos cubren el 65% de la superficie del salar. En el margen suroriental del salar conos aluviales antiguos (Mioceno Superior-Plioceno) progradan sobre las costras antiguas del salar. Por último, se tienen gravas, arenas y limos provenientes de depósitos aluviales y coluviales del Pleistoceno al Holoceno (Mpodozis et al., 2012; Cornejo et al., 1998)

Como se ha mencionado anteriormente existen una variedad de rocas en el área prospectada, pero para los alcances de este estudio se va a profundizar más en las formaciones o rocas que podrían ser potencial o potenciales fuentes de materias primas, incluyendo algunas que no se localizan de manera adyacente a los salares. Las formaciones geológicas de particular interés que se encuentran en el sector corresponden a (Figura 4, Tabla 2):

#### **Formación Chinchas** (Devónico-Carbonífero?) (Mercado, 1982)

Alternancia de metareniscas macizas, de grano medio a fino y filitas micáceas (Figura 4A; rectángulo central franja Maricunga). Para interés de este estudio en Quebrada Teterita al norte del prospecto Esperanza, la formación presenta niveles de metareniscas gruesas y metaconglomerados con clastos de ortogneises, muscovíticos, esquistos y cuarcitas.

#### **Formación Quebrada del Salitre** (Triásico Medio?-Sinemuriano) (Cornejo et al., 1993, emend. de Naranjo y Puig, 1984)

Formación volcánica-sedimentaria, marina y continental (Figura 4A; rectángulo franja Infieles). La formación se divide en dos niveles estratigráficos que reflejan etapas sucesivas en la evolución de un sistema tectónico extensional. (1) El nivel inferior, volcánico-sedimentario, está compuesto por siete asociaciones de *facies*. Cerca de la base incluye volcanitas y rocas piroclásticas ácidas, en parte submarinas, mientras que hacia el techo predominan las coladas de basaltos con intercalaciones de rocas sedimentarias clásticas continentales. (2) El nivel superior, sedimentario marino, se divide en tres asociaciones de *facies* sedimentarias marinas; incluye potentes secuencias de areniscas cuarcíferas y arcósicas y algunos niveles de calizas acumulados en ambiente marino somero

Respecto al nivel inferior (1) es de interés para este estudio las *facies*:

- Conglomerados rojizo (a): afloran en la quebrada La Perra, en contacto tectónico (despegue subhorizontal) sobre granitoides pérmicos. Los conglomerados están formados por fragmentos de riolitas rojas y grises, cuarcitas, esquistos y rodados de cuarzo lechoso de origen metamórfico, contenidos en una matriz cuarzo-feldespática roja con cemento hematítico-silíceo.
- Brechas hialoclásticas riolíticas (c): afloran en la quebrada La Encantada y su importancia radica en la presencia de delgadas intercalaciones (20-50 cm de espesor) de areniscas tufáceas blancas y cherts, compuesto de sílice opalina y arcilla entre las brechas.

Para el nivel superior (2) la *facies* relevante corresponde a:

- Areniscas cuarzo-feldespáticas (a) Afloran al este de sierra Doña Inés Chica, entre las quebradas La Encantada y Los Burros, donde se disponen en forma concordante sobre los basaltos del nivel inferior y forman una monótona sección de más de 300 m de espesor de areniscas cuarcíferas pardo-amarillentas y, en menor proporción, conglomerados con intercalaciones delgadas de calizas fosilíferas marinas, algunas coladas y numerosos 'sills' basálticos. La secuencia arenosa está formada principalmente por cuarcitas y felsarenitas líticas de grano medio, con granos subredondeados de cuarzo y feldespato, alterados a caolinita y sericita, junto a fragmentos líticos basálticos y riolíticos, afaníticos y fluidales. La matriz contiene muscovita y biotita detrítica derivada, probablemente, de los granitoides paleozoicos.

**Estratos Quebrada Los Patos** (Eoceno Superior-Oligoceno Superior) (Gardeweg et al., 1997; Naranjo et al., 2019)

Unidad definida informalmente por Gardeweg et al. (1997) como una secuencia sedimentaria clástica continental, constituida por conglomerados y areniscas, para luego ser redefinida por Naranjo et al. (2019) como una secuencia sedimentaria compuesta por una sección inferior clástica de conglomerados y areniscas color rojo parduzco y por una sección superior constituida por rocas sedimentarias bioquímicas tales como calizas, *chert* (color pardo oscuro y gris) y evaporíticas (yeso). Esta última secuencia está expuesta en la quebrada Los Patos, al norte del Cordón Toro Muerto, en el río Lajitas, y

en pequeños afloramientos al norte del volcán Los Portezuelos (Figura 4A; rectángulo sur franja Maricunga).

#### **Domos de La Coipa (25-21 Ma) (Cornejo et al., 1998)**

Complejo de domos múltiples y productos piroclásticos asociados, afectados por alteración hidrotermal, que hospedan la mineralización epitermal de plata y oro del distrito de La Coipa (Figura 4A; rectángulo norte franja Maricunga). Dentro del área de interés los complejos volcánicos de la unidad inferior (1) compuesta por tobas riódacíticas finas presentan alteración hidrotermal argílica y argílica avanzada (caolinita, alunita, dickita, sílice microcristalina y ópalo) de colores blanco y amarillo incluyendo niveles silicificados (“vuggy-silica”) asociado a brechas freáticas.

#### **Complejo de domos, cuerpos hipabisales y depósitos piroclásticos (Oligoceno-Mioceno; ca. 23-21 Ma) (Mpodozis et al., 2012)**

La unidad se divide en dos miembros a y b: (a) formado por domos e intrusivos hipabisales de composición dacítica y andesítica de pequeño diámetro (< 1,5 k), además presenta mineralización aurífera. El miembro (b) consiste en depósitos de brechas de explosión, flujos piroclásticos y extensos depósitos piroclásticos de caída plinianos, de composición dacítica. Se destaca para este estudio este miembro debido a que presenta una intensa y generalizada alteración hidrotermal (Figura 4C).

#### **Complejo de Ignimbritas Domeyko (Mioceno Inferior-Mioceno Medio, 20-15 Ma) (Cornejo et al., 2006)**

El complejo de ignimbritas corresponde a depósitos de flujos piroclásticos fuertemente soldados, con texturas reomórficas, intercalaciones vitrofíricas y fiammes extremadamente aplastadas y estiradas. Composicionalmente corresponden a tobas dacíticas y daciandesíticas, en las cuales predomina la hiperstena sobre los fenocristales de clinopiroxeno y se encuentra solo en forma subordinada, anfíbola oxidada y trazas de biotita (Figura 4B).

#### **Volcanes del Mioceno Superior-Plioceno Inferior (ca. 7,7-4,0 Ma) (Naranjo et al., 2019) (Unidad informal)**

Unidad informal que comprende estratovolcanes mediana a escasamente erosionados y coladas de lavas asociadas que, en general, se encuentran bien preservadas (Figura 4D). La composición de las rocas de esta unidad es predominantemente dacítica y, de manera subordinada, andesítica, andesítica basáltica, y riolítica. Existen también algunos depósitos de avalancha volcánica, de corrientes piroclásticas densas, de bloques y ceniza y de caída, así como lavas de obsidiana (75% en peso SiO<sub>2</sub>). Las lavas de obsidiana afloran en capas subhorizontales en el volcán Cerro Manchado, sobre el escarpe norte de caldera Lajitas, son de color negro, con textura fluidal y franjas blancas de alta vesicularidad, con bajo contenido de cristales de plagioclasa, cuarzo y biotita, en masa fundamental vítrea.

Dentro de las formaciones mencionadas, se pueden clasificar según su probabilidad de ser una potencial fuente de materia prima. Para aquellas formaciones donde se encontró efectivamente en terreno materias primas semejantes a artefactos arqueológicos se mencionan en la Tabla 2 como Muy probable, para aquellas formaciones que según la descripción de la carta geológica resumida recientemente se encuentra materia prima y además es de fácil accesibilidad se clasifican como Probable, por último, para aquellas formaciones que también presenta materia prima, pero la zona exacta de la formaciones donde se encuentra la materia prima no se especifica y además no se encuentra cercana a los sitios arqueológicos se menciona como zona relativamente probable.

**Tabla 2. Expectativas de materias primas en cada sector. Se señala el tipo de materia prima, la edad de la roca y la probabilidad de haber sido usada como fuente.**

Sector	Fuentes/Área	Materia prima	Unidad geológica	Probabilidad	Edad	Referencias
Infieles	Exploradora e Potrerillos	Cuarcitas Cuarzo Cherts (sílice opalino y arcilla)	Fm. Quebrada del Salitre	Relativamente probable (Área demasiado amplia)	Triásico Medio?- Sinemuriano	Cornejo et al., 1993, emend. de Naranjo y Puig, 1984
Maricunga	Maricunga	Sílicificación de tobas	Domos de La Coipa	Relativamente probable a probable (zona cercana al salar)	25-21 Ma	Cornejo et al., 1998
Maricunga	Norte prospecto Esperanza	Cuarcitas	Fm. Chinchos	Probable	Devónico-Carbonífero?	Mercado, 1982
Laguna del Negro Francisco	Pampa Pantanillo	Sílicificación por alteración hidrotermal	Complejo de domos, cuerpos hipabisales y depósitos piroclásticos	Muy probable	Oligoceno-Mioceno; ca. 23-21 Ma	Mpodozis et a., 2012
Infieles	Salar de Infieles	Intercalaciones vitrofíricas	Complejo de Ignimbritas Domeyko	Muy probable (Cantera)	Mioceno Inferior-Mioceno Medio, 20-15 Ma	Cornejo et al., 2006
Nevado Ojos del Salado	Cerro Manchado	Obsidiana	Volcanes del Mioceno Superior-Plioceno Inferior	Muy probable	7,7-4,0 Ma	Naranjo et al., 2019
Nevado Ojos del Salado	Quebrada Los Patos	Chert	Estratos Quebrada Los Patos	Relativamente probable (2 zonas muy amplias)	Eoceno Superior-Oligoceno Superior	Gardeweg et al., 1997; Naranjo et al., 2019



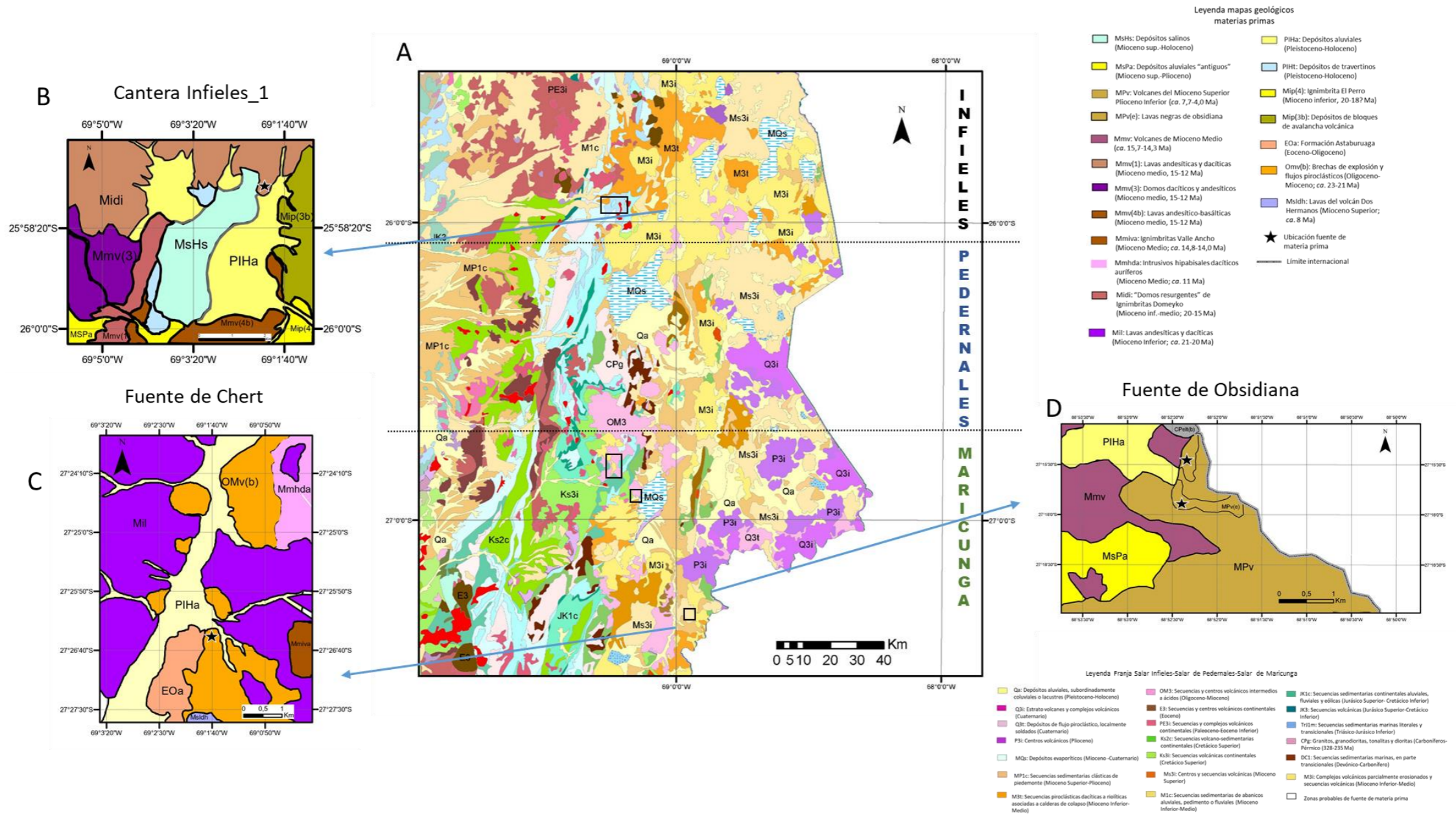


Figura 4. A: Marco Geológico Región de Atacama, Chile. Franja Salar Inieles-Salar de Pedernales-Salar de Maricunga. Modificado de SERNAGEOMIN 2003, B: Mapa geológico esquemático cantera de sílice Inieles\_1 (extracto carta Exploradora 2009), C: Mapa geológico esquemático fuente de Chert (extracto carta Laguna del Negro Francisco 2012) D: Mapa geológico esquemático fuente de obsidiana (extracto Geología de las áreas Nevado Ojos del Salado y Cerro El Fraile 2019).



## 2.1.2 Antecedentes regionales arqueológicos

### Secuencia ocupacional regional para la transición Pleistoceno-Holoceno

Las efímeras evidencias de un registro arqueológico de ocupaciones pre-11.500 años AP, se explica por las actuales condiciones de extrema aridez, lo que supuso un territorio poco atractivo para las poblaciones de la transición Pleistoceno-Holoceno (Santoro et al., 2011). Pese a esto, actualmente se considera que posterior al Último Máximo Glacial (UMG) el Norte Árido presentó condiciones ambientales que favorecieron el poblamiento temprano (Quade et al., 2008; Latorre et al., 2013)). La existencia de un evento de cambio ambiental conocido como *Central Andean Pluvial Event* (CAPE) el cual desencadenó un incremento sostenido de los regímenes de lluvia de verano y la recarga de acuíferos en el flanco oeste de los Andes (Placzek et al., 2009; Latorre et al., 2013) permitió en las cuencas precordilleranas del Desierto de Atacama (2.000-3.500 msnm) la formación de microambientes (lagos, paleohumedales y vegas) ricos en recursos vegetales, faunísticos y minerales, disponible por un lapso temporal discreto (12.700-9.700 años cal. AP) (Grosjean y Núñez 1994; Geyh et al., 1999; Grosjean et al., 2001; Núñez et al., 2002; Haselton et al., 2002; Quade et al., 2008; Latorre et al., 2013).

En efecto, de acuerdo a diversos autores el Salar de Punta Negra e Imalac, antiguos paleohumedales pleistocénicos ubicados en el segmento meridional de la precordillera de Atacama, presenta evidencias de ocupaciones humanas tempranas, donde se han registrado más de 40 sitios a cielo abierto, fechados entre 12.600 y 9000 años cal. AP (Lynch 1986, 1990; Grosjean et al., 2005; Cartajena et al., 2014; Sierralta 2018). SPN1 y SPN2 son dos contextos arqueológicos ubicados en el margen noreste del Salar de Punta Negra (24,5° S, 3.000 msnm), que marcan una de las ocupaciones humanas más tempranas en la puna del Desierto de Atacama meridional (12.600-10.200 años cal. AP) (Grosjean et al., 2005; Loyola et al., 2017). A lo mencionado se suma el Salar de Imalac (11.700 años cal. AP), y el margen sur del Salar de Punta Negra, próximo a la desembocadura del río Frío (11.000 años cal. AP) (Cartajena et al., 2014). Las evidencias incluyen las primeras puntas de proyectil tipo *Fell* (cola de pescado) del desierto de Atacama, elementos característicos del Período Paleoindio (Loyola et al., 2017; Flegenheimer 2003; Politis 1991; Núñez et al., 2001; Suárez 2003, 2010). Por otro lado, en el núcleo hiperárido del desierto de Atacama Norte se encuentra el sitio Quebrada Maní 12 (QM12), ocupado durante la segunda fase del CAPE (Santoro et al., 2011; Ugalde et al., 2012; Latorre et al., 2013), el cual se ubica sobre remanentes erosivos de una terraza aluvial del Mioceno tardío con una llanura de inundación que estuvo activa, cubierta de vegetación y condiciones pantanosas estacionales al norte y sur del sitio, el cual corresponde al sitio más temprano del Norte Grande de Chile (12.710-12.870 años cal. AP) (Latorre et al., 2013). Por último dentro del proyecto Fondecyt #1190197 estudio más reciente a la fecha, reconoce otro sitio emplazado en el Salar de Infieles, el cual corresponde al sitio Infieles-1, donde se atestiguaron pisos ocupacionales datados entre los 10.798 a 12.443 años cal. AP (López et al., (2023b).

Las evidencias señaladas sirven como base para pensar que en otros sitios de la Puna Meridional del Desierto de Atacama también se puede encontrar registros de los primeros hombres que habitaron durante el Pleistoceno Tardío al Holoceno Temprano.

## Secuencia arqueológica de los salares de Infieles, Pedernales y Maricunga

Los datos arqueológicos que existían para el Salar de Infieles eran bastantes escasos (Tabla 3). Sólo constaba un reporte de Latcham (1938) donde describe pinturas rupestres ubicadas en una extensa pared de ignimbrita que luego son detalladas por Cervellino (1982). Sin embargo, estudios recientes (López et al., 2021a) registraron 42 sitios arqueológicos alrededor de la cuenca, de los cuales 18 fueron asignados a momentos prehispánicos, 1 a tiempos históricos y prehispánicos, 4 a momentos históricos y 19 de períodos indeterminados. A esto se suma las actuales dataciones de 11.889-12.443 años cal AP que reflejan las ocupaciones más tempranas datadas en la Puna Meridional y uno de los registros más antiguos en las tierras altas andinas. Las evidencias se relacionan a un campamento en donde se realizaron actividades de talla terminal de las cadenas operativas líticas en conjunto a otras actividades de subsistencia como el procesamiento principalmente de vicuñas y el uso de pigmento mineral rojo (López et al., 2022).

Para el Salar de Pedernales los datos arqueológicos (tabla 3) corresponden a reportes de estudios de impacto ambiental de diversos hallazgos prehispánicos e históricos (Castelleti, 2011; Olivares et al., 2013). Además, se han reportado 22 evidencias arqueológicas, que van desde eventos de talla hasta un camino de posible origen incaico (González y Castells 2007). No obstante, los datos más recientes señalan que en la quebrada de Pedernales y sobre un lecho de depósitos fluviales del Cuaternario, se congregan múltiples sitios arqueológicos con evidencias superficiales, principalmente dispersiones de desechos líticos y fragmentos de cerámica (López et al., 2021a). Los sitios excavados a la fecha son Pedernales-38 y Pedernales-1. Pedernales-38 cuenta con una densa dispersión de evidencias líticas superficiales mientras que Pedernales-1 corresponde a un pequeño alero localizado en un afloramiento de ignimbrita el cual presenta eventos ligados al consumo de vicuñas, la recolección de huevos, junto a evidencias líticas no formatizadas, sus fechas van de los 2.705-2.357 a 634-539 años cal AP (López et al., 2021a, 2021b). Las evidencias arqueológicas de Quebrada Pedernales indican una ocupación basal de 10.158-9.733 años cal AP.

Por último, el Salar de Maricunga también cuenta con reportes arqueológicos-ambientales (Tabla 3). Niemeyer (1968) describe la existencia de un sitio de cazadores recolectores en la Quebrada Villalobos, situada entre las minas Marte y Lobo. Así mismo, Hermosilla (1997) detectó 10 sitios arqueológicos, mayoritariamente, estructuras pircadas y corrales, en las quebradas Villalobos, Las Lajitas y Los Patos. Finalmente, el informe preliminar de prospección Maricunga-Negro Francisco registra 101 sitios y/o hallazgos aislados, de los cuales 63 corresponden a ocupaciones prehispánicas, 27 presentan una cronología indeterminada, y 11 poseen ocupaciones netamente históricas. Los sitios prehispánicos corresponden en su mayoría a eventos con una alta presencia de obsidiana cuya asignación cronológica aún no ha sido esclarecida. De cualquier forma, en los sitios registrados existe una baja frecuencia de eventos tempranos; sólo 1 posee evidencias afines a Tuina<sup>3</sup> como puntas triangulares apedunculadas asociada a eventos tempranos.

---

<sup>3</sup>Tuina, Fase característica del norte de Chile entre 11.000 a 9000 años cal AP. Las puntas tuinas corresponden a puntas triangulares de base recta o redonda (ver Núñez y Santoro 1988)

Se resalta que en momentos históricos la comunidad Colla, aún vigente, ha dejado sus vestigios alrededor de las cuencas Infieles y Pedernales a partir de diversas estancias, y la explotación minera a baja escala (Molina, 2014).

**Tabla 3. Resumen de antecedentes arqueológicos para los salares de Infieles, Pedernales y Maricunga.**

Salar de Infieles	Salar de Pedernales	Salar de Maricunga
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pinturas rupestres ubicadas en pared de ignimbrita (Latcham, 1938; Cervellino, 1982)</li> <li>• Dataciones de 11.889-12.443 años cal AP ocupaciones más tempranas datadas en la Puna Meridional y uno de los registros más antiguos en las tierras altas andinas (López et al., 2022)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reportes de estudios de impacto paleoambiental, hallazgos prehispánicos e históricos (Castelleti, 2011; Olivares et al., 2013)</li> <li>• 22 evidencias arqueológicas (González y Castells 2007): eventos de talla y posible camino de origen incaico</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sitio de cazadores.- recolectores en Quebrada Villalobos (Niemeyer 1968)</li> <li>• 10 sitios arqueológicos (estructuras pircadas y corrales) quebradas Villalobos, Las Lajitas y Los Patos.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 42 sitios arqueológicos (López et al., 2021a):               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 18 prehispánicos</li> <li>- 1 histórico y prehispánico                   <ul style="list-style-type: none"> <li>- 4 históricos</li> </ul> </li> <li>- 19 Indeterminados</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sitios arqueológicos en quebrada de Pedernales: dispersión de desechos líticos y fragmentos de cerámica (López et al., 2021a)</li> <li>• Pedernales-38 con evidencias líticas superficiales</li> <li>• Pedernales-1 eventos ligados a consumo de vicuñas, recolección de huevos y evidencias líticas no formatizadas</li> <li>• Sus fechas van de los 2.705-2.357 a 634-539 años cal AP (López et al., 2021a, 2021b).</li> <li>• Ocupación basal de 10.158-9.733. años cal AP.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 101 sitios y/o hallazgos aislados (Proyecto Fondecyt #1190197) :               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 63 prehispánicos (alta presencia de obsidiana)</li> <li>- 27 indeterminado</li> <li>- 11 históricas</li> </ul> </li> <li>- Baja frecuencia de eventos tempranos</li> </ul>

### El uso de fuentes de materias primas durante las fases de exploración y colonización

Se referirá al modelo de poblamiento de Borrero (1989) con foco en los propósitos de esta investigación sin entrar en las particularidades que están involucradas en dichas propuestas. Según lo propuesto por el modelo de poblamiento de Borrero (1989) y

discutido por Osorio (2013) se puede definir **exploración** cuando se habla de la dispersión inicial hacia una zona vacía, implicando movimientos a lo largo de rutas naturales, y la utilización de localidades no óptimas debido al desconocimiento del territorio, que es ocupado de forma discontinua. Mientras que la consolidación de grupos humanos en sectores determinados del espacio, con rangos de acción especificados recibe el nombre de **colonización**. ¿Cuál es el rol entonces que ocupan las materias primas en estas etapas? Primero que todo, desde un punto de vista etnográfico hay una alta posibilidad en la utilización de rutas de desplazamiento relacionadas con el paisaje; pues los cazadores-recolectores en general entienden su espacio en relación con las características topográficas (Kelly, 2003; Ingold, 2000; Osorio, 2013). En este sentido, podríamos ahondar que no sólo serían topográficas sino que estarían más bien relacionadas con la variación geomorfológica y las características geológicas conocidas o reconocidas (forma y distribución de ríos, lagos, existencia de volcanes, peligro o estabilidad de taludes y, en general, aquellas propicias para la vida, complementando lo que Kelly (2003) denomina megaparches. Así mismo Kelly (2003) y Osorio et al., (2011) propusieron la Cordillera de Los Andes como un posible megaparche. Dentro de este contexto es difícil dilucidar si las características ecológicas se impondrían o no por sobre los recursos específicamente líticos. Lo más probable es que sea un conjunto, por ejemplo Kelly y Todd (1988), refiriéndose a los grupos que tempranamente poblaron Norteamérica, sugieren una orientación tecnológica, es decir una mayor preocupación por los recursos y su disponibilidad, que por las características ecológicas de una región.

Acorde a lo mencionado existen ciertas expectativas del material lítico para la etapa de exploración (Borrero y Franco, 1997). Referente a las materias primas es esperable una alta frecuencia de roca local, baja frecuencia de materia prima exótica y ante la ausencia local de fuentes de materias primas de alta calidad, se espera el uso de rocas de media a baja calidad (Osorio, 2013). Sintetizando, durante la etapa de exploración inicial de un espacio se espera que los artefactos arqueológicos sean confeccionados por materias primas inmediatamente disponibles (Osorio, 2013).

### **2.1.3 Fuentes de materias primas y sitios arqueológicos considerados**

Para llevar a cabo este estudio se analizaron principalmente dos sitios arqueológicos provenientes del Salar de Infieles y Salar de Pedernales donde se obtuvieron las edades más tempranas (Tabla 4). Este trabajo busca comparar las características petrográficas de posibles fuentes con las obtenidas de los artefactos y materiales arqueológicos provenientes de los sitios Pedernales-38 e Infieles-1.

#### Sitio Infieles-1

Infieles-1 se ubica entre un farellón de ignimbrita y la estrecha playa del Salar de Infieles (Figura 5 y 6), sus eventos ocupacionales poseen dataciones entre 10.798 a 12.443 años cal AP (Tabla 4) correspondiendo a la primera ocupación humana registrada en la Puna

meridional. Los eventos datados a una profundidad de 70 a 80 cm, sobre un depósito de ceniza volcánica se encontraron desechos líticos de talla, una raedera ultramarginal confeccionada en andesita, fragmentos óseos de vicuña y restos de pigmento mineral rojo (López et al., 2023b)

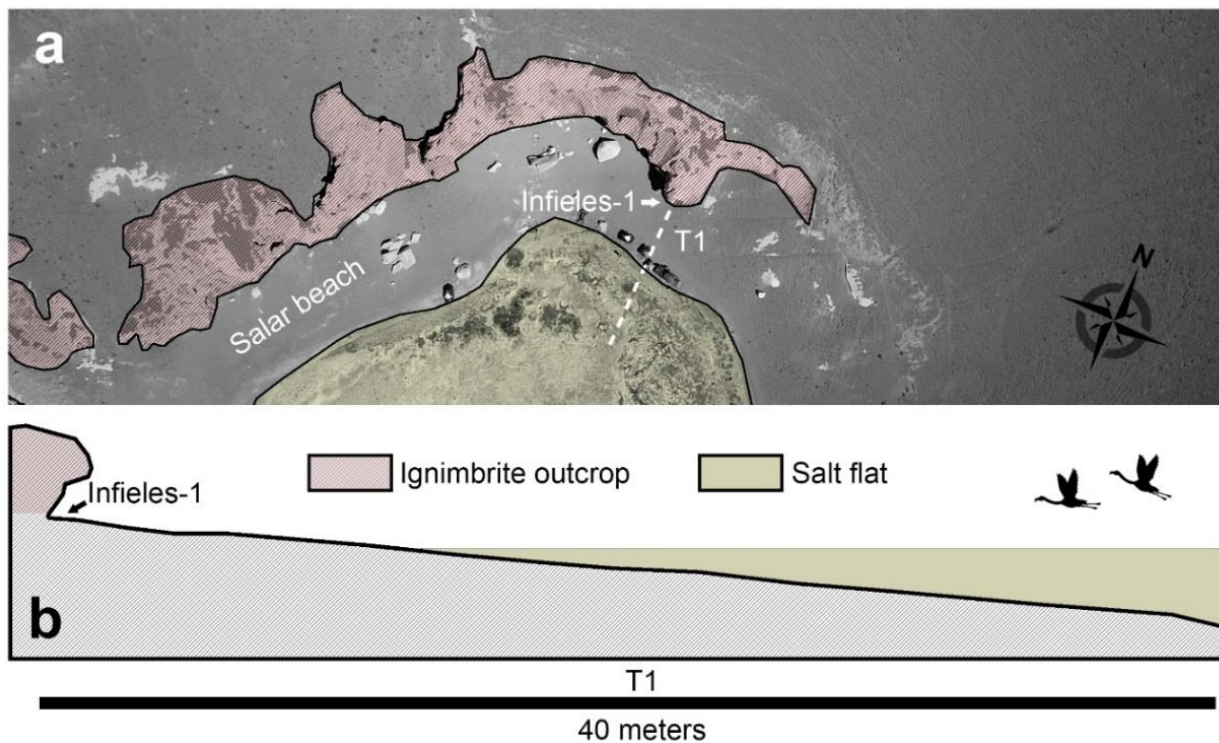


Figura 5. (a) Principales geoformas en el área de excavación, sitio Infielles-1, y (b) corte de sección del área excavada. Tomado de López et al. (2023b)

Tabla 4. Dataciones realizadas dentro del marco del proyecto FONDECYT #1190197

Código de laboratorio	Código de terreno	Unidad	Unidad Estratigráfica	Rasgo	Nivel	Material	<sup>14</sup> C calibrados AP (2 sigmas, 95,4%)
UGAMS 53068	PE38/3	1	3	-	7 (30-35 cm)	Hueso Vicugna vicugna	2,350 – 2,699
UGAMS 53067	PE38/2b	2	2	-	5 (20-25 cm)	Carbón	2,521 – 2,761
D-AMS 040489	P38/1a	2	-	1	6 (50-60 cm)	Carbón	2,964 – 3,206
UGAMS 53069	PE38/4	2	-	3	10 (45-50 cm)	Hueso Vicugna vicugna	7,584 – 7,744
UGAMS 53066	PE38/1b	1	1	-	3 (10-15 cm)	Hueso Vicugna vicugna	8,022 – 8,283
UGAMS 53072	PE38/7	2	3	-	11 (50-55 cm)	Carbón	8,366 – 8,520
UGAMS 53071	PE38/6	2	3	-	12 (55-60 cm)	Hueso Vicugna vicugna	8,724 – 9,016
D-AMS 044474	PE-38/B	2	3	-	12 (55-60 cm)	Carbón	9,295 – 9,520
UGAMS 53070	PE38/5	2	-	3	11 (50-55 cm)	Hueso Vicugna vicugna	9,543 – 9,885
D-AMS 040490	PE38/2a	2	3	-	11 (50-55 cm)	Carbón	9,695 – 10,151
D-AMS 044473	PE-38/A	2	-	3	11 (50-55 cm)	Carbón	9,733 – 10,158
D-AMS 047318	IN-1-1	1	-	2	2 (5-10 cm)	Carbón	921 - 1,042
D-AMS 047324	IN-1-2	1	5	-	12 (55-60 cm)	Hueso Vicugna vicugna	10,798 – 11,229
D-AMS 047325	IN-1-3	1	6	-	13 (60-65 cm)	Hueso Vicugna vicugna	11,889 - 12,443
D-AMS 047319	IN-1-4	2	6 y 7		13 (60-65 cm)	Carbón	11,633 - 11,968

Una de las fuentes primarias puede estar asociada a una cantera aledaña al sitio arqueológico sobre el Complejo de Ignimbritas de Domeyko (Figura 6 y 7). En la cantera existen rocas completamente silicificadas de color pardo amarillento claro (10YR 8/6 *pale yellowish brown*) con zonas blancas (N9 *white*) además de zonas traslúcidas y opacas lo que serían aptas para la talla. Igualmente existen chert (sílex) que incluyen minerales como cuarzo, feldespato potásico y óxido de hierro, sus colores varían desde gris oliva claro (5Y 6/1 *light olive gray*), pardo amarillento claro con tonalidades blancos azulados (5B 9/1 *bluish white*), y pardo rojizo moderado (10R 4/6 *moderate reddish brown*) a naranja muy pálido (10YR 8/2 *very pale orange*).



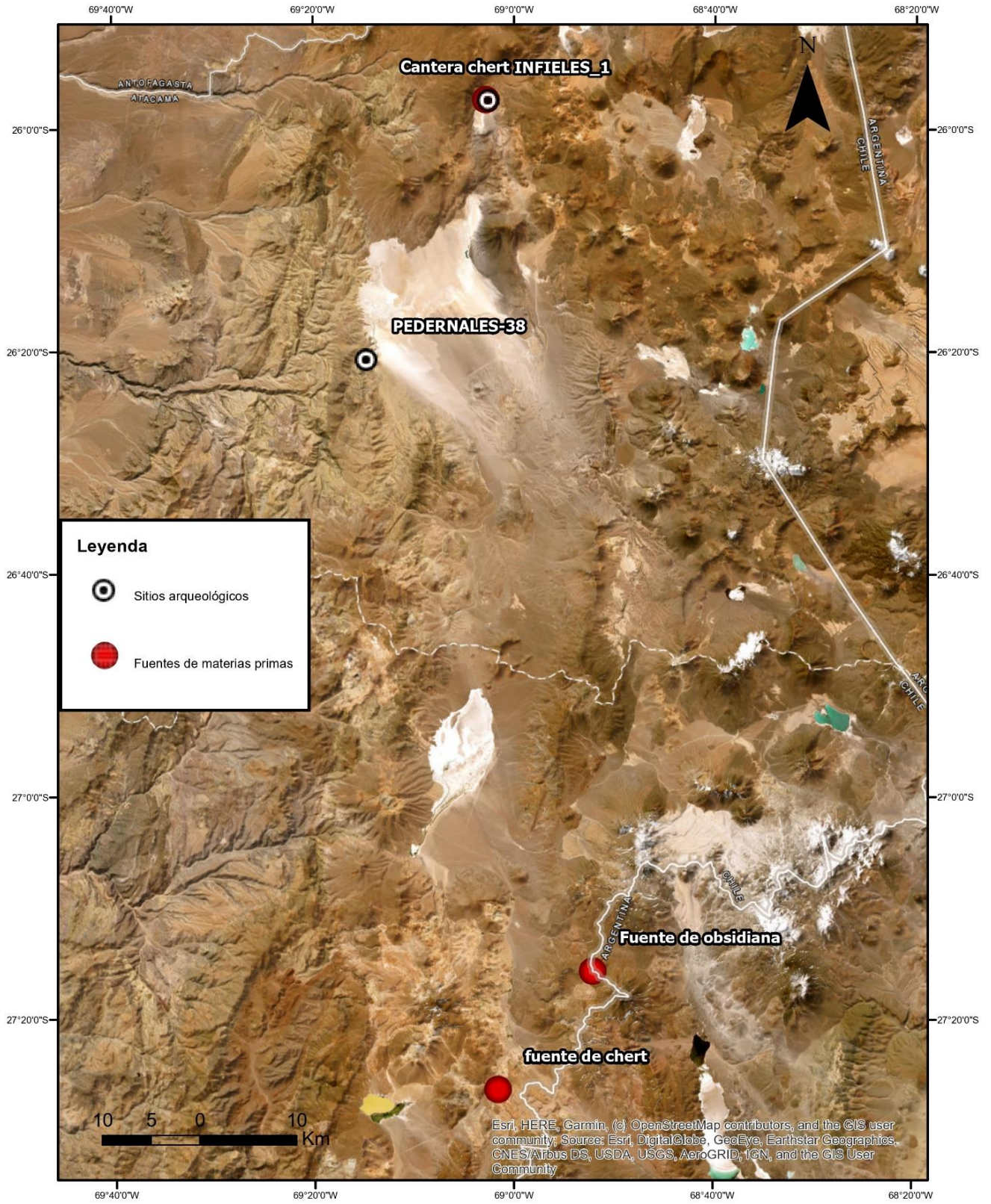


Figura 6. Mapas de sitios arqueológicos considerados; Infieles-1 y Pedernales-38 y fuentes de materias primas encontradas en terreno.



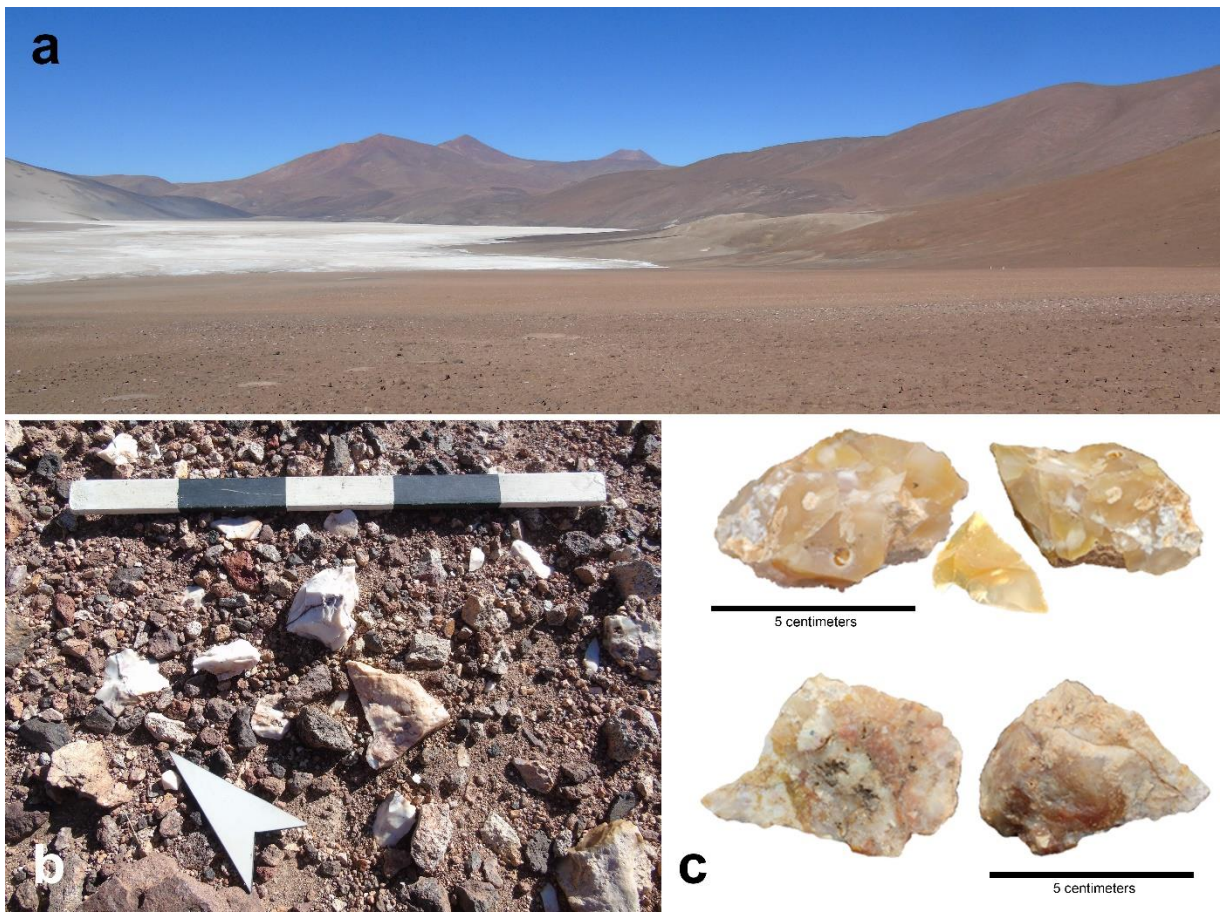


Figura 7: (a) Área de taller-cantera en el Salar de Infielos, (b) detalle de núcleos y lascas *in situ*, (c) detalle de nódulos de calcedonia (superior) y sílice (inferior). Tomado de López et al., (2023b)

### Sitio Pedernales-38

Pedernales-38 se encuentra en el extremo suroeste del Salar de Pedernales emplazado en la desembocadura de la Quebrada de Pedernales y sobre un lecho de depósitos fluviales del Cuaternario (Figura 6 y 8). Sus dataciones más tempranas se encuentran entre los 10.158-9.733 años cal. AP (López et al., 2023a) (Tabla 4). Este sitio consiste en un campamento logístico con abundantes desechos líticos, restos de vicuñas, fragmentos de huevos y una cuenta en concha de mitílido (López et al., 2023a).



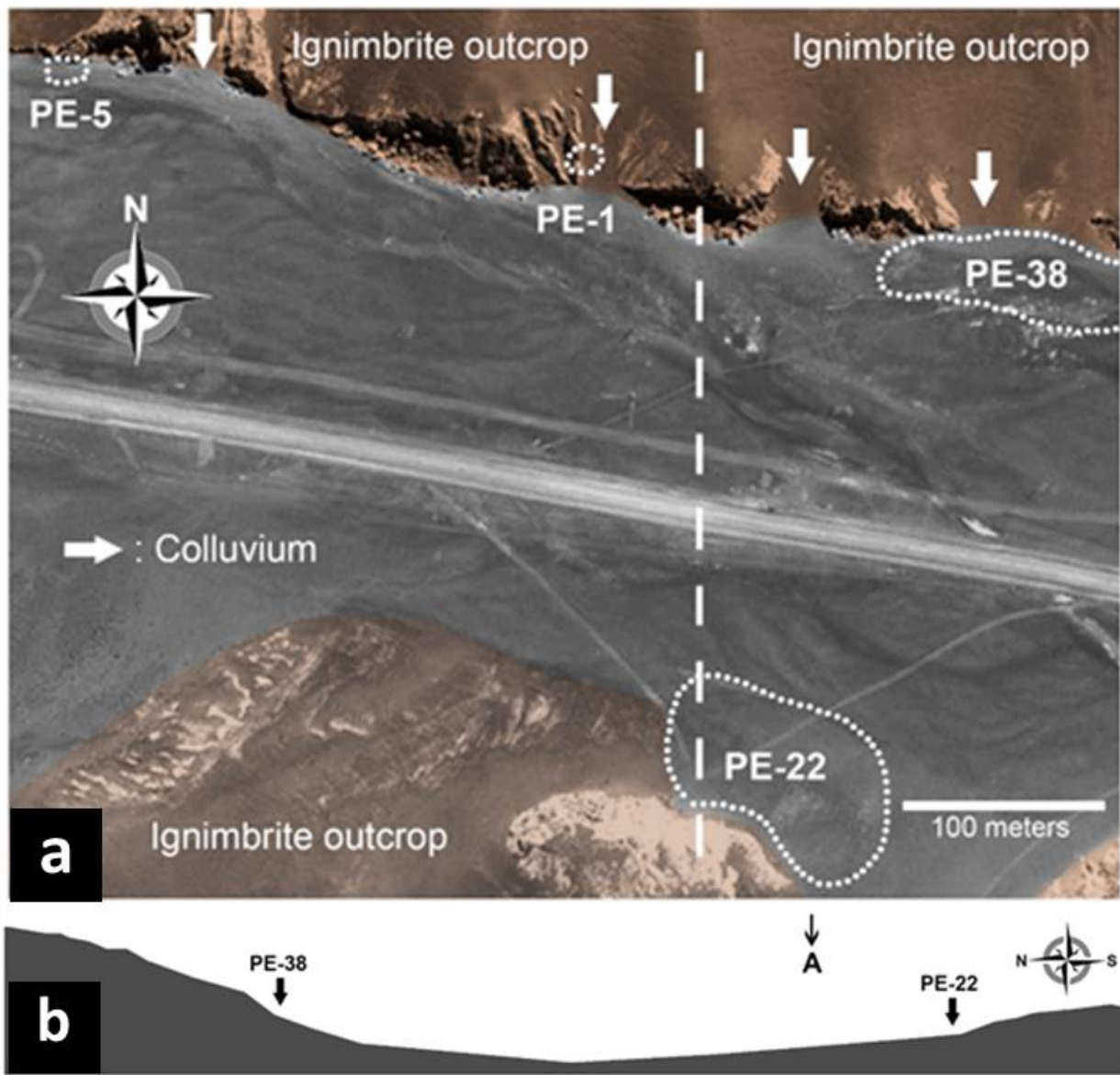


Figura 8. (a) Emplazamiento de los sitios PE-1, PE-5, PE-22 y PE-38 detallando las principales geoformas (para el enfoque de este estudio sólo se considera PE-38 sitio temprano Pleistoceno tardío-Holoceno), y (b) corte de sección de la quebrada. Modificado de López et al., 2023a.

La fuente primaria posiblemente asociada a este sitio, corresponde a una fuente de obsidiana ubicada a 85 km del extremo sur del Salar de Pedernales en el Volcán Cerro Manchado, situado en la frontera entre Chile y Argentina, a una altura entre 4.800 a 5.000 msnm (Figura 6 y 9) (Loyola et al., 2023). La fuente consiste en nódulos de obsidiana negra con inclusiones cristalinas. Los nódulos de mayor tamaño se encuentran en superficie, cubiertos parcialmente por nieves eternas, mientras que los nódulos más pequeños se localizan desde la zona intermedia entre los salares de Pedernales y de Maricunga por el norte, y entre el Salar de Maricunga y la Laguna Negro Francisco por el sur (López et al., 2023b).

Por último, se agrega una fuente de sílice ubicada a aproximadamente 100 km del Salar de Maricunga y 15 km de la Laguna Negro Francisco en quebrada Pantanillo (Figura 6). El sílice corresponde a bloques métricos de roca chert (sílex) con una amplia variedad de



colores y texturas (Figura 10), principalmente de brechamiento. Se espera que en el transcurso de la dispersión humana por estos parajes una recolección de materias primas de esta fuente.

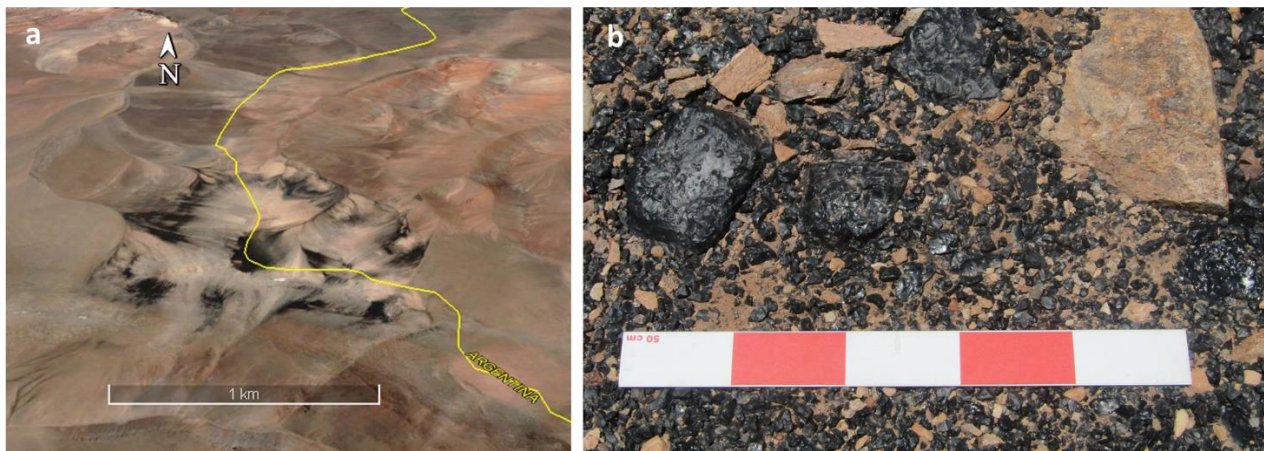


Figura 9. (a) Vista satelital fuente de obsidiana, y (b) Fuente de obsidiana, nódulos de obsidiana.

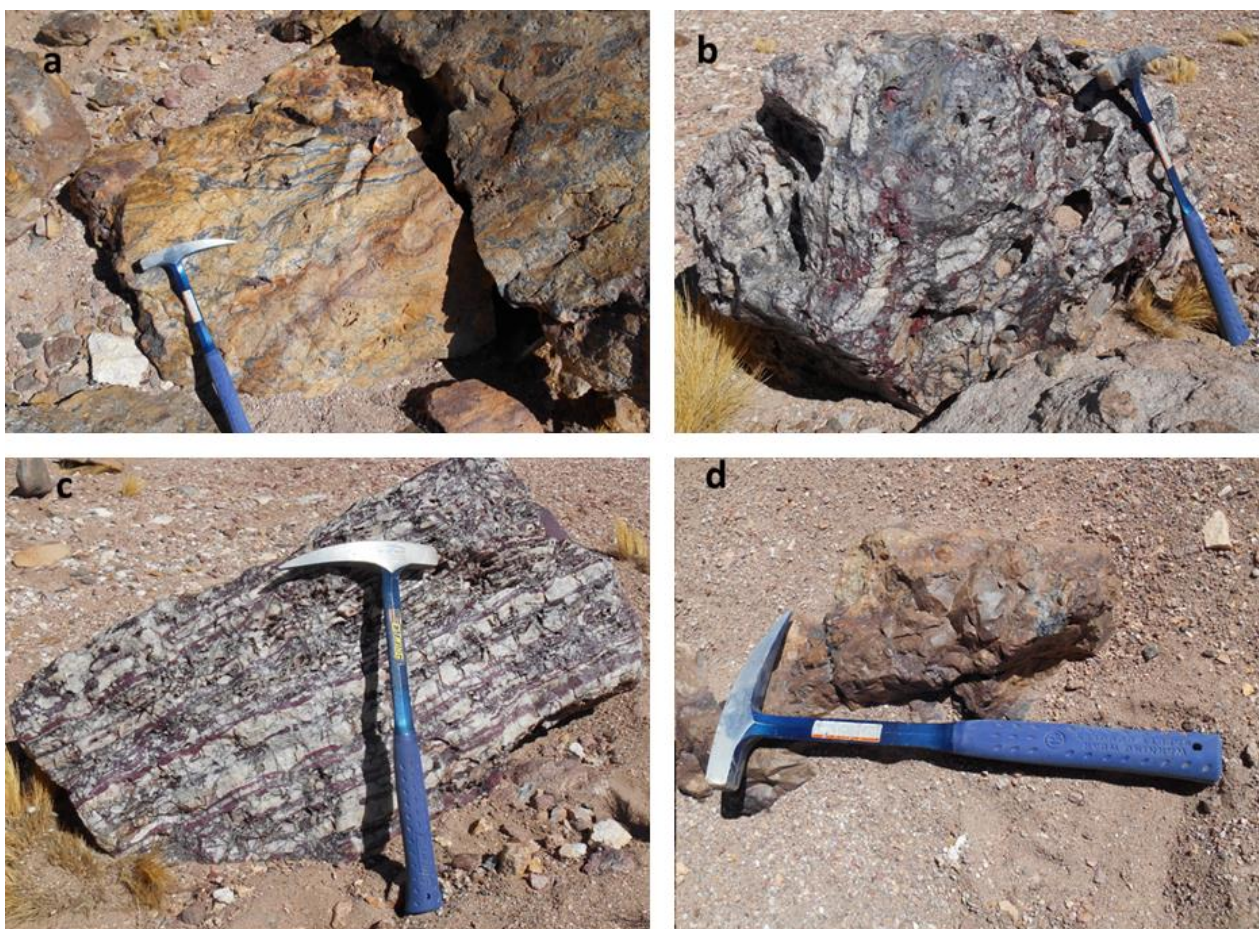


Figura 10. Fuente de sílice. Rocas con diferentes texturas. A: Chert con brechización producto de vetillas de óxido; B: Chert con brechización y erosión eólica; C: Chert con bandeamiento y; D: Chert de textura homogénea.

## **2.2 Procedimiento analítico, materiales y métodos**

En la etapa inicial del estudio, se realizó una campaña de terreno donde se llevó a cabo la recolección de muestras de materias primas líticas tales como obsidiana, chert (sílex), cuarcitas, entre otras, para luego proceder a una descripción macroscópica general de estas mismas. Posteriormente, se llevó a cabo el trabajo en gabinete, donde se apoya los datos obtenidos anteriormente con descripciones macroscópicas más acabadas.

La caracterización petrográfica de la diversidad de materias primas en materiales arqueológicos se procede desde un punto de vista geológico, es decir, las rocas se clasificaron dentro de tres grandes grupos: rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias. Considerando que los desechos líticos suelen ser centimétricos a milimétricos, mientras que los artefactos arqueológicos no presentan “caras frescas” (cara recién fracturada que no presenta pátinas ni alteración) -condición fundamental para la descripción y reconocimiento de una roca desde un punto de vista geológico- se caracterizaron las muestras de acuerdo al tamaño relativo de los cristales (cristalina o microcristalina), textura, color (según la carta de colores de Munsell Rock Color Book [2009]) y grado de transparencia (relacionado con la diafanidad) de la roca.

Conjuntamente se realizaron descripciones petrográficas al microscopio óptico de las muestras no arqueológicas recolectadas con el fin de reconocer componentes mineralógicos y aspectos diagenéticos que permitan complementar y/o esclarecer la caracterización petrográfica macroscópica de las materias primas. Por último, a través de Fluorescencia de rayos-X (XRF) en materiales arqueológicos y Microscopio Electrónico de Barrido (SEM) en materias primas se confeccionó un diagrama multi-elemento para cada grupo de muestras que presentan características similares, dadas por la hipótesis que plantea la misma materia prima en la confección del artefacto arqueológico o desechos líticos. Si un grupo de materiales arqueológicos está confeccionado por la misma materia prima, éste se debe ver reflejado en la composición elemental del material. Además si se considera que estos elementos forman minerales principales característicos de una roca, se corrobora la clasificación de la materia prima utilizada en su confección.

## **2.3 Resultados**

### **2.3.1 Características petrográficas de canteras y sitios**

Las muestras analizadas corresponden a aquellas de mayor abundancia en material arqueológico; por ejemplo, al haber mayor cantidad de materiales confeccionados de chert (sílex) con diferentes características, se recopilaron mayor cantidad de materias primas de chert (sílex) que varían entre sí por sus texturas y pueden responder a la variedad de materiales arqueológicos.

A continuación se describen las características petrográficas de fuentes (materias primas) y sitios arqueológicos (material arqueológico).

#### A. Artefactos arqueológicos

### **Caracterización petrográfica de material arqueológico**

Como se señaló anteriormente, la caracterización petrográfica se hace a partir de dos sitios de interés arqueológicos, los cuales se extraen de la base de datos por parte del grupo arqueológico del proyecto Fondecyt 1190197. El primero corresponde a Pedernales-38 y el segundo a Infieles-1.

#### *Pedernales-38*

Dentro de las rocas ígneas utilizadas como materias primas para artefactos arqueológicos, se encuentran las rocas volcánicas. Su clasificación se realiza a partir del triángulo de clasificación para rocas volcánicas que depende del contenido de tres minerales fundamentales: cuarzo, plagioclasa y feldespato alcalino. En este caso, se reconoció basalto y dacita. Las rocas que contienen cantidades sustanciales de silicatos oscuros (piroxeno principalmente) y plagioclasa rica en Ca se dice que tienen una composición basáltica. El **basalto** encontrado se presenta como roca afanítica opaca, de color negro, en la mayoría de las muestras con fuerte presencia de magnetismo, indicador de óxidos de hierro. Sin embargo, en los resultados por FRX arrojó en una muestra XRF3 mayor contenido de Na que Ca (Figura 41), por lo que podría deducirse que se trataría de **andesita** y, por tanto, no es posible asegurar que las muestras restantes sean de basalto sólo con caracterización petrográfica de muestra de mano, sino que requiere análisis de FRX.

Otro material de relevancia corresponde a la **obsidiana**, roca vítrea de color oscuro, la que se presenta tanto traslúcida como opaca, formada por enfriamiento rápido de lava rica en sílice. Otro caso corresponde a las rocas piroclásticas, dentro de esta categoría encontramos **tobas**. Las tobas encontradas serían de carácter lítico y se observan silicificadas.

Por otro lado, dentro de las rocas ígneas catalogadas como rocas plutónicas se reconocieron granito y diorita. El **granito** se presenta como una roca fanerítica, leucocrática compuesta por cantidades similares de cuarzo, feldespato y plagioclasa. Como minerales secundarios se encuentran la biotita y hornblenda. Los desechos de este material presentan, además, tonalidades rosáceas por presencia de feldespato potásico y verdosas, dadas probablemente por la cloritización de biotitas. La **diorita** es de composición intermedia, compuesta principalmente por plagioclasa, hornblenda y biotita.

Dentro de las rocas metamórficas sólo se encontró **cuarcita**, roca cristalina dura producto de la recristalización del cuarzo, con presencia de pátinas de manganeso, que le da un aspecto 'moteado', además, presenta tonalidades rojizas debido a la presencia de inclusiones de óxido de hierro.





**Rocas Sedimentarias:** En este grupo abundan las rocas sedimentarias químicas silíceas donde predominan **chert (sílex)** y **calcedonia**. Las calcedonias encontradas son en su mayoría traslúcidas puras, aunque existe una menor proporción de ellas que presentan pequeñas tonalidades rojizas o pirolusita (dendritas de óxido de manganeso) que las hacen ver menos puras, aún así conservando gran parte de su translucidez. Por otro lado, el chert (sílex) suele ser blanco y opaco, puede presentar clastos milimétricos y en algunas ocasiones se observan pequeños puntos concéntricos de manganeso. Es importante observar que de un chert (sílex) se podría extraer calcedonia, pues en términos geológicos calcedonia no es una roca, sino que un mineral (SiO<sub>2</sub>), es decir; un chert podría estar formado por calcedonia entre otros minerales. Si se extrae sólo una parte de la muestra (Chert) que se presenta de forma traslúcida criptocristalina y con un brillo vítreo, se nombra en términos general calcedonia y así como los desechos de tallas con estas características.

**Rocas Ígneas:** En esta categoría tenemos rocas ígneas volcánicas las cuales corresponden a **andesitas**, roca volcánica calcoalcalina, de color negro a verdoso, formada principalmente por plagioclasa (mineral félsico) y anfíbol (hornblenda) junto a olivino (minerales máficos). Los minerales mencionados son los que se reconocieron, pero probablemente se podría encontrar también biotitas o piroxenos no reconocidos en estas muestras. Un punto importante de la andesita es su carácter magnético. Dos muestras presentaron magnetismo, una de forma moderada y otra leve. Esta característica al no ser exclusiva de las andesitas podría ser de utilidad a la hora de encontrar la fuente de esta materia y su posible relación con artefactos de andesita encontrados en otros sitios arqueológicos.

Por último, la otra categoría corresponde a las rocas ígneas volcánicas piroclásticas, en particular tobas. Las tobas son líticas de composición química félsica o leucocrática y aparentemente subalcalina al ser de color pardo claro a oscuro, por lo que se podría agregar el sufijo dacítica. Sin embargo, se necesitaría de análisis químicos para corroborarlo.

Tabla 6. Materias primas identificadas en superficie y en las unidades 1 y 2 separadas considerando los niveles de excavación. Sitio Infieles 1

Categorías			Niveles de excavación															
			Sur fac e	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9	L10	L11	L12	L13	L14	Tot al
Roca ígnea	Volcánica	Andesita	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	3
	Piroclástica	Toba	0	0	3	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	7	
Roca Sedimentaria	Silícea	Chert (Sílex)	0	2	4	0	0	0	0	0	4	2	0	3	6	7	1	29
		Calcedonia	0	1	12	5	1	0	0	1	0	0	1	46	212	118	2	399
<b>TOTAL</b>			<b>1</b>	<b>3</b>	<b>19</b>	<b>5</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>50</b>	<b>218</b>	<b>126</b>	<b>5</b>	<b>438</b>

## B. Materias primas

### Caracterización petrográfica de materias primas

Una vez caracterizado el material arqueológico de manera petrográfica, se procede a la selección de materias primas usadas para la confección de los diversos artefactos

arqueológicos, permitiendo de esta manera pasar a una descripción petrográfica clásica de la muestra de mano con caras “frescas”. Además, para cada muestra se realizó cortes transparentes con el fin de complementar la información con descripción petrográfica microscópica. A continuación se muestran aquellas materias primas seleccionadas de los salares de Pedernales, Maricunga e Infieles (Figuras 11, 22, 25 y 30) separadas según el tipo de roca. Sin embargo, no todas las materias primas tienen un artefacto arqueológico asociado, algunas de ellas se han reconocido por arqueólogos como materias primas de evidencias arqueológicas debido a la calidad de la roca para talla y otras representan desechos o lascas de estas materias primas que se encuentran en los sitios arqueológicos.

### **Rocas sedimentarias**

Las rocas sedimentarias químicas silíceas (Figura 11) resultan ser las más utilizadas para la confección de materiales arqueológicos, dentro de este grupo existe una gran variedad de rocas silicificadas (ver más Anexo B), variando no sólo en color sino en textura y grado de transparencia. A continuación, se presentan los distintos formatos en los que se puede encontrar una roca silicificada con importancia para este estudio.

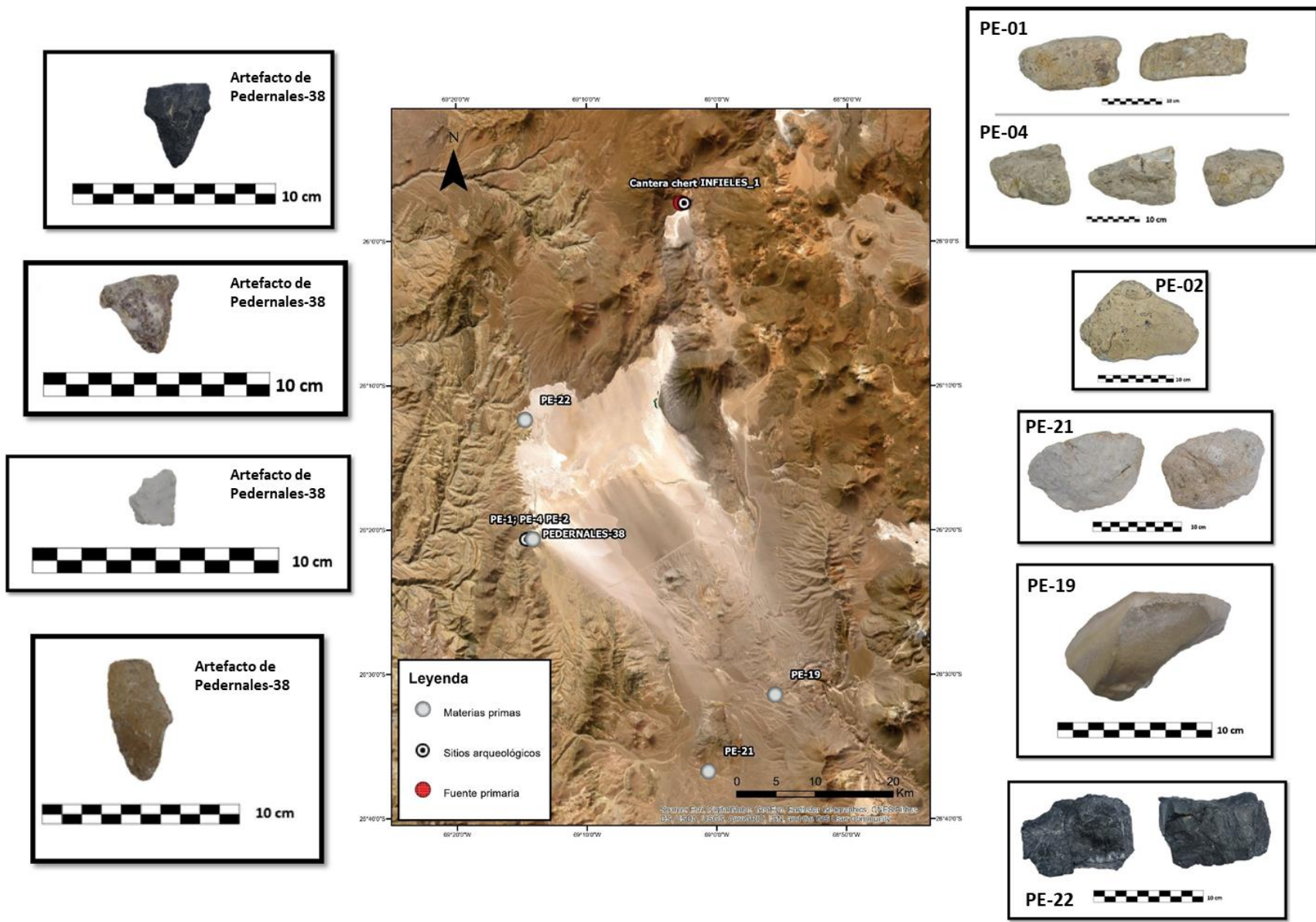


Figura 11. Mapa de ubicación de materias primas silicificadas, en particular brechas (PE-01, PE-04) y variedades de Chert (PE-02, PE-21, PE-19 y PE-22) con sus artefactos arqueológicos asociados.



## Brecha

Roca silicificada con abundantes líticos angulosos a redondeados. Sus colores varían desde gris muy claro (N8 *very light gray*) a amarillo verdoso moderado (10Y 7/4 *moderate greenish yellow*) con tonalidades de naranja amarillento oscuro (10YR 6/6 *dark yellowish orange*) debido a la oxidación de la roca. En la muestra **PE-01** (Figura 12A) existen dos poblaciones de tamaños, centimétricos y milimétricos, mientras que la muestra **PE-04** (Figura 12B) sólo existe una población de tamaño milimétrico. Por otro lado, la roca presenta fractura concoidea.

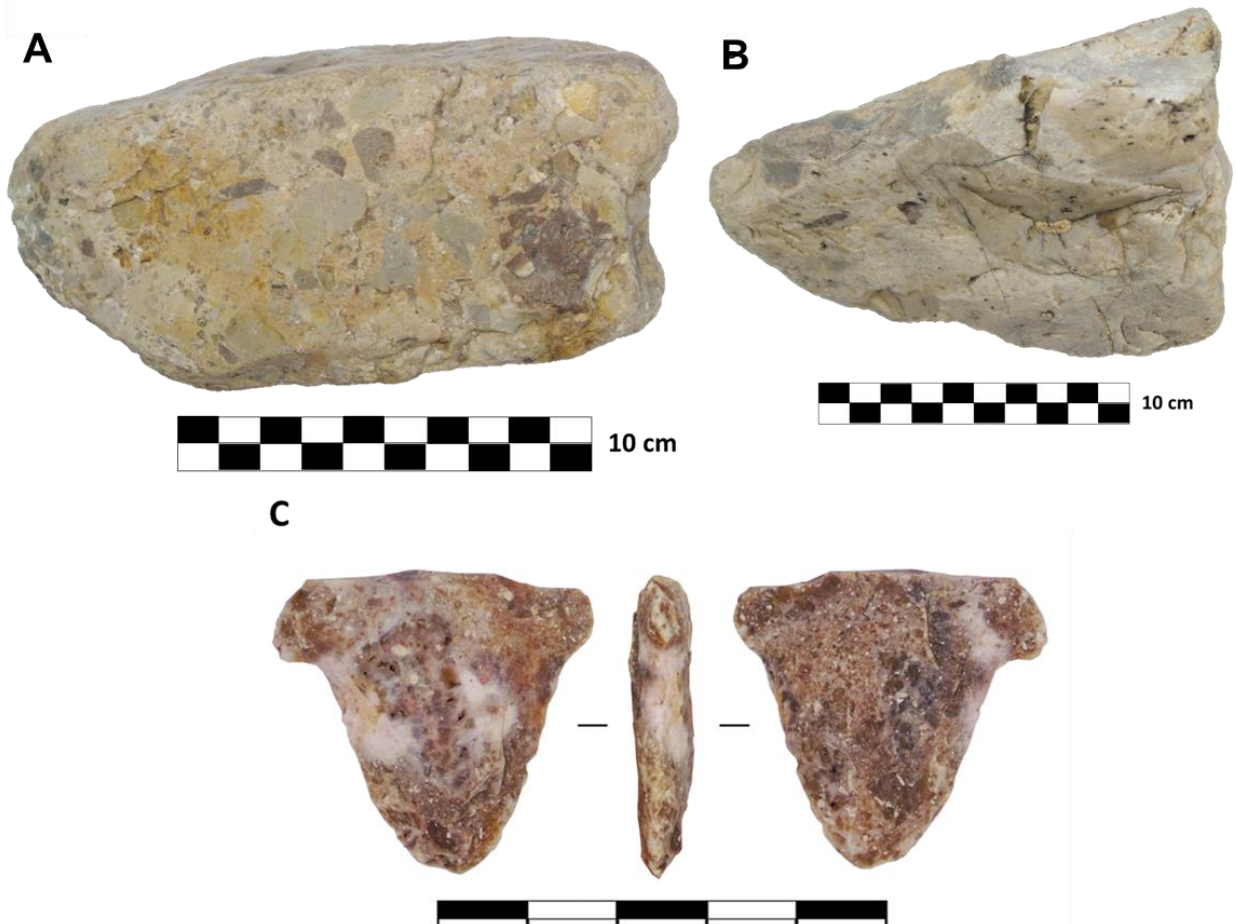


Figura 12. Materias primas; brechas silicificadas (A: PE-01; y B: PE-04) y Punta de proyectil (C) recolectado de Pedernales-38-Nivel 11.

El estudio petrográfico microscópico (Figura 13) muestra como clastos subangulosos a subredondeados son unidos por cemento de sílice variando de microcristalino a criptocristalino. Dentro de estos clastos se reconocen fragmentos de rocas volcánicas cuyas plagioclasas han sido completamente silicificadas.

Matriz: 40% (chert 100%)

Clastos: 60% (clastos silicificados 95%, clastos parcialmente silicificados 5% (incluye fragmentos líticos volcánicos (Lít. V)))

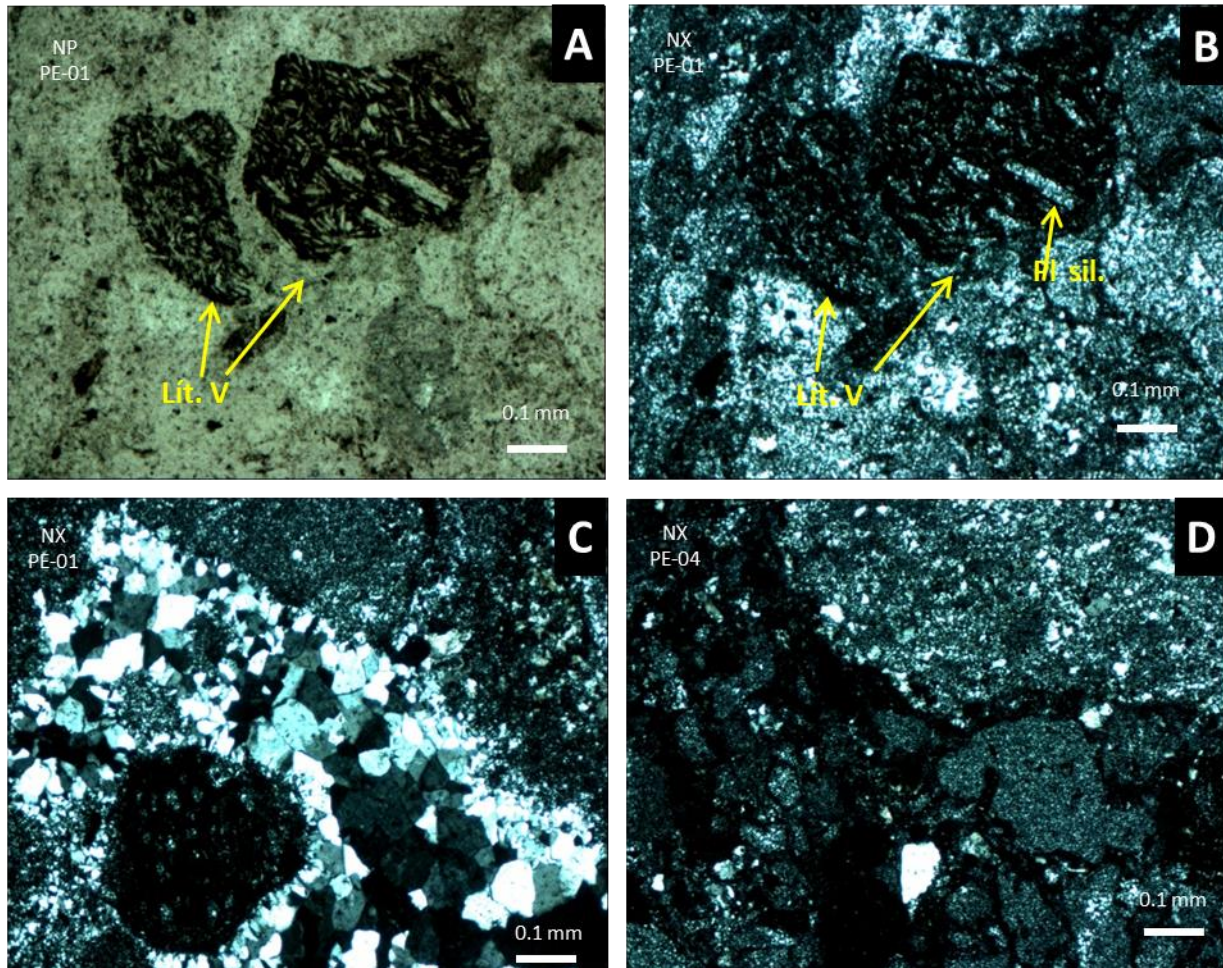


Figura 13. Cortes delgados a nícoles paralelos (NP) y nícoles cruzados (NX) correspondientes a las muestras PE-01 (A, B y C) y PE-04 (D). En la imagen A y B se muestran como fragmentos volcánicos (Lít. V.) han sido parcialmente silicificados en sus plagioclasas (Pl. Sil.). En la imagen C y D se aprecia con claridad como el cemento de sílice varía en su tamaño de microcristalino hasta presentarse como chert, siendo en la muestra PE-01 más abundante el sílice microcristalino y en la muestra PE-04 el sílice criptocristalino.

### *Chert (Sílex) con líticos*

Roca silicificada de color rosa anaranjado grisáceo (10R 8/2 *grayish orange pink*) a naranja muy pálido (10YR 8/2 *very pale orange*) con manchas de color oscuro y fractura concoidea, como se muestra en la Figura 14, correspondiente a la muestra **PE-02**. Presenta líticos milimétricos con alto grado de meteorización, los cuales son más evidentes en las caras frescas de la roca la que se muestra de color gris claro (N7 *light gray*).





Figura 14. Materia prima, chert (sílex) con líticos (imagen superior), y punta de proyectil-cuchillo, sitio Pedernales-38, recuperación superficial (imagen inferior)

El estudio petrográfico microscópico (Figura 15) muestra una roca completamente silicificada donde el sílice se presenta como criptocristalino.

Matriz: 48% (sílice criptocristalino 100%)

Porosidad: 2% (intergranular)

Clastos: 40% (líticos silicificados (Lít. Sil.)100%)

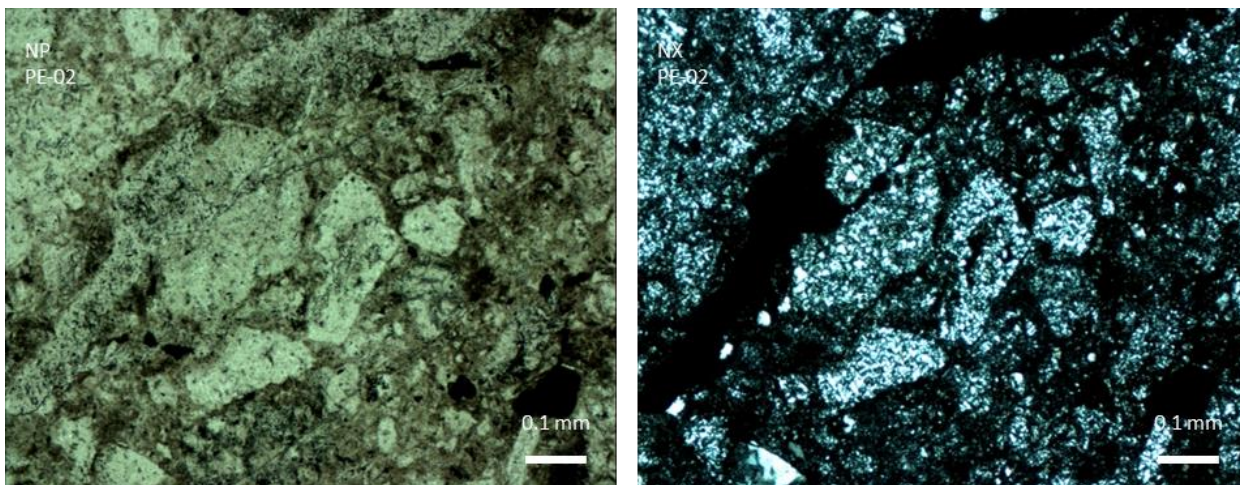


Figura 15. Cortes delgados en nicols paralelos (NP) y nicols cruzados (NX) correspondiente a la muestra PE-02. En la imagen derecha se aprecia como los líticos se encuentran completamente silicificados (Lít. Sil. )

*Chert (Sílex) gris amarillento con líticos*

Roca silicificada de color gris amarillento (5Y 8/1 *yellowish gray*) alterada por la oxidación, con cristales de cuarzo y plagioclasa de tamaño milimétrico, muestra **PE-21** (Figura 16).

El estudio petrográfico microscópico (Figura 17) muestra una roca silicificada que aún conserva minerales como hornblenda, y microclina, aparte del cuarzo y las plagioclasas. Sin embargo, el corte se presenta muy sucio y los minerales presentan múltiples perforaciones produciendo porosidad secundaria.

Matriz: 40% (sílice 100%)

Clastos: 60% (líticos silicificados 55%, líticos indefinidos 30%, cuarzo 8% (Qzo), plagioclasa 5%, hornblenda 2% (Horn) y microclina <1%)



10 cm

Figura 16. Materia prima, Chert (Sílex) gris amarillento con líticos (imagen superior) y Punta de Proyectoil, sitio Pedernales-38, recuperación superficial (imagen inferior).



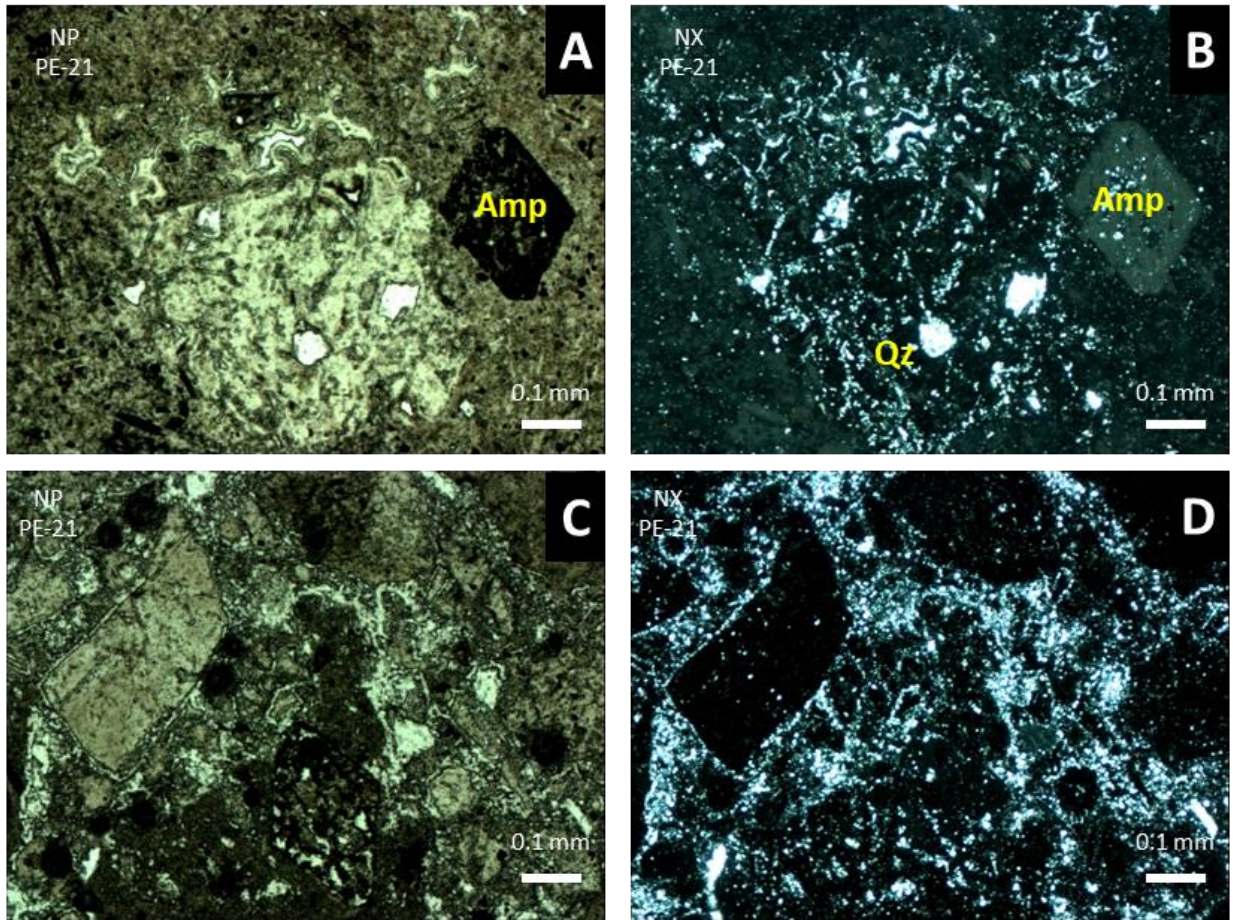


Figura 17. Cortes delgados a nícoles paralelos (NP) y nícoles cruzados (NX) correspondiente a la muestra PE-21. En la imagen A se observa tanto cuarzo (Qz) como anfíbol (Amp), esta última alterada con microperforaciones. Las imágenes B y D muestran como la matriz de sílice criptocristalino rodea los clastos alterados.

### Chert (Sílex)

Roca completamente silicificada, afanítica de color pardo amarillento pálido (10YR 6/2 *pale yellowish brown*) correspondiente a la muestra **PE-19**. Su textura superficial es lisa, pulida por la erosión del viento (Figura 18). No existe una muestra arqueológica en concreto que se pueda asociar a esta materia prima. Sin embargo, la calidad del material, reconocida por arqueólogos, la hace apta para la confección de herramientas.



Figura 18. Materia prima: Chert (Sílex)

El estudio petrográfico microscópico (Figura 19) de la muestra **PE-19** demuestra que la homogeneidad de la roca se debe a su completa silicificación, mostrando cuarzo microcristalino.

Matriz: 100% (cuarzo microcristalino 100%)

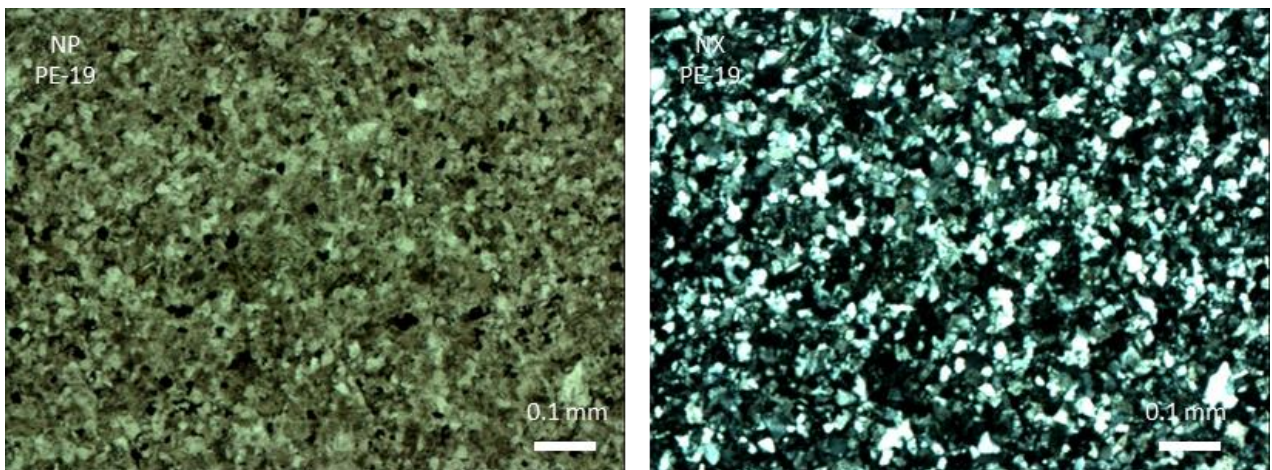


Figura 19. Cortes delgados a nícoles paralelos (NP) y nícoles cruzados (NX) correspondiente a la muestra PE-19, cuarzo microcristalino.



*Chert (Sílex) negro*

Roca silicificada de color gris oscuro (N3 *dark gray*) y zonas traslúcidas de sílice claras color gris verdoso claro (5GY 8/1 *light greenish gray*) (Figura 20). Muestra **PE-22**.



Figura 20. Materia prima, Chert (Sílex) gris oscuro (imagen superior) y Punta de proyectil, sitio Pedernales-38, recuperación superficial (imagen inferior).

En el estudio petrográfico microscópico (Figura 21) de la muestra **PE-22** se observa una matriz muy oscura producto de su alta cantidad de manganeso corroborado por FRX (Anexo C) con fracturas y cavidades rellenas por calcedonia de hábito radial fibroso y también granulada.

Matriz: 100% (sílice y manganeso 60%, calcedonia 40%)

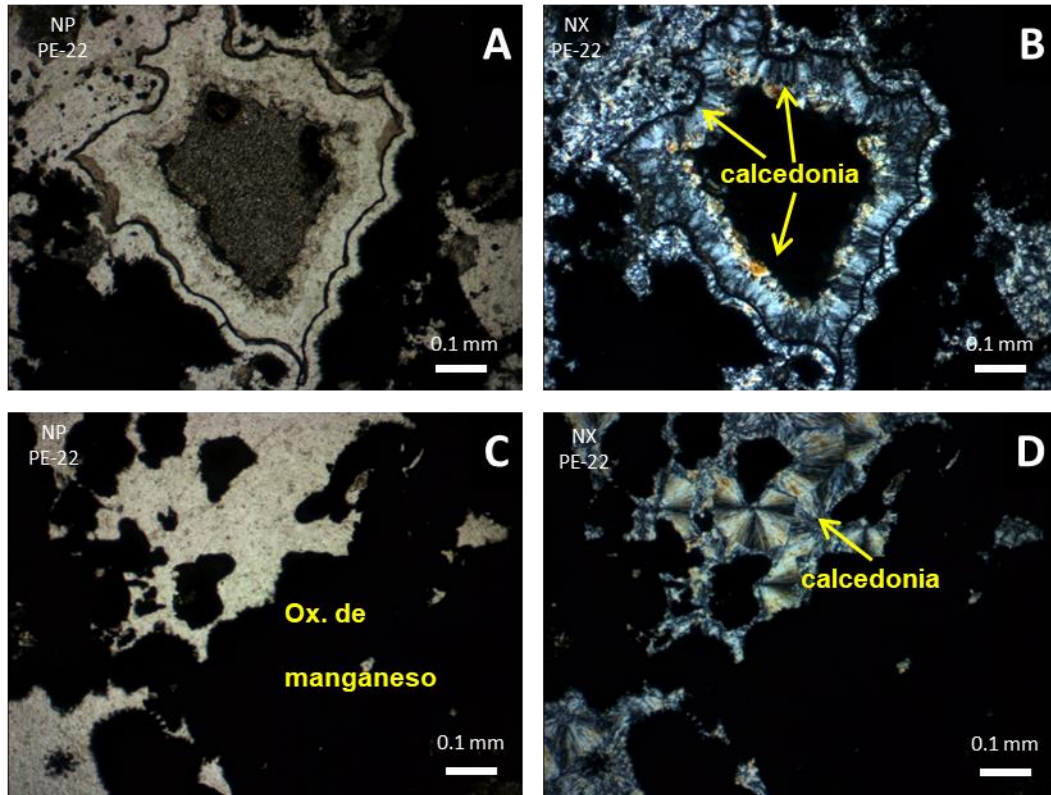


Figura 21. Cortes delgados a nicoles paralelos (NP) y nicoles cruzados (NX) correspondiente a la muestra PE-22. En las imágenes a NX se puede observar como la calcedonia rellena los poros; en la imagen B la calcedonia se observa con hábito radial y granulada, mientras que en la imagen D se observa como esferulitas. En ambas imágenes lo ennegrecido es producto de óxido de manganeso

### *Jaspe*

Si bien el jaspe sigue siendo una roca silicificada, pero opaca, recibe este nombre particular debido a sus tonalidades rojizas a anaranjadas según el grado de óxidos de Fe que contenga la roca. La ubicación de las muestras recolectadas queda reflejada en el mapa de la Figura 22.

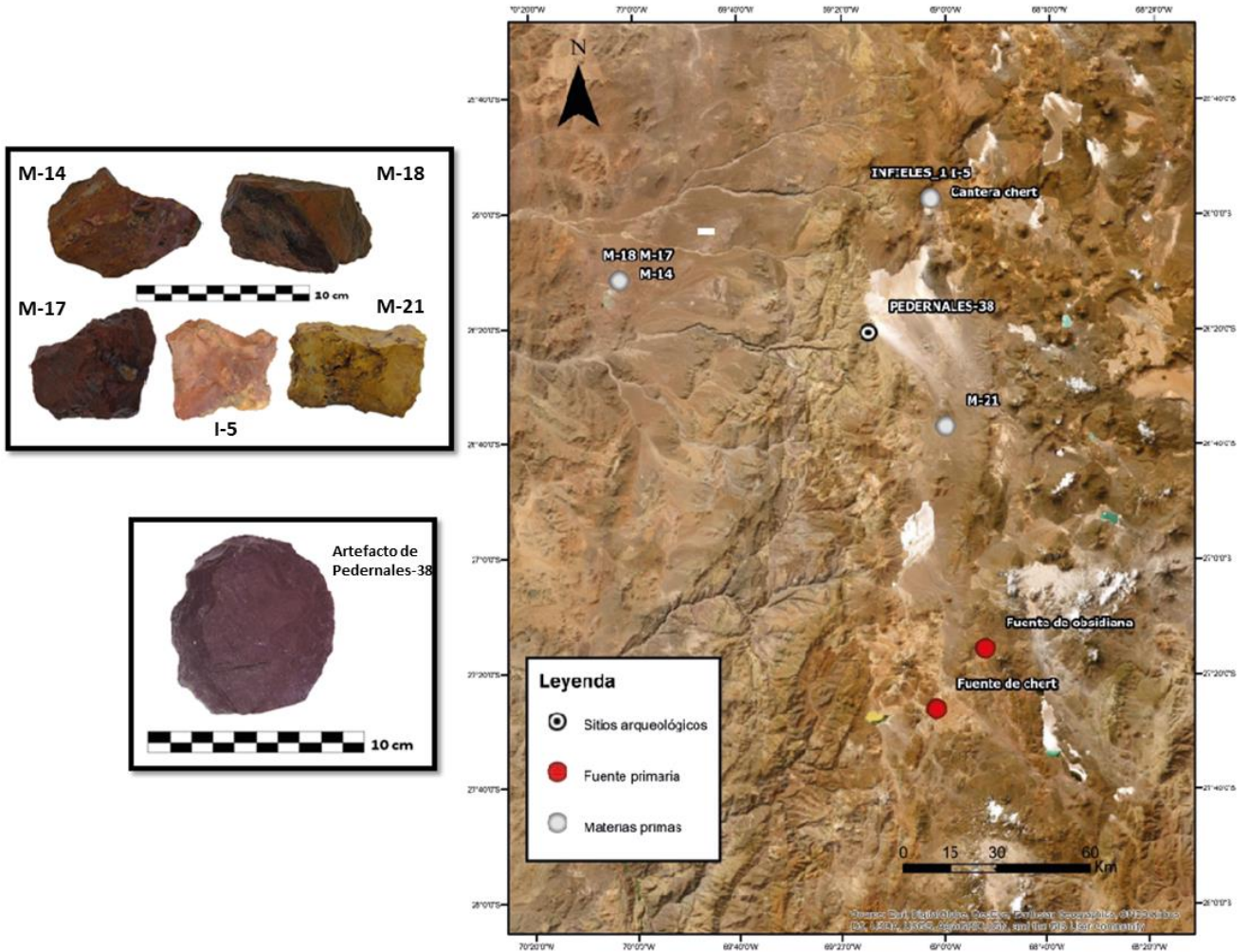


Figura 22. Mapa de ubicación de Jaspe, en particular M-14, M-18, M-17, I-5 y M-21, y su artefacto arqueológico asociado.

Los colores principales presentes son: A muestra **M-14** naranja amarillento oscuro (10YR 6/6 *dark yellowish orange*) con cúmulos de rojo moderado (5R 4/6 *moderate red*), B: muestra **M-18** bandas desde gris oliva claro (5Y 5/2 *light olive gray*), naranja amarillento oscuro (10YR 6/6 *dark yellowish orange*) a rojo oscuro (5R 3/4 *dusky red*), C: muestra **M-17** rojo oscuro (5R 3/4 *dusky red*), D: muestra **I-5** rojo moderado (5R 4/6 *moderate red*), y E: muestra **M-21** naranja amarillento oscuro (10YR 6/6 *dark yellowish orange*). Además, puede presentar su color de manera homogénea o mostrar diversas texturas como bandeamiento o en cúmulos (Figura 23).



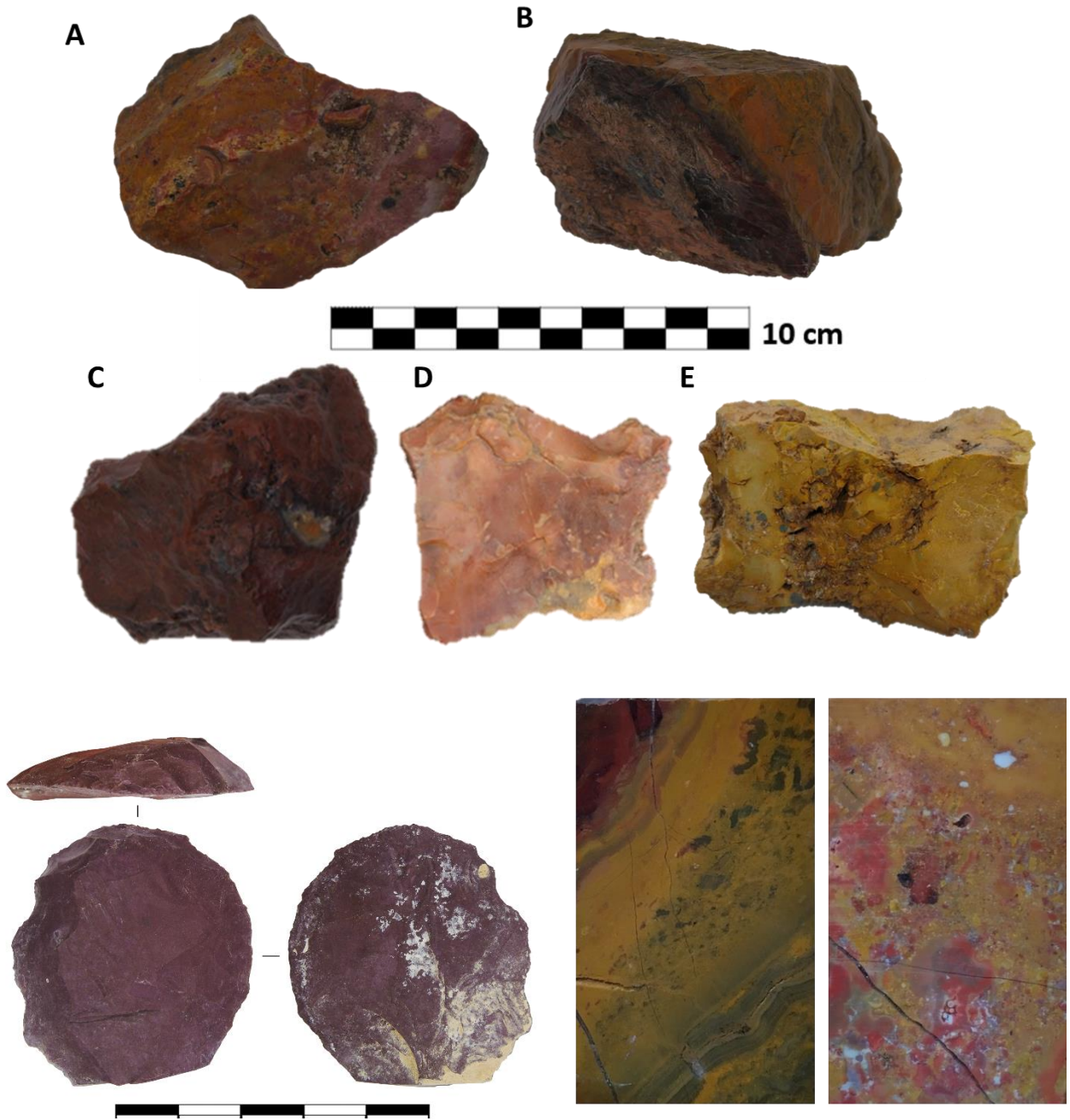


Figura 23: En la imagen superior se observan cinco variedades de jaspe. A: muestra M-14, B: muestra M-18, C: muestra M-17, D: muestra I-5, y E: muestra M-21. En la imagen inferior izquierda se observa un raspador del sitio Pedernales-38, recuperación superficial confeccionado por jaspe. Por último, en la imagen inferior derecha se pueden apreciar dos texturas en las que se pueden presentar los jaspe ya sea en bandeamiento (similar al agata) o en cúmulos de diversos colores, ambos con cristales de cuarzo.

La descripción petrográfica microscópica muestra cortes mayoritariamente de origen sedimentario, debido a las siguientes singularidades:

**M-14** Roca bioclástica que ha sido reemplazada por sílice sufriendo posteriormente oxidación (Figura 24: A, B). Presencia de esferulitas probablemente construidas por los mismos organismos presentes y cúmulos de hematita.

Matriz: 8% (ópalo)

Bioclastos: aloquemos 92% (formas de crecimiento dentrítico dejado por microbios o *epiphyton* 45%, cianobacterias del grupo *Renalcis* 1%, algas rojas 20% y briozoos 34%)

Otro tipo de jaspe derivado de rocas compuestas de sílice autigénico se puede ver en la muestra **M-21** (Figura 24: C), sus clastos de grano fino y la presencia de radiolarios, microfósiles silíceos, son los que permite deducir que se trataría de una silexita. Sin embargo, por su alto contenido en hierro evidenciado por su color anaranjado en muestra de mano, se le clasifica dentro de un tipo de jaspe. En muestras que presentan radiolarios y sílice microcristalino, pero con escaso óxido de hierro se nombra sólo como silexita (ejemplo muestra M-20 ver Anexo B).

Matriz: 80% (sílice criptocristalino oxidado)

Clastos: 20% (radiolarios 40%, fragmentos de chert 60%)

**M-17** Roca fuertemente oxidada con posibles minerales de hábito radial, aunque no se puede asegurar un origen biológico. Estas circunferencias radiales se exhiben de color rojo debido a la oxidación ferrosa entre ellas se puede apreciar cemento de ópalo y cúmulos de hematita (Figura 24: D).

Matriz: 20% (ópalo)

Clastos: 80% (mineral de hábito radial 85%, cúmulos de hematita 15%)

**I-5** Roca silicificada con textura obliterada, la cual sufrió procesos de silicificación tanto primarios como secundarios. Además, de la presencia de opacos de alta esfericidad en todo el corte (Figura 24: E, F).

Matriz: 50% (sílice criptocristalino con escasa arcilla).

Clastos: 45% (minerales completamente alterados de bordes irregulares 34% y óxido de Fe 66% (probablemente hematita)).

Porosidad: 5% (dada por fracturas parcialmente silicificadas).

**M-18** Roca silicificada con proceso importante de oxidación de forma gradual, esto explicaría que la muestra macroscópicamente presente bandamiento de colores. Se destaca la presencia de posibles remanentes de briozoos (Figura 24: G, H).

Matriz: 30% (cuarzo criptocristalino a policristalino).

Clastos: 70% (cuarzo policristalino relleno de vetillas o en cúmulos 93% y óxidos 7%).



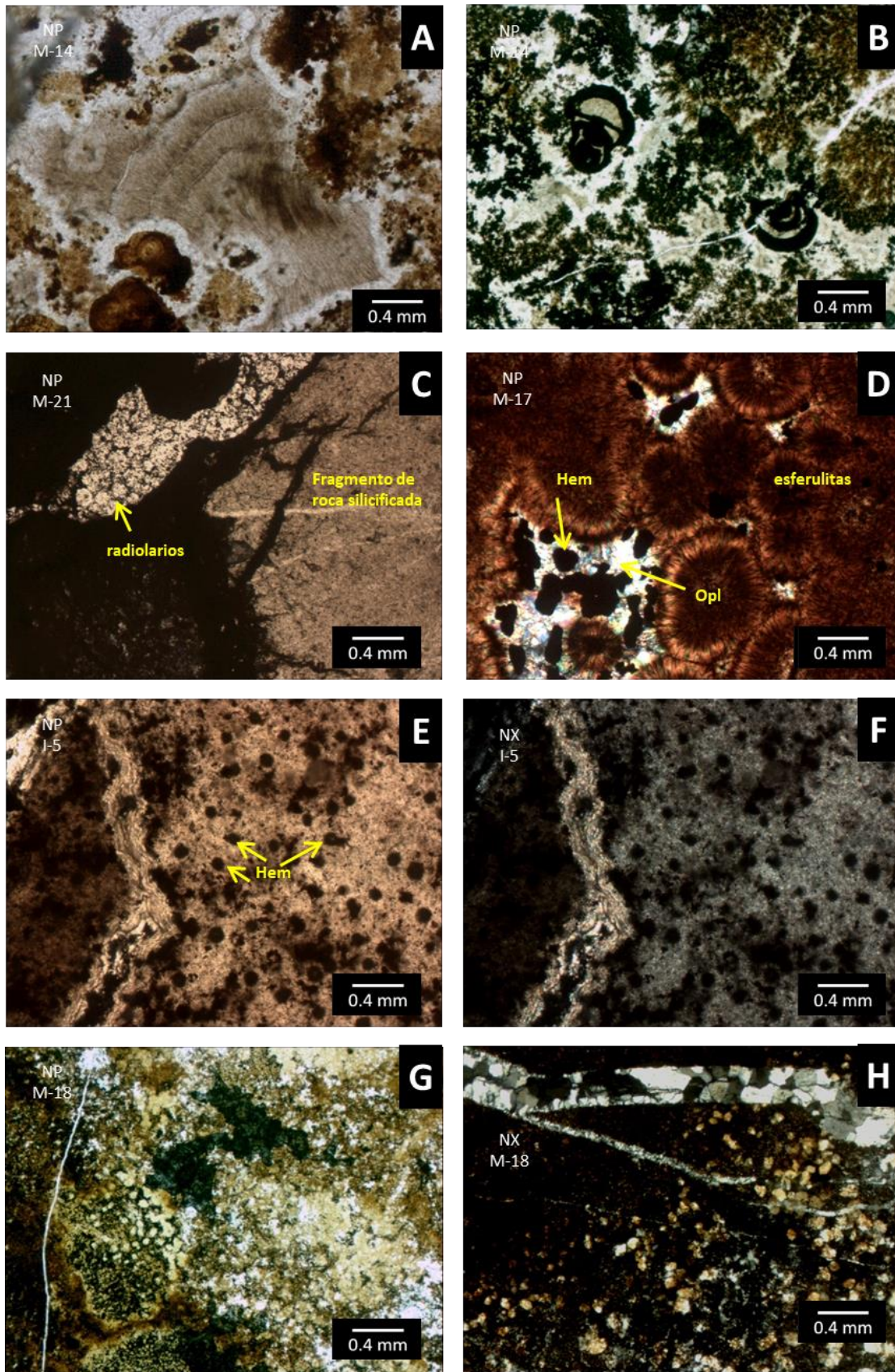


Figura 24. Cortes delgados de las muestras M-14 (A y B), M-21 (C), M-17 (D), I-5 (E y F) y M-18 (G y H). En A y B se observan bioclastos; en particular A muestra los restos de un alga roja mientras que en B se observa



cianobacterias del grupo Renalcis. En C se destaca la presencia de radiolarios (microfósiles silíceos). En D minerales con hábito esferulítico, presencia de hematita (Hem) y ópalo (Opl). En E y F se observan minerales de hematita (Hem) en cúmulo y en G resto de briozos silicificados. Por último en H observa cristalización de cuarzo rellenando vetillas.

A continuación, en la Figura 25 se muestra la ubicación de los Chert (Sílex) opalino y Cuarcitas recolectadas. Dentro de los Chert (rocas sedimentarias) se encuentran las muestras M-12, M-2, M-1 e I-1. Por otro lado, para las Cuarcitas (rocas metamórficas) se tiene las muestras PE-14 y PE-17.

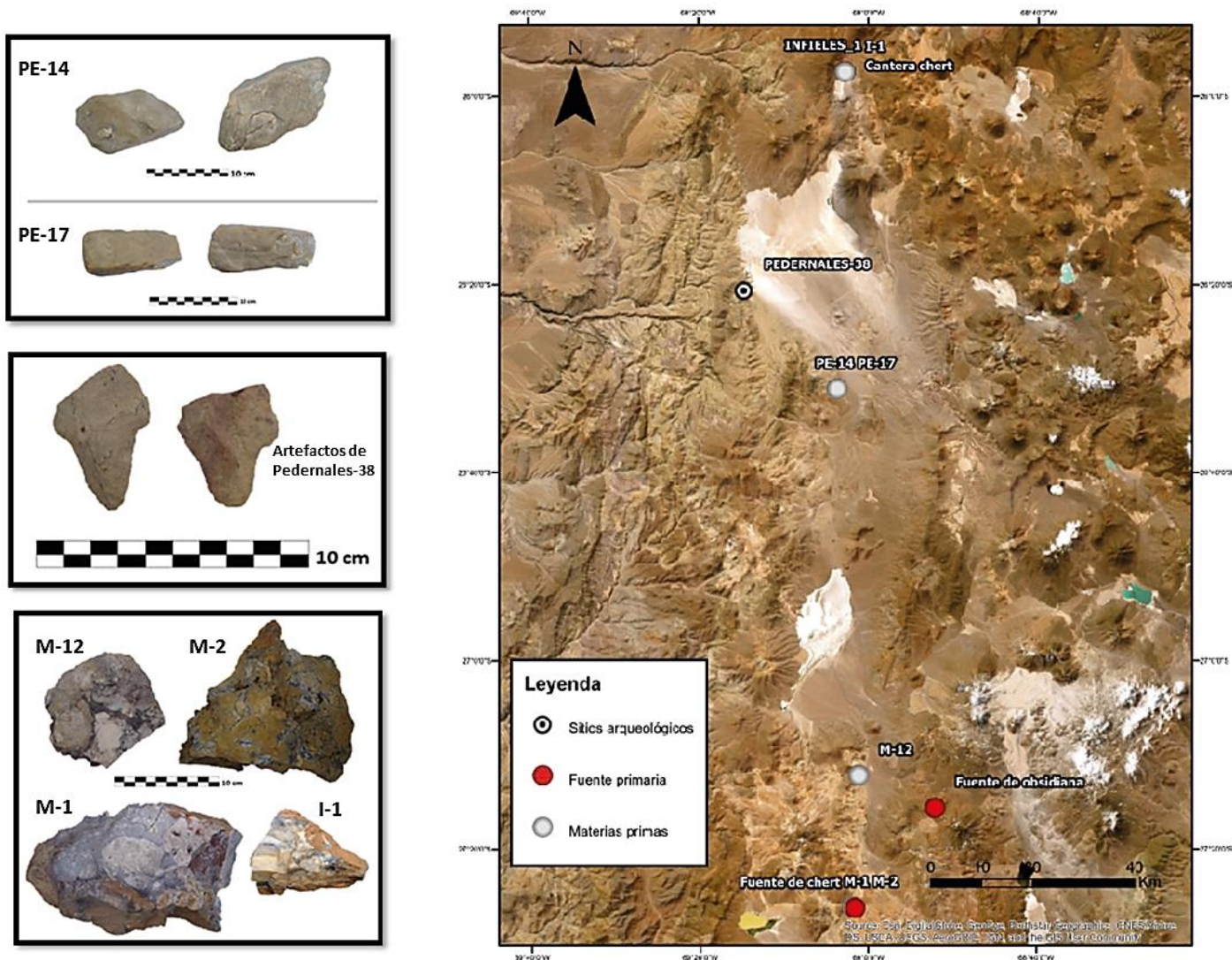


Figura 25. Mapa de ubicación de Chert opalino (M-12, M-2, M-1 e I-1.) y Cuarcita (PE-14 y PE-17) y sus artefactos arqueológicos asociado.



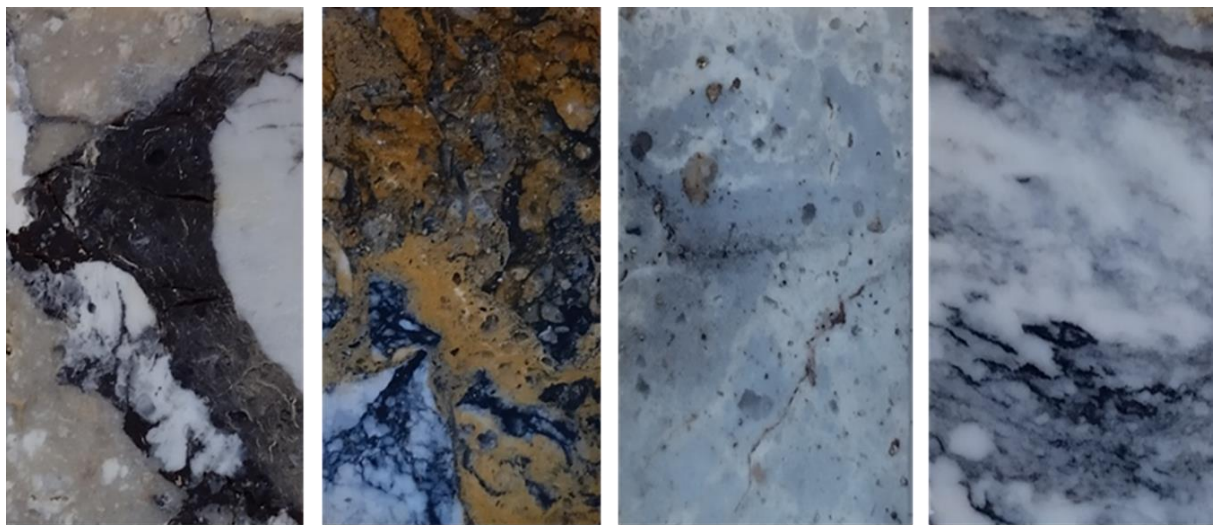
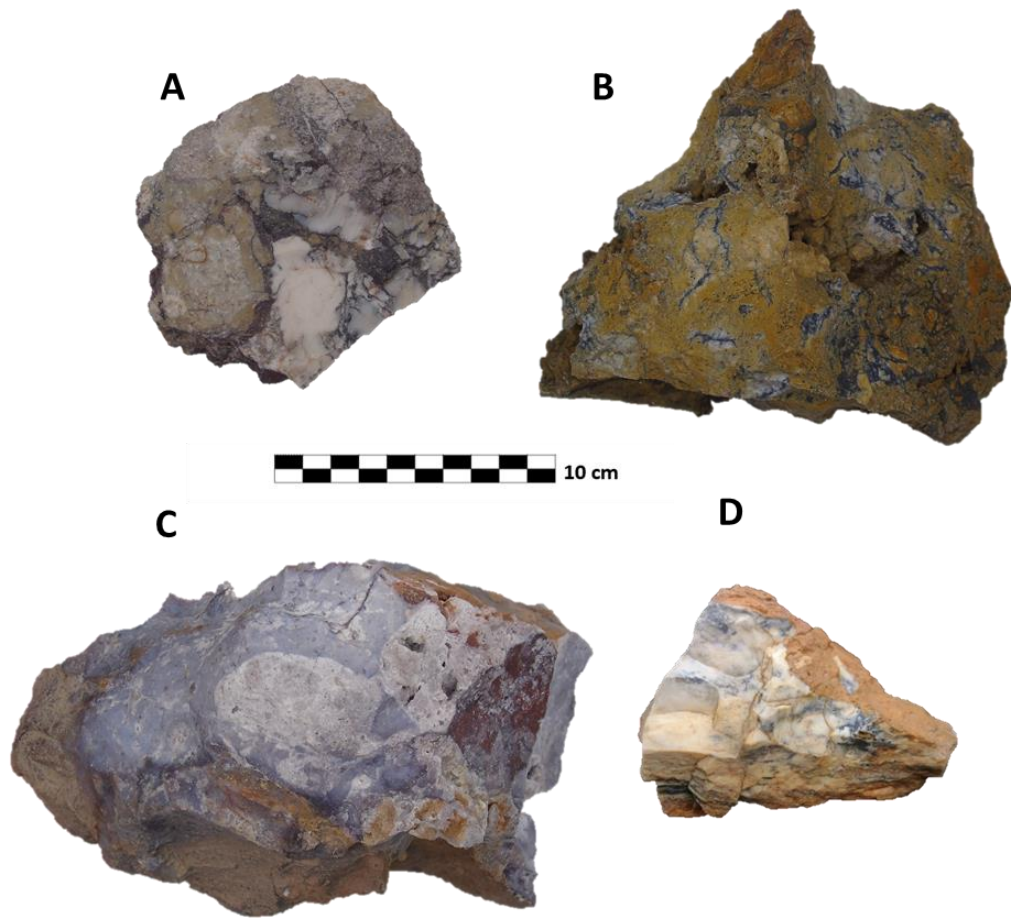
### *Chert (Sílex) opalino.*

La siguiente categoría consiste en chert (sílex) con clastos de cuarzo milimétricos que se encuentran cementados<sup>4</sup> por ópalo. Las muestras **M-1**, **M-2** y **M-12** corresponde a sílice con brechamiento en algunos sectores, los colores varían en azul claro (5PB 7/2 *pale blue*) para **M-1**, en **M-2** se mezclan naranja amarillento oscuro (10YR 6/6 *dark yellowish orange*) con negro (N1 *black*) y blanco azulado (5B 9/1 *bluish white*). Por último, **M-12** es una mezcla de blanco azulado (5B 9/1 *bluish white*) con gris parduzco claro (5YR 6/1 *light brownish gray*) y blanco azulado (5B 9/1 *bluish white*).

La muestra **I-1** difiere debido a su textura particular de bandas discontinuas negras en una matriz blanco azulada. Sin embargo, si se analiza un corte transversal de cada roca, las cuatro muestras tienen texturas distintas donde el brechamiento se ve más evidente en la muestra **M-2** (Figura 26).

---

<sup>4</sup> Si bien en las descripciones microscópicas se señala como matriz, esta aparece prácticamente cementada por lo que no es distinguible separar matriz de cemento y se considera como un todo.



**A**

**B**

**C**

**D**

Figura 26. Muestras de manos (imagen superior) y texturas de cada muestra mano (imagen inferior). A: M-12, B: M-2, C: M-1 y D: I-1

En cuanto a su descripción microscópica petrográfica se tiene:

**M-12:** Roca completamente silicificada con óxido en forma de franjas sinuosas y discontinuas o en cúmulos (Figura 27: E y F)

Matriz: 45% (sílice microcristalino y ópalo criptocristalino)

Clasto: 50% (cuarzo monocristalino 50%, de tamaño variable entre 0,01 y 3 mm, forma subhedral a anhedral, e inclusiones fluidas, óxidos 20% podría pasarlo a cemento y arcilla 30% aisladas y de tamaño inferior a 0,1 mm)

Porosidad: 5%

**M-2:** Roca silicificada muy alterada por óxidos aparentemente de manganeso que ennegrecen al sílice y/u ópalo (Figura 27: C, D)

Matriz: 50% (ópalo y sílice microcristalino ennegrecido por presencia de óxidos probablemente manganeso)

Clastos: 45% (ópalo 45% y minerales no identificados 55% con alto relieve, forma euhedral a anhedral posibles olivinos, tamaño entre 0,1 y 2 mm, apariencia “sucia”)

Porosidad: 5% (cavidades)

**M-1:** Roca silicificada muy similar a la muestra M-2, también ennegrecida (probablemente lo ennegrecido es ópalo con manganeso) con vetillas rellenas por sílice microcristalino (Figura 27: A, B)

Matriz: 40% (ópalo y sílice)

Clastos: 60% (ópalo 17% y minerales no identificados 83% por muestra de mano pueden corresponder a líticos de cuarzo de corte transparente muy grueso alterando los colores normales de interferencia)

**I-1** Roca casi completamente silicificada de textura foliada con presencia de óxidos y arcilla (Figura 27: G, H).

Matriz: 90% (ópalo y sílice criptocristalino).

Clastos: 10% (óxidos en forma anhedral o en cúmulos 70% y minerales tabulares 30%, no reconocibles).



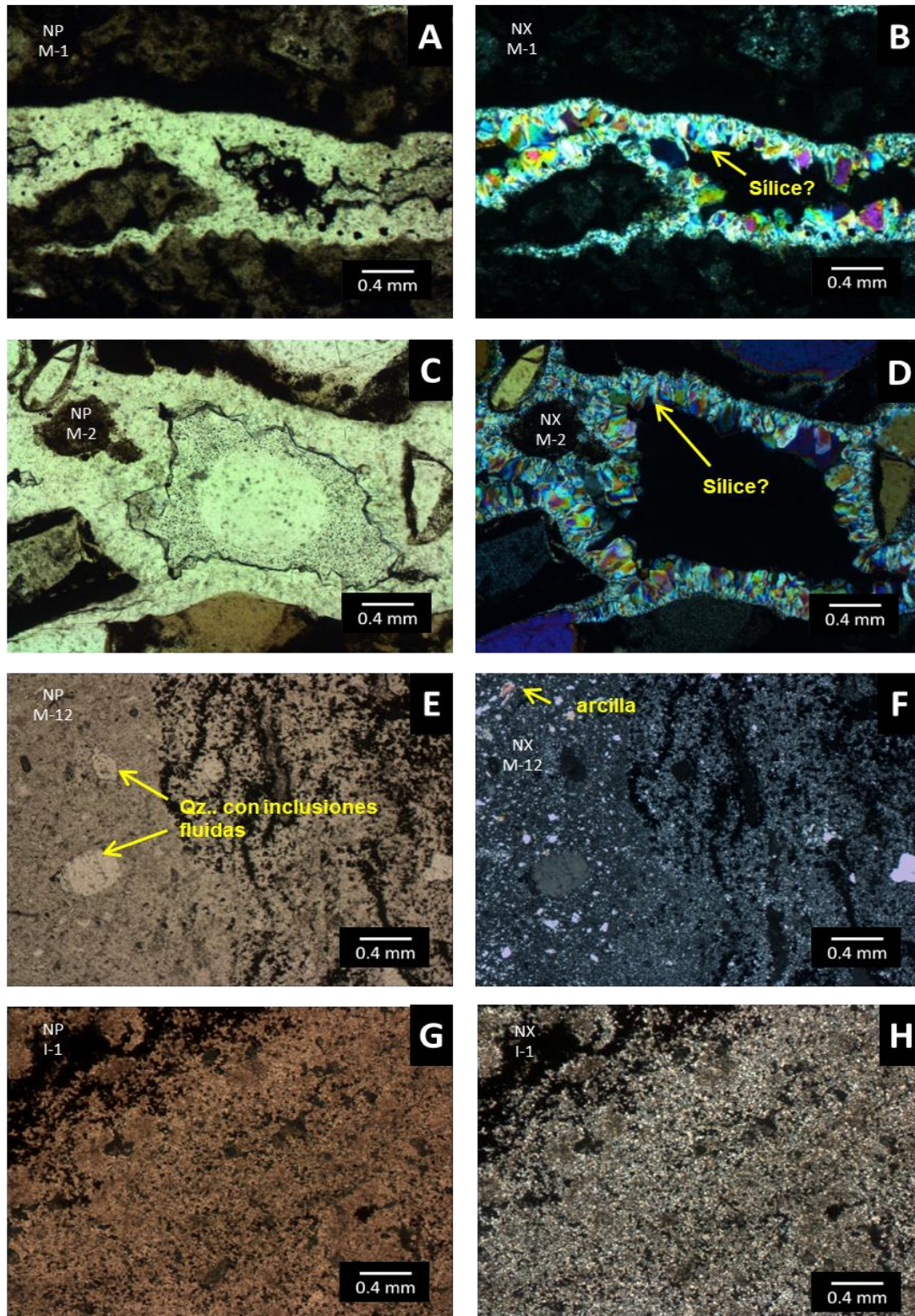


Figura 27. Cortes delgados de las muestras a nicols paralelos (NP) y nicols cruzados (NX): M-1 (A y B), M-2 (C y D), M-12 (E y F) y I-1 (G y H). En A y B se observa como las vetillas se encuentran rellenas por sílice (aparentemente) microcristalino; C y D presentan relleno de sílice y/u ópalo, en general la muestra se ve ennegrecida por óxidos de manganeso. E y F muestra una roca arcillosas con óxidos opacos formando franjas sinuosas, para G y H la roca se ve silicificada con presencia de óxidos.

## Rocas Metamórficas

### *Cuarcitas*

Sílice recristalizado opaco, sin porosidad. No presenta litofacies reconocibles a simple vista, corresponde a las muestras **PE-14** y **PE-17**. De color gris claro (N7 *light gray*) (Figura 28).

En el estudio petrográfico microscópico se aprecia una roca compuesta 100% por cuarzo cristalino que presenta rasgos asociados probablemente a bioturbación de forma recta y elongada que atraviesa el corte (Figura 29). Se ha reconocido como roca metamórfica debido a los contactos suturados en los granos de cuarzo, característica común en rocas metamórficas.

Matriz: 100% (100% cuarzo cristalino)



Figura 28. Materias primas; cuarcitas (A: PE-14; y B: PE-17) y Punta de proyectil, sitio Pedernales-38, recuperación superficial (C).



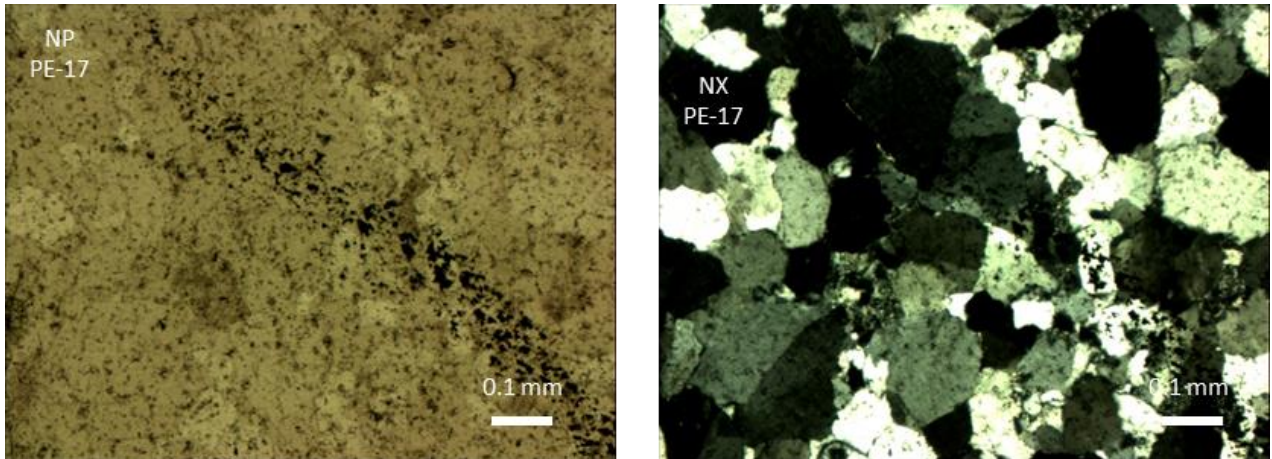


Figura 29. Cortes delgados a nícoles paralelos (NP) y nícoles cruzados (NX) correspondiente a la muestra PE-17. En la imagen izquierda se puede observar con claridad como la bioturbación forma una 'línea' recta que atraviesa el corte, mientras que en la imagen derecha a NX esta 'línea' se nota levemente debido a los colores de interferencia del cuarzo cristalino.

## Rocas Volcánicas

A continuación, en la Figura 30 se muestra la ubicación de diversas rocas volcánicas, entre ellas, andesita (M-4), tobas (M-19, PE-12 y PE-10) y obsidiana juntos a los artefactos arqueológicos que se asemejan a estas materias primas.

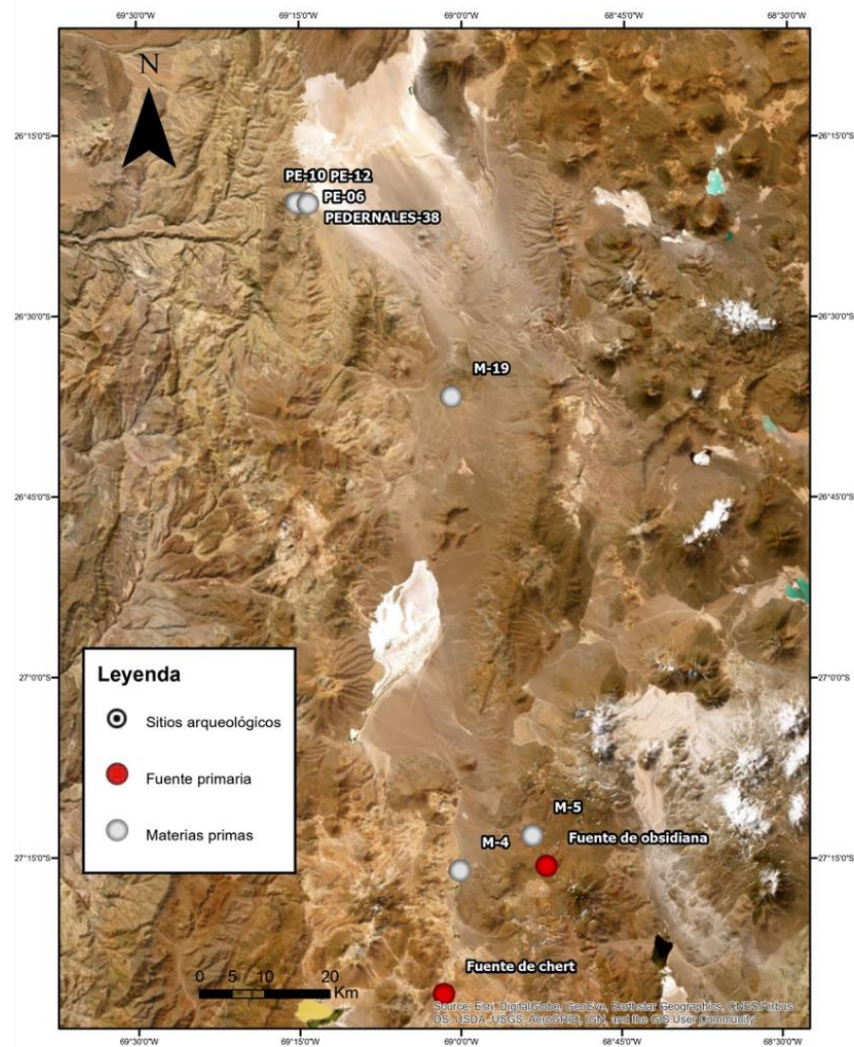


Figura 30. Mapa de ubicación de Andesita (M-4), Tobas (M-19, PE-12 y PE-10), Obsidiana (M-5) y sus artefactos arqueológicos asociados.

### *Andesita*

Roca afanítica de color negro (N1 *black*) a negro brillante (N2 *glayish black*) se distinguen escasos cristales de plagioclasa a simple vista (<1%). Se destaca la presencia de un alto magnetismo. Las muestras están representadas por **M-4** y **PE-06** (Figura 31).



Figura 31. Materia prima, andesita (imagen superior), y Punta de proyectil, sitio Pedernales-38, recuperación superficial (imagen inferior).



El estudio petrográfico microscópico (Figura 32) muestra una roca hipocristalina, con un alto porcentaje de plagioclasas orientadas en la mayoría del corte. Se reconoce la abundancia de magnetita distribuida homogéneamente en la muestra y presencia de anfíboles con bordes opacíticos, es decir, el reemplazamiento del mineral por minerales opacos.

Matriz: 28% (vidrio)

Clastos: 72% (cuarzo 3% (Qz), plagioclasa 56% (Pl), piroxenos 14%, anfíbol 7% (Amp), epidota 14% y opacos 6%)

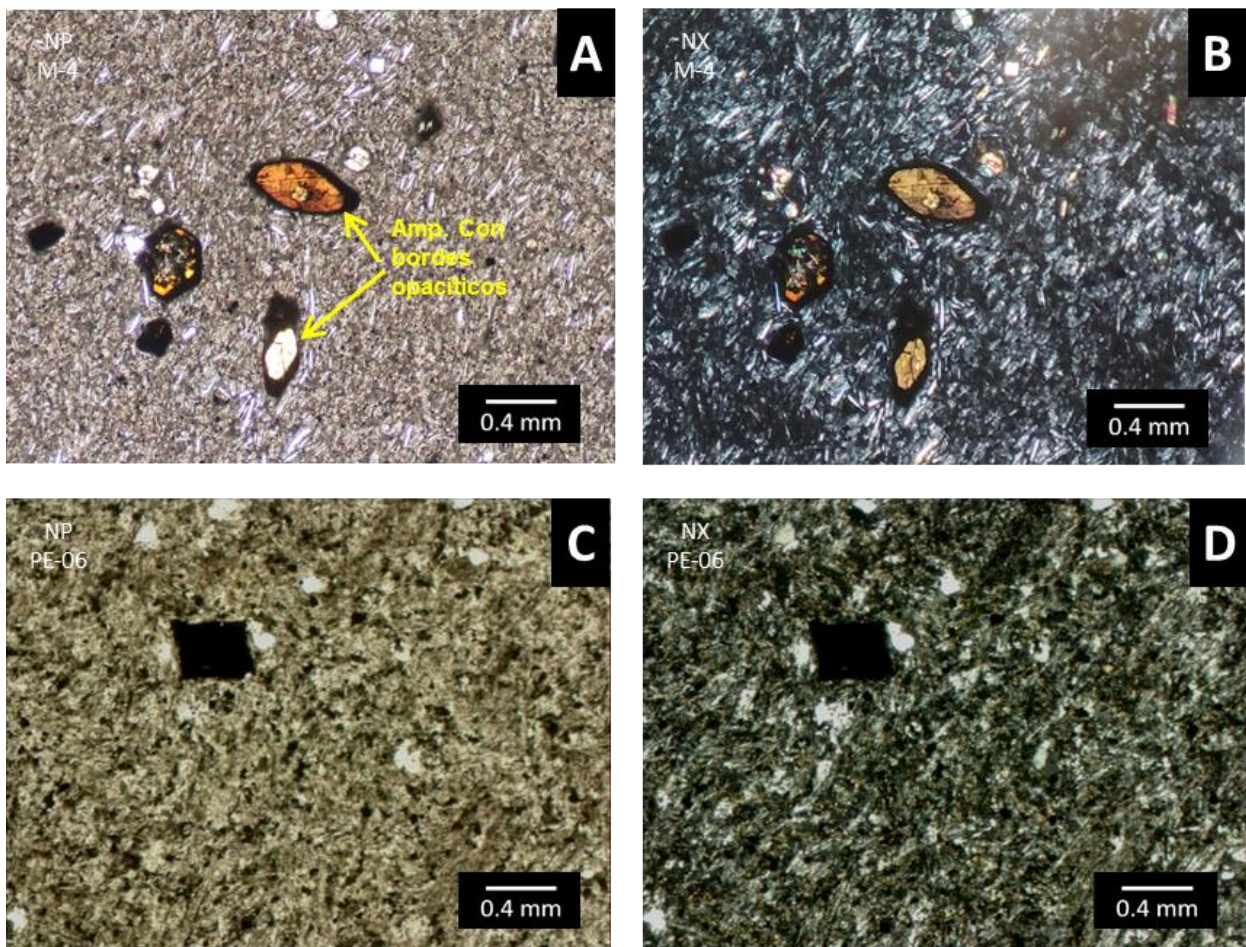


Figura 32. Cortes delgados a nícoles paralelos (NP) y nícoles cruzados (NX) correspondiente a las muestras M-4 (A y B) y PE-06 (C y D). La andesita de la muestra M-4 presenta anfíboles con bordes de opacíticos mientras que la andesita de la muestra PE-06 es más rico en clinopiroxenos. Ambas muestras presentan nódulos negros de magnetita más evidente en PE-06 (C) debido a su mayor tamaño.



## *Obsidiana*

Vidrio volcánico de color negro (N1 *black*), fractura concoidea y brillo vítreo. Se pueden observar fenocristales de sílice milimétricos. Representada por la muestra **M-5** (Figura 33)



Figura 33: Materia prima obsidiana (imagen superior), y desechos de talla de obsidiana (imagen inferior)

El estudio petrográfico microscópico (Figura 34) muestra una roca compuesta por vidrio volcánico con textura fluidal dada por el bandeamiento y fragmentos líticos de tamaño inferior a 0,1 mm.

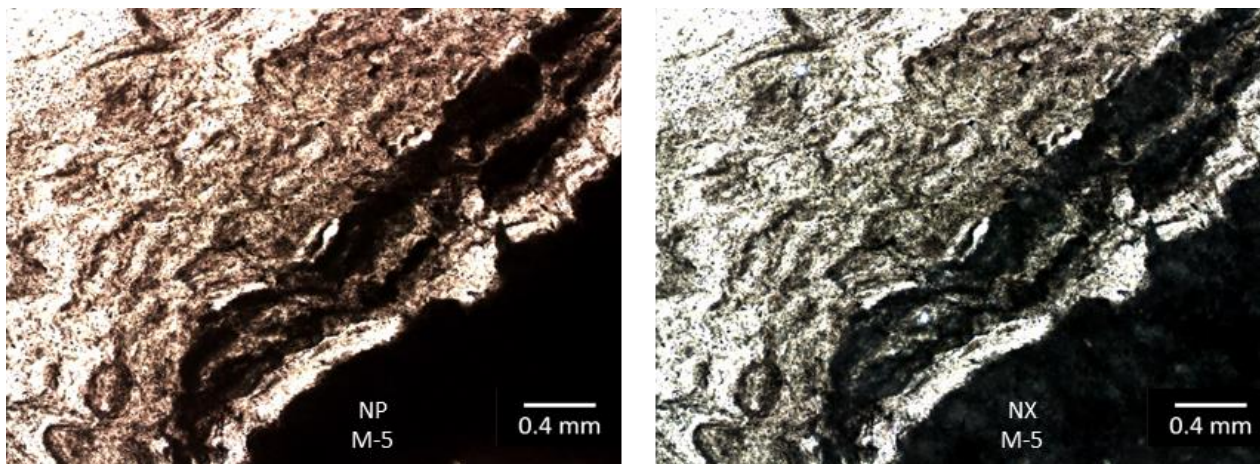


Figura 34: Corte delgado de obsidiana con textural fluidal nicoles paralelos (imagen izquierda), y nicoles cruzados (imagen derecha).

#### *Tobas silicificadas*

Este es uno de los grupos más abundantes representados por las muestras: **PE-10**, **PE-12** y **M-19**. Sus colores son muy variados, entre ellos se encuentran: rojo muy oscuro (5R 2/6 *very dark red*) muestra **PE-10**, púrpura muy oscuro (5RP 2/2 *very dusky purple*) muestra **PE-12** a pardo moderado (5YR 3/4 *moderate brown*) muestra **M-19**. Las muestras se caracterizan por presentar líticos de cuarzo entre 2% a 5%, y presentar zonas oscurecidas variando en los mismos colores ya nombrados.

Las rocas son de origen ígneo que han sufrido distinto grado de silicificación (Figura 35).





Figura 35: Materia prima, toba lítica. Muestras M-19, PE-12, PE-10 están representadas por A, B y C respectivamente (imagen superior) y puntas de proyectil confeccionadas con tobas, sitio Pedernales-38, recuperación superficial (imagen inferior).

A continuación, se mencionan las características petrográficas de cada muestra:

**PE-10:** Roca con reemplazo parcial de sílice, protolito ígneo de composición claramente distinguible debido al alto porcentaje de plagioclasas (Figura 36: A, B)

Matriz: 30% (vidrio)

Clastos: 68% (plagioclasas (microlitos 50%, entre 0,1 y 0,8 mm, 3%), feldespato 3% (miden entre 0.05 y 0.4 mm siendo alterados parcialmente por arcilla, y textura de sieve), epidota 2% (forma subhedral a euhedral con tamaño entre 0.05 mm y 0.4 mm), opacos 2% y fragmentos líticos 8% (completamente silicificados, angulosos y bordes rectos))

Porosidad: 2% (dada por fracturas)

**PE-12:** Roca silicificada casi en su totalidad, con la característica principal de presentar grandes calcedonias con habito radial (Figura 36: C, D)

Debido a la presencia de plagioclasas y aspecto de la muestra de mano se confirma el protolito ígneo, aunque prácticamente obliterado.

Matriz: 0%

Clastos: 100% (sílice policristalino, criptocristalino y calcedonia 80%, minerales pseudomorfos producto de la silicificación entre ellos se distinguen por el hábito tabular plagioclasas 18%, piroxenos 2%).

**M-19:** Roca alterada con reemplazo parcial a total de sílice donde el protolito ígneo es claramente identificable (Figura 36: E, F)

Matriz: 70% (vidrio con textura eutaxítica).

Clastos: 30% (cuarzo 10%, plagioclasas 50%, feldespatos 17%, óxidos de hierro 23%).



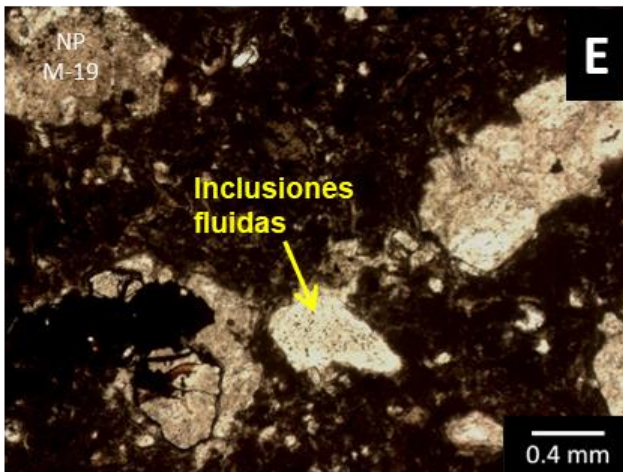
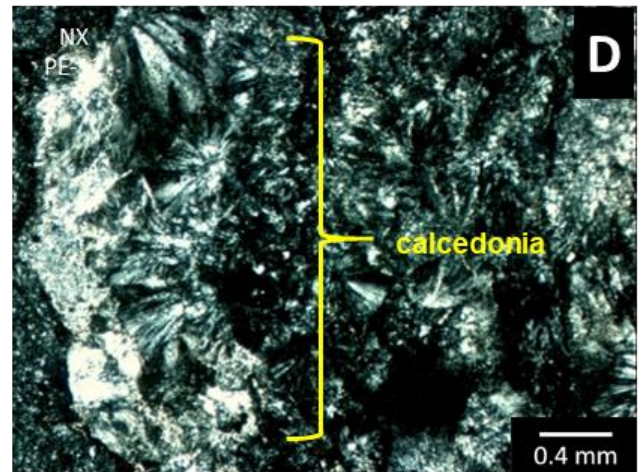
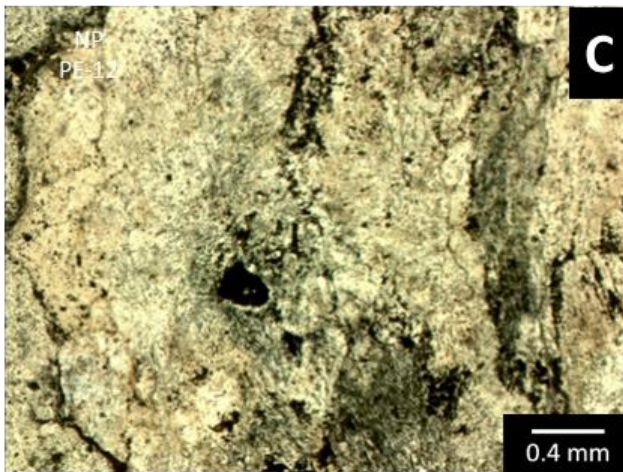
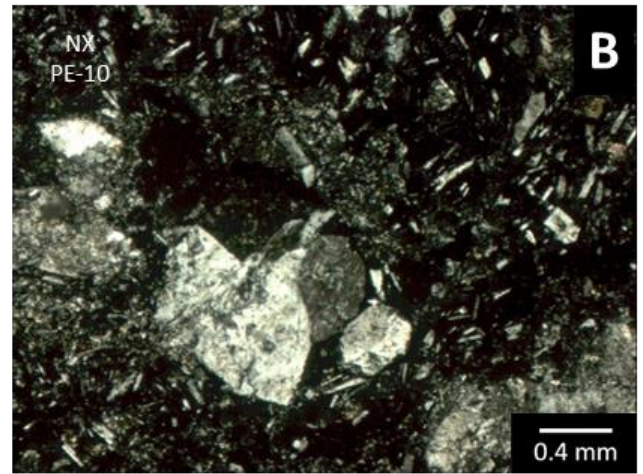
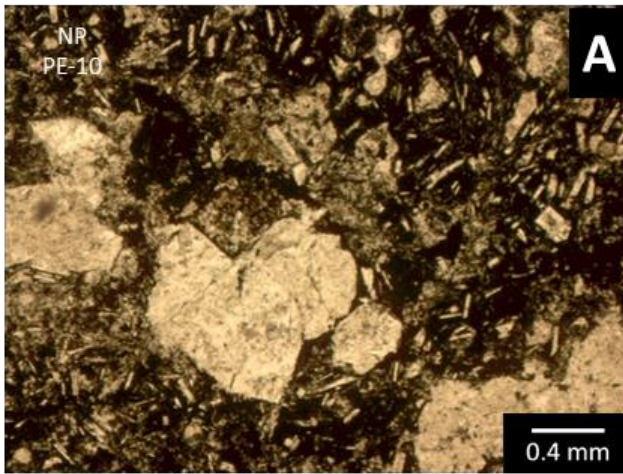


Figura 36: Cortes delgados de las muestras a nicols paralelos (NP) y nicols cruzados (NX): PE-10 (A y B), PE-12 (C y D) y M-19 (E y F). En ellas se puede apreciar parte de la roca que aún conserva sus minerales sin silicificar (A y B), tobas altamente silicificadas, con formación de calcedonia (C y D), y rocas que sólo conservan relictos de sus minerales originales (E y F).



### C. Fuentes primarias

Como se menciona en el capítulo 2.1.3 (Fuentes de materias primas y sitios arqueológicos considerados), se identificaron tres fuentes principales de materias primas, dos de ellas corresponden a los alrededores del Salar de Maricunga y una de ellas al Salar de Infieles (Figura 6).

En el Salar de Maricunga se encuentra una fuente de sílice y otra de obsidiana. La fuente de sílice se ubica en las cercanías del Laguna Negro Francisco, específicamente en Quebrada Pantanillo. Se recolectaron 3 muestras: M-1, M-2 y M-3, las cuales se caracterizaron petrográficamente de manera macro y microscópica, sobre todo debido a sus diferencias texturales (Figura 25 y 26).

Para la fuente de obsidiana ubicada en el volcán Cerro Manchado, se describe un núcleo proveniente de la Quebrada Los Patos, muestra M-5 (Figura 30 y 33). Existe la duda de si las poblaciones del Pleistoceno Tardío-Holoceno Temprano recolectarían la obsidiana directamente de su fuente o a través de la escorrentía por la Quebrada Los Patos.

Como se mencionó anteriormente en el Salar de Infieles se encuentra lo que correspondería a una cantera de sílice aledaña al sitio arqueológico Infieles-1, esto se deduce a la alta similitud entre los desechos arqueológicos de chert (sílex) y calcedonia comparados con las materias primas extraídas de la cantera, lo que se discutirá posteriormente.

### D. Fuentes secundarias

Las fuentes secundarias (todas las rocas descritas en este estudio salvo las mencionadas anteriormente (M-1, M-2, M-3, M-5) corresponden a rocas que han sido transportadas por gravedad (depósito coluvial) o flujos (depósitos aluviales y depósitos fluviales) (Borrero y Franco 1997; Franco 2002). En el caso de este estudio las rocas corresponden a rodados de materias primas que se encuentran en distintas quebradas como: Quebrada Pedernales, Quebrada de Peña blanca, Quebrada Villalobos, Quebrada Ciénaga Redonda, Quebrada Los Patos y Quebrada Pantanillo ( Figura 11, 22, 25 y 30). Es decir, zonas asociadas a depósitos fluviales, abanicos aluviales y depósitos coluviales, pero muchas de ellas también asociadas a sitios arqueológicos por lo que se podría suponer que los sitios arqueológicos no sólo estaban asociados a zonas de albergue transitorio, sino también a zonas donde se podría recolectar recursos líticos provenientes de otros lugares (formaciones).

### **2.3.2 Análisis de composición elemental por FRX para materiales arqueológicos y su comparación con materias primas**

La identificación de las materias primas utilizadas en la confección de artefactos arqueológicos se corroboró con la identificación de fases minerales características de

cada tipo de roca y su comparación con los resultados de SEM en materias primas<sup>5</sup>. Se realizaron análisis por Fluorescencia de Rayos X (FRX) a 27 muestras entre las que se encuentran artefactos arqueológicos y lascas, y 8 muestras de materias primas (Anexo C) donde una de la muestra I-5 tuvo un error de análisis marcando sólo sílice a pesar de su color rojizo, mientras que la muestra PE-16 no se pudo incorporar en ninguno de las categorías descritas posteriormente. En esta selección las materias primas identificadas visualmente son en su mayoría chert (sílex) y jaspe, le siguen cuarcita y tobas líticas silicificadas, chert (sílex) negro y andesita. Además de una muestra de dacita.

Con los datos obtenidos por FRX se corrobora la clasificación de las rocas debido a los elementos mayores (>1,0%) esperados para los distintos minerales formadores de este tipo de rocas, además se consideran también los elementos menores (0,1-1,0%) debido a que ayuda a esclarecer y diferenciar entre algunos tipos de sílices que presentan distintas tonalidades por la presencia de elementos químicos que forman minerales secundarios.

El porcentaje elemental referencial tipo según el mineral<sup>6</sup> es obtenido a través de una base de datos internacional (Mineralogy database, s.f.) con los que se confeccionó la Tabla 7

**Tabla 7: Porcentajes de elementos según el mineral**

Mineral	Si	Mn	Ca	Na	Al	K	Mg	Ti	Fe
cuarzo	100%	0	0	0	0	0	0	1	0
pirolusita	0	100%	0	0	0	0	0	0	0
albita	67.39%	0	1.07%	11.19%	20.35%	0	0	0	0
anortita	44.40%	0	19.20%	0.56%	35.84%	0	0	0	0
ortoclasa	64.76%	0	0	0	18.32%	16.92%	0	0	0
augita	48.30%	0	21.35%	1.31%	8.63%	0	15.35%	3.38%	6.08%
calcita	0	0	100%	0	0	0	0	0	0
magnetita	0	0	0	0	0	0	0	0	100%
olivino	39.19%	0	0	0	0	0	42.06%	0	18.75%
biotita	41.58%	0	0	0	11.76%	10.86%	23.24%	0	8.29%
hornblenda	51.22%	0	13.66%	0	10.86%	0	19.63%	0	2.43%
moscovita	45.21%	0	0	0	38.36%	11.81%	0	0	0

Los resultados entregados por el Laboratorio de Espectrometría de Fluorescencia de Rayos-X (EDX-XRF) del Departamento de Geología de la Universidad de Chile, se presentan en la Tabla C1 (Anexo C) desde el cual se hacen interpretaciones y se corroboran las materias primas identificadas visualmente en la etapa anterior (ver Caracterización petrográfica de material arqueológico).

El primer grupo corresponde a las muestras confeccionadas a partir de chert (sílex) y/o calcedonia. Estas muestras se pueden agrupar ya que la calcedonia está formada por sílice al igual que el chert (sílex), con la diferencia que se presenta de manera microcristalina y traslúcida. El diagrama (Figura 37) demuestra como las muestras presentan sílice como elemento principal el que se asocia a SiO<sub>2</sub>, además de Na (Na<sub>2</sub>O), Al (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) y K (K<sub>2</sub>O). Se destaca la presencia de Ca en las muestras FRX13C y FRX18B las cuales presentan tonalidades amarillas. Por lo demás, se incluye la muestra FRX4

<sup>5</sup> El análisis SEM se realizó sólo por problemas en el equipo para FRX por lo que los resultados obtenidos son también los elementos químicos de modo de poder comparar todo.

<sup>6</sup> Porcentajes promedios estimados de los elementos según el mineral presente en cualquier tipo de roca.

inicialmente clasificada como dacita, pero corregida a chert (sílex), ya que el análisis por FRX arrojó un alto contenido en sílice. Luego, al comparar XRF4 material arqueológico con su respectiva materia prima se confirma la roca como chert (sílex).

# Sílex

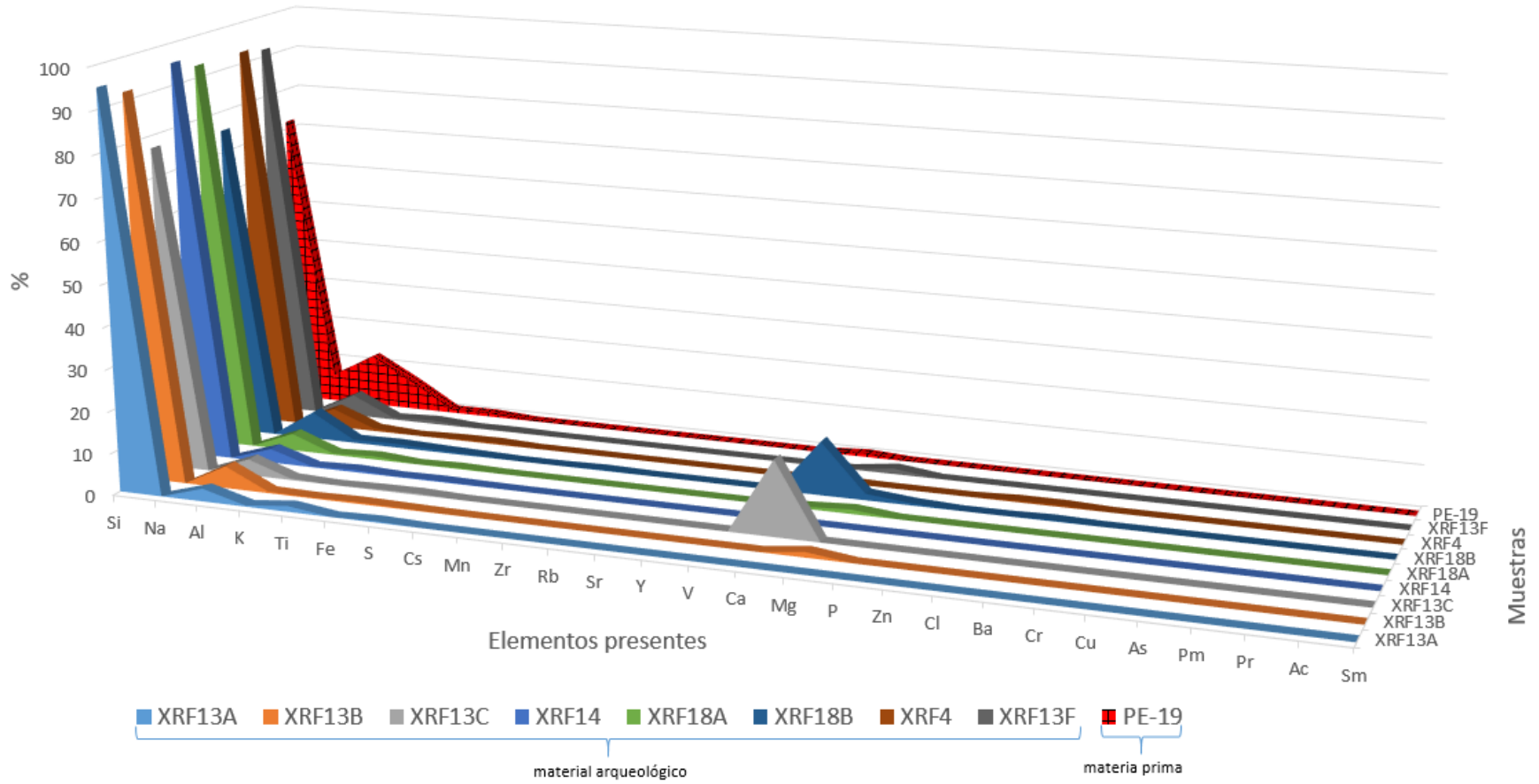


Figura 37. Diagrama multielemental resultados de FRX para materiales de chert (sílex).



El segundo grupo está formado por las muestras confeccionadas a partir de jaspe, variedad de chert (sílex) considerada como grupo aparte por su tonalidad rojiza variando a amarillo ocre debido probablemente a la incorporación de óxidos de hierro como se ve claramente en el diagrama de la Figura 38.

# Jaspe

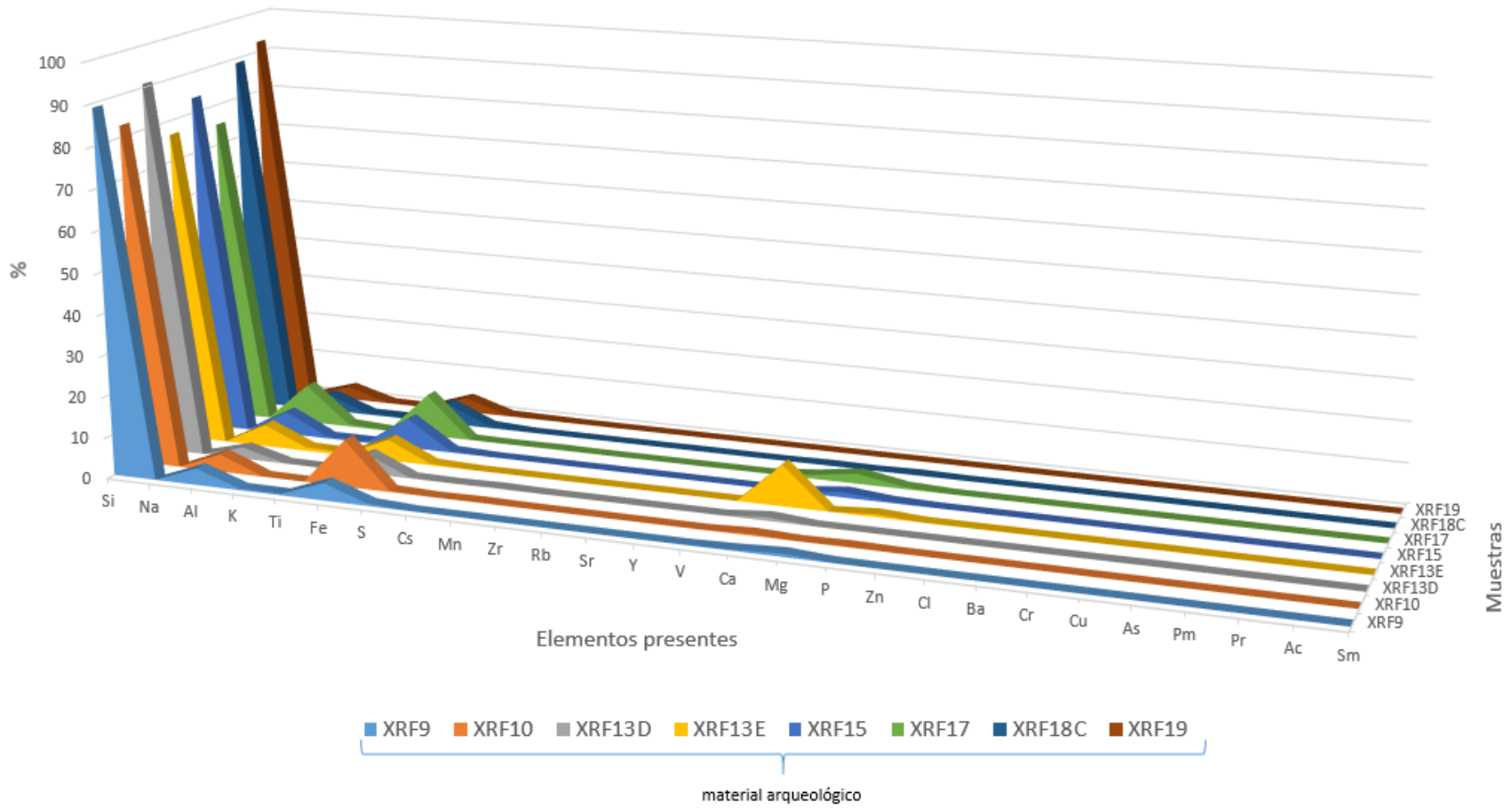


Figura 38. Diagrama multielemental resultados de FRX para materiales confeccionados con jaspe.

El tercer grupo pertenece a las cuarcitas, roca metamórfica rica en sílice cristalino, la cual en composición es similar al chert (sílex), roca sedimentaria, pero su textura varía debido a su proceso de formación que permite la recristalización del cuarzo y donde los contactos suturados entre granos de cuarzo es característico del cuarzo que ha sufrido proceso de metamorfismo (Figura 29 y 39). Sin embargo, al compararse los materiales arqueológicos con su respectiva materia prima PE-14, ésta tiene un porcentaje de sílice evidentemente mayor que los materiales arqueológicos, una razón podría ser que la materia prima (cuarcita) al poseer una cara fresca y, por lo tanto, sin efecto de alteración y /o meteorización a diferencia de los materiales arqueológicos expuestos a la superficie, posee menor variedad de elementos que una roca que ha sufrido procesos de alteración y/o meteorización los cuales incluye una mayor incorporación de elementos químicos a la roca.

# Cuarcita

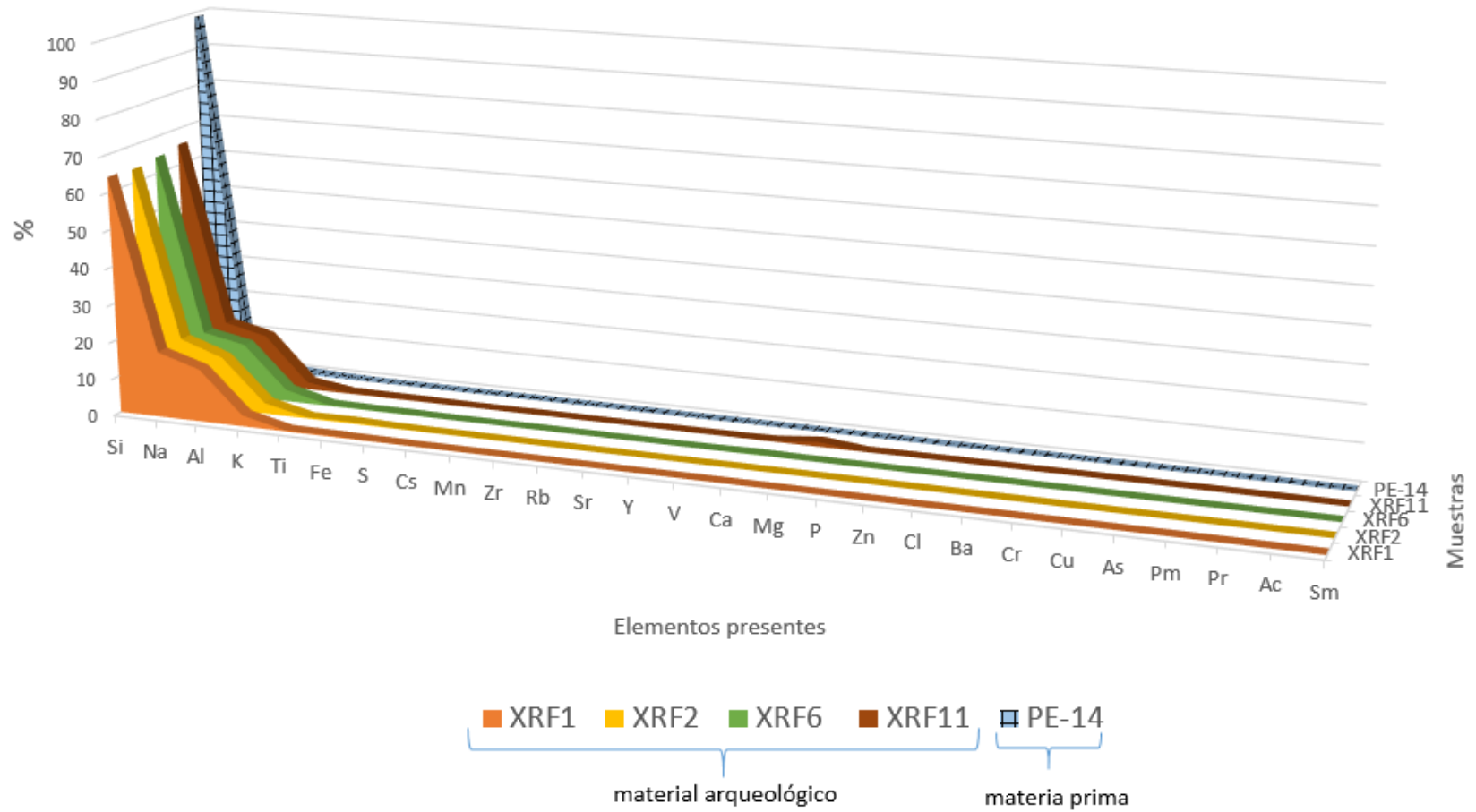


Figura 39. Diagrama multielemental resultados de FRX para materiales confeccionados con cuarcita



El cuarto grupo corresponde a las muestras confeccionadas con tobas líticas silicificadas, las que presentan como elementos mayores Si, Al y K (asociado a  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ , respectivamente), elementos presentes en minerales como el cuarzo, biotita, moscovita, y/u ortoclasas, característicos de magmas ácidos que generan comúnmente este tipo de roca (Figura 40).

### Tobas líticas silicificadas

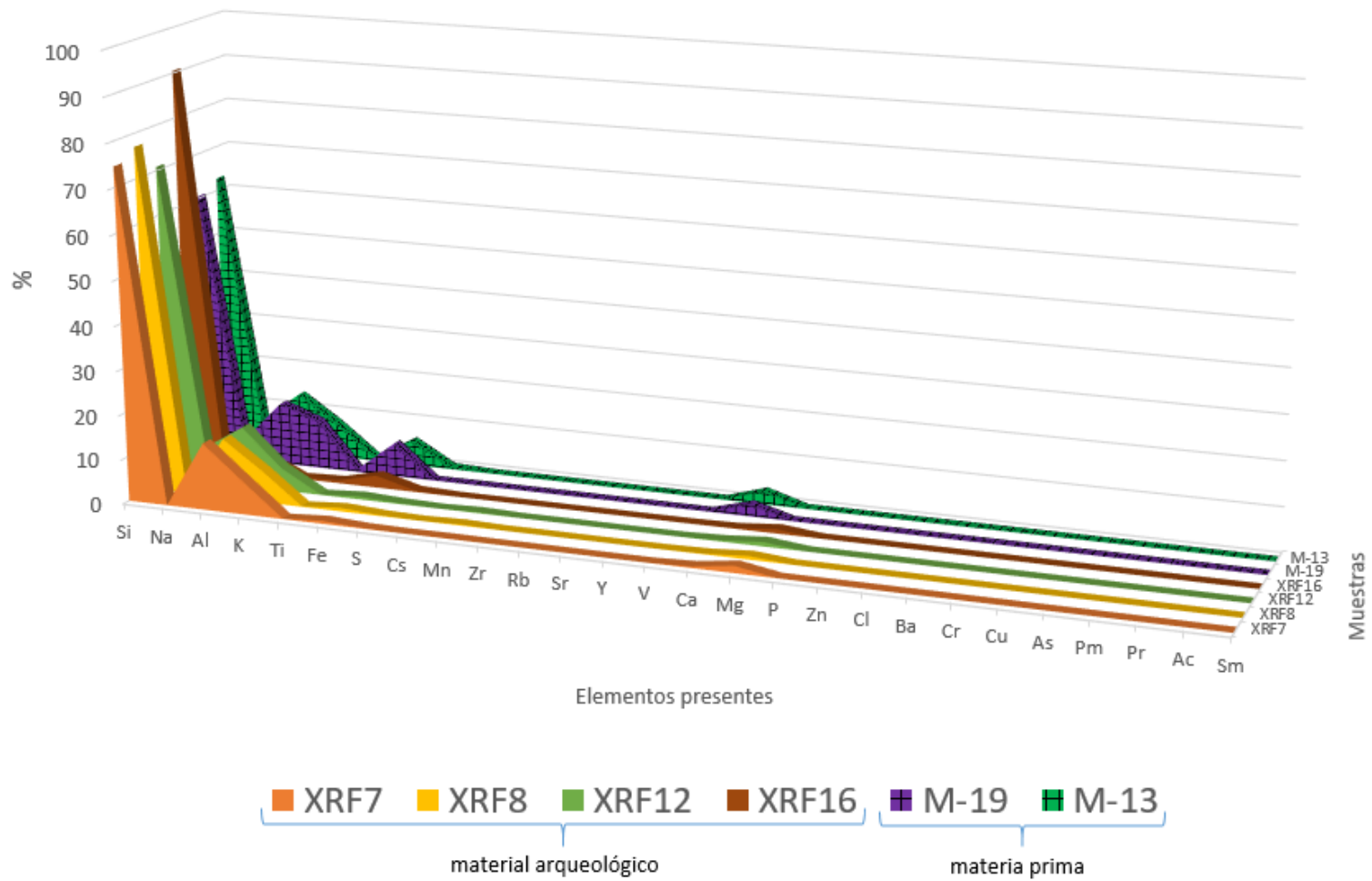


Figura 40. Diagrama multielemental resultados de FRX para materiales de toba lítica silicificada

En relación al quinto grupo (Figura 41) a la muestra FRX3, roca negra, afanítica con presencia de magnetismo se comparó con la muestra de andesita M-4 la cual también presenta magnetismo. Los resultados de Fluorescencia de Rayos X indican que se trataría de una andesita con un contenido en Si ( $\text{SiO}_2$ ) entre 52% y 59%, alto contenido en Na y K ( $\text{Na}_2\text{O}$  y  $\text{K}_2\text{O}$ ), además de la presencia de Ti, posiblemente relacionado a la presencia de piroxeno mineral común en rocas ígneas máficas, y el alto contenido de Fe justifica su carácter magnético, asociado a magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ).

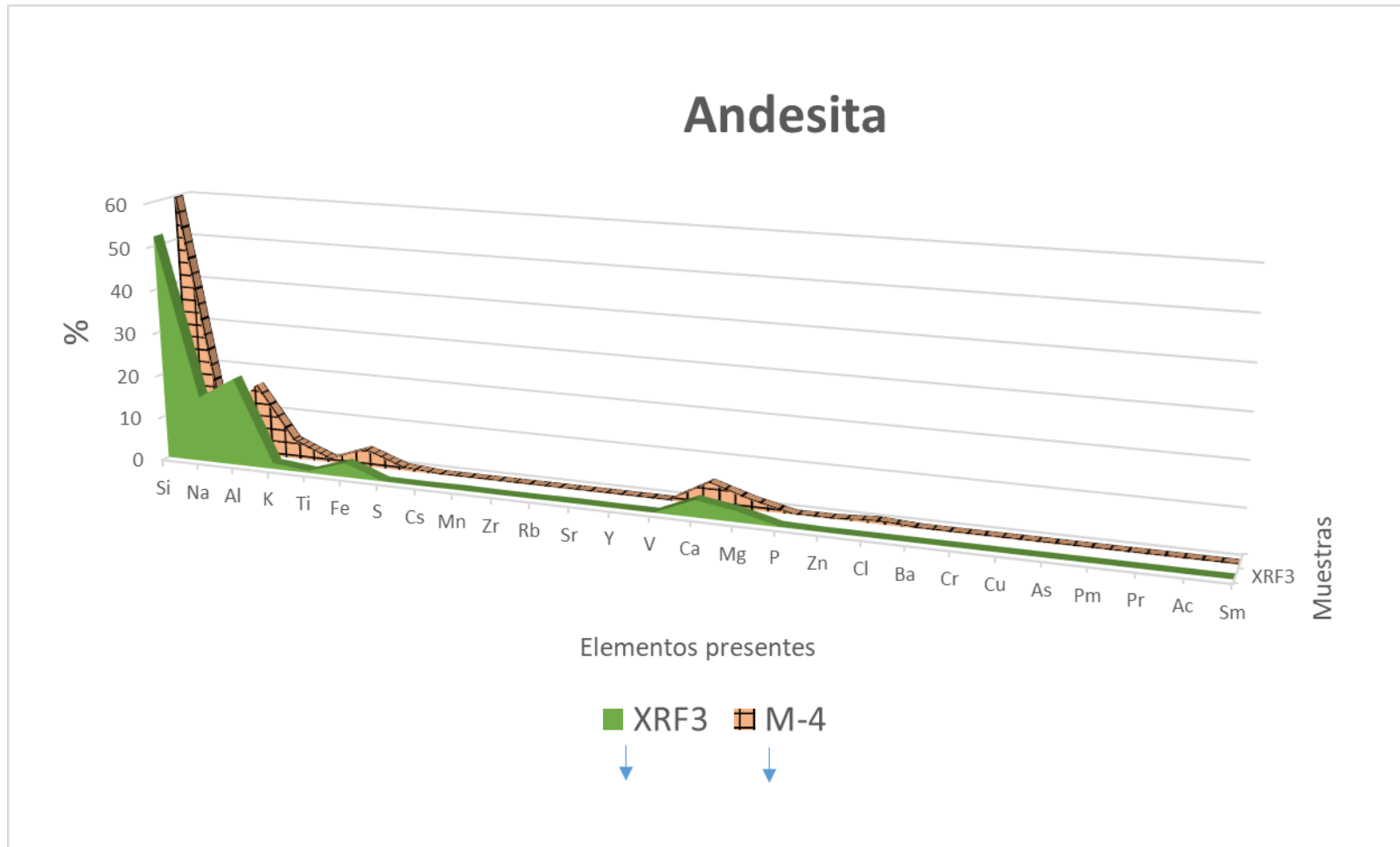


Figura 41. Diagrama multielemental resultados de FRX para materiales de andesita.



El sexto y último grupo corresponde también a un tipo de chert (sílex) (Figura 42) el cual se ha separado del resto debido a su color negro. Los datos de la muestra PE-22 materia prima de chert (sílex) negro sirvió para corroborar que el aspecto negro de los materiales arqueológicos con pequeñas zonas blanquecinas se trataría de manganeso. Los materiales arqueológicos presentan menor cantidad de manganeso y mayor de sílice, esto podría explicarse por la zona de la roca de donde extrajeron el material, ya que no necesariamente el manganeso se localiza homogéneamente en toda la roca. Además, al igual que el grupo de las cuarcitas, la exposición a la superficie y posterior meteorización del material le da mayor variedad de elementos que su materia prima. Se suma a lo señalado la presencia de Ba, lo que podría significar la existencia de un mineral compuesto de óxido de manganeso y bario.

# Sílex negro

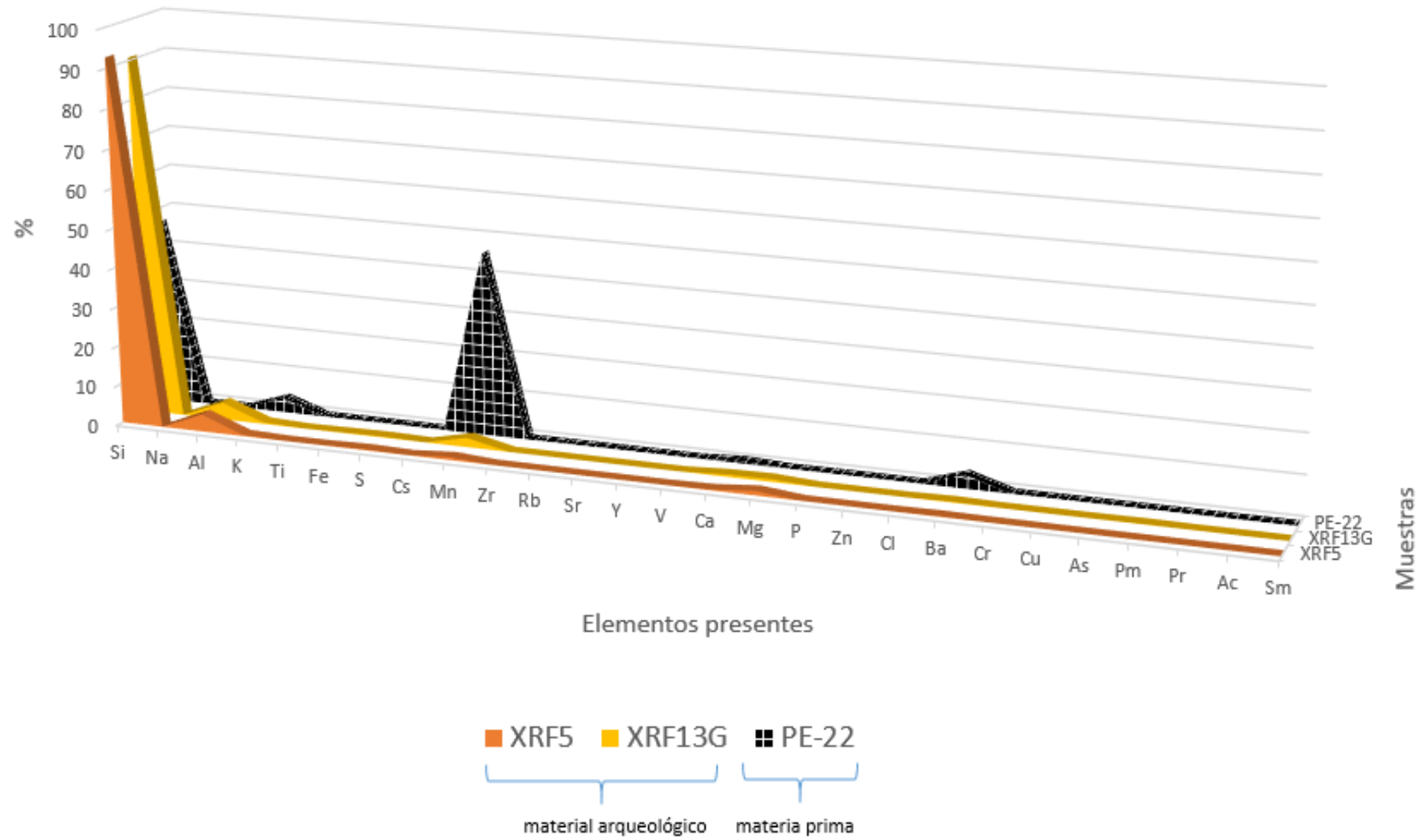


Figura 42. Diagrama multielemental resultados de FRX para materiales de chert (sílex) negro.

## 2.4 Discusiones

### Fuente y Petrografía de materias primas

Mediante el estudio geo-arqueológico sistemático en las distintas áreas de asentamiento de los cazadores recolectores, se localizan 3 fuentes primarias de abastecimiento de materia prima. Una se ubica cerca del sitio Infieles-1 (fuente de sílice) y dos se ubican hacia el sur del Salar de Maricunga (una de obsidiana y otra de sílice). Considerando el factor fuente de suministro-distancia real empleada para su aprovisionamiento, se deduce que la cantera ubicada cercana al sitio Infieles-1 funcionaba como un lugar de recolección y/o explotación debido a su cercanía, accesibilidad y rentabilidad para un aprovisionamiento satisfactorio. Por otro lado, la fuente de sílice ubicada en los alrededores de la Laguna Negro Francisco, a pesar de que no se encontraron sitios tempranos cercanos, tiene una muy alta probabilidad de ser un sitio de recolección debido a la cantidad de materia prima y su fácil acceso, pudiendo ser usada en una etapa de colonización. Para la fuente de obsidiana ubicada en el Volcán Cerro Manchado, cercana al límite actual Chile-Argentina, se podrían dar dos casos: una supone el posible paso por la cadena de los Andes Centrales, reuniendo estas materias primas desde la misma fuente, considerando que en la actualidad la fuente es accesible durante el verano, no así en los meses de invierno donde está cubierta de nieve (Loyola et al., 2023); la otra alternativa correspondería a la recolección de obsidiana a partir de fuentes secundarias, es decir, depósitos aluviales que llegan a zonas accesibles a través de la Quebrada Los Patos. En particular Loyola et al. (2023) señala la posibilidad de que los nódulos de obsidiana hayan sido transportados desde Cerro Manchado por acción aluvial a través de la Quebrada Ciénaga Redonda y redepositados en el abanico aluvial que descarga en el borde del Salar de Maricunga.

El análisis de los materiales arqueológicos asociados a los sitios Pedernales-38 e Infieles-1 muestra, sin duda, que la roca más utilizada durante el Pleistoceno Tardío y Holoceno Temprano eran aquellas ricas en sílice. Al analizar estos materiales arqueológicos, se observa que la mayoría corresponde a chert (sílex) y calcedonia, ambas rocas sedimentarias químicas completamente silicificadas. Debido a la similitud de ambas rocas, que se diferencian en su forma de cristalización, se puede observar que las muestras de mano pueden presentar zonas traslúcidas u opacas dependiente del espesor de la lasca. Por lo mismo, no es raro que desde una misma roca hayan obtenido muestras de chert (sílex, o comúnmente llamado sílice) y de otras calcedonias. Es así como nódulos provenientes de la cantera aladaña al sitio de Infieles-1 coinciden con las lascas de este sitio. Por lo tanto, esto suma una nueva evidencia para asociar la fuente de materias primas para la construcción de los materiales arqueológicos del sitio Infieles-1. Otro punto a destacar es la variedad de chert (sílex) que se puede encontrar en la zona; si bien están formados por la misma mineralogía, presentan distintos tonos debido a las impurezas dadas por las variedades de elementos químicos que pueden albergar en su estructura, por ejemplo, Fe que le suele dar tonalidades rojizas como también se puede observar a partir de FRX (Figura 38).

Dentro de los materiales arqueológicos manufacturados con rocas silíceas, se reconocen variaciones a nivel macroscópico, es por ello que se recolectan variadas rocas silíceas

que presentan características mineralógicas y texturales distintas. Es probable que ante la dificultad de encontrar una roca homogéneamente silicificada se haya utilizado todo tipo de rocas silíceas. En este sentido, al observar las rocas a nivel microscópico se puede reconocer diferentes tipos de origen de estas rocas. El primero y más abundante corresponde a un origen volcánico, pues se observan minerales pseudomorfos, es decir, que no están completamente reemplazados por sílice y que son característicos de rocas volcánicas, por ejemplo, plagioclasas. Si a esto se le asocia la intensa alteración hidrotermal que se encuentra en las zonas aledañas, asociadas a mineralización de oro y plata, es esperable que se encuentre una fuente de sílice en el Complejo de domos, cuerpos hipabisales y depósitos piroclásticos de la Quebrada Pantanillo (Figura 4C). Esta fuente consta específicamente de chert (sílex) opalino con texturas de brechamiento muy variadas para un mismo sitio, lo que muestra la complejidad de las rocas silicificadas. Aun así, su característica principal es su dureza -debido a la presencia de sílice que ha alterado completamente la roca-, la presencia de cristales de cuarzo -texturas dadas también por fluidos ricos en manganeso- y la presencia y cantidad de óxidos de Fe que le da distintas tonalidades; consecuentemente, de estas rocas también se pueden obtener lo que comúnmente se llama jaspe. En síntesis, respecto a rocas sedimentarias, las materias primas que se tienen para los materiales arqueológicos son principalmente chert (sílex), calcedonia y jaspe, y le seguirían las brechas y tobas silicificadas. No obstante, se encontró variedades de jaspe (ver Características petrográficas 2.3.1) donde su origen era claramente proveniente de rocas sedimentarias bioclásticas, pero al no tener análisis de FRX de estas materias primas no se puede asegurar que hayan sido usadas para la manufactura de artefactos arqueológicos, además de estar muy alejadas de los sitios arqueológicos. Finalmente, por otro lado, hay presencia de cuarcita que corresponde a una roca metamórfica igualmente rica en sílice, pero recristalizada por el metamorfismo, la que podría corresponder a la Formación Chinchas, ubicada al norte del Salar de Maricunga.

Los artefactos y materiales arqueológicos construidos a través de brechas y tobas con distinto grado de silicificación, como se observa a nivel microscópico y se corrobora con FRX, no son de extrañar, debido a la gran variedad de complejos volcánicos que se encuentran en zonas aledañas, con distritos mineros que presentan mineralización epitermal de plata y oro. La alteración hidrotermal puede presentar distintos tipos de silicificación: 1. Silicificación intensa con argilización avanzada y “vuggy silica” (sílice residual porosa) asociado a fallas y brechas hidrotermales, 2. Silicificación moderada con argilización y “vuggy silica” y 3. Silicificación intensa que reemplaza completamente la roca original (Cecioni y Dick, 1992). Por ejemplo, en el modelo genético del yacimiento Can Can, localizado en la parte norte de la Franja Maricunga, en la etapa hidrotermal tardía de silificación y brechización existe en superficie calcedonia y azufre nativo a partir de la brechización tipo *stockwork* de vetas de sílice y alunita, con valores altos de Au/Ag (Cecioni y Dick, 1992). Por otro lado, específicamente en Quebrada Pantanillo, donde se ubica una de las fuentes de sílice, existe alteración sílice calcedónico/ópalo + caolinita ± alunita, tipo *steam-heated*. La asociación caolinita + alunita + ópalo + sílice ± cristobalita ± azufre nativo refleja niveles muy superficiales de alteración hidrotermal tipo *steam-heated*. Esta alteración se ubica en niveles volcanoclásticos permeables, muy cerca de la paleosuperficie. Localmente se presentan niveles subhorizontales tabulares de sílice calcedónico, producido por el descenso desde la zona vadosa de fluidos de baja temperatura ricos en sílice que se acumularon en el paleo-nivel freático. Este tipo de



alteración sobreyace o se sobreimpone a la alteración argílica avanzada estratoligada y a los *ledges*<sup>7</sup> de sílice-alunita (Callan, 2006; Gamonal, 2007). Sin embargo, la silicificación de una roca también se puede dar por procesos diagenéticos en rocas carbonáticas, pero en este estudio, al no encontrarse material arqueológico asociado a este tipo de rocas, se da énfasis a la silicificación por procesos hidrotermales.

### **Rocas silicificadas versus obsidiana**

En base a lo expuesto, se justifica la utilización de rocas silicificadas para la manufactura de artefactos arqueológicos debido a la presencia de fuentes de estas materias primas. Sin embargo, también se encontró una fuente de obsidiana, materia prima de alta calidad para la talla pero, escasamente encontrada en el sitio Pedernales-38 y ausente en el sitio Infieles-1. La interrogante que surge ante este hecho, es ¿por qué hay mayor énfasis en el uso de rocas silicificadas versus obsidiana? La respuesta podría estar en la visibilidad de la materia prima. Para abordar esta hipótesis, recordamos la presencia del periodo húmedo dado por el evento de cambio ambiental *Central Andean Pluvial Event* (CAPE) que ocurrió entre 12.700-9.700 años cal. AP, el cual provocó mayores precipitaciones, lo que favorecería las fases lacustres (Grosjean et al., 1995; Sylvestre et al., 1999) y los avances glaciares (Hastenrath y Kutzbach, 1985; Messerli et al., 1993). Los resultados obtenidos por Ammann et al. (2001) sugieren condiciones húmedas en la parte norte (18-24°S) durante la época glacial tardía, con un fuerte aumento de las precipitaciones convectivas durante el verano austral. Plantean la coincidencia temporal de glaciares en las montañas y altos niveles lacustres en el Altiplano (Fase Tauca). Hacia el sur, sus reconstrucciones de glaciares no implican un simple desplazamiento de los vientos del Oeste, afirmando que el límite septentrional de la humedad efectiva para la formación de glaciares no se desplazó significativamente, sino que se mantuvo en la zona de los glaciares más septentrionales actuales de los vientos del Oeste, a unos 27°S. Conjuntamente, estudios anteriores indican que la línea de nieve del Pleistoceno Tardío se encontraría por debajo de la línea de nieve moderna en el sector entre 24° y 28° S de latitud, aunque señala que su descenso no sería uniforme (Fox, 1991). En particular Nogami (1976) reporta una altitud de 4900 m para la base del circo glaciar en el área de la Laguna del Negro Francisco (27°15'-27°30'S y 69°00'-69°15'W). Sin embargo, dataciones recientes de <sup>10</sup>Be en rodados morrénicos a una altura entre los 3.678 msnm a los 4.153 msnm, perteneciente al valle del río Encierro (29,1°S-69,9°O), sugieren que la deglaciación del valle se completó hace 18-17 ka. Por lo tanto, no se produjeron avances importantes después de esta fecha (Aguilar et al., 2022).

Frente a lo expuesto, existe la posibilidad de que la fuente de obsidiana ubicada a más de 6.000 msnm de altitud, alrededor de los 27°S, es decir, más al norte y con mayor altura que el valle del río Encierro, la influencia del CAPE permitiera la conservación de glaciares durante los ~12.700 años cal. AP, o al menos sea un punto de inflexión entre el comienzo de la deglaciación. Por tanto, la fuente de obsidiana encontrada en este estudio haya estado cubierta de hielos “eternos” y, por ende, oculta. Además, es posible que, debido al aumento de precipitaciones y escorrentía andina dados por el CAPE, una

---

<sup>7</sup> Ledges: estructuras silicificadas emplazadas a lo largo de fallas, fracturas o fisuras en las cuales las rocas involucradas presentan una textura residual silícea, caracterizadas por la lixiviación total de los minerales constituyentes de la roca con reemplazo y recristalización de cuarzo macizo (vuggy silica), lixiviación que es originada por soluciones hidrotermales de bajo pH (Vikre, 1989).

diversa vegetación *hygrophytic-halophytic* (Pfeiffer et al., 2018) haya restringido la visibilidad de las materias primas.

Otra posible explicación puede estar en las características físicas de ambos tipos de rocas: chert versus obsidiana. Gala et al. (2022) menciona dos factores funcionales que pudieron haber influido en la elección del material para las armas con puntas de piedra: durabilidad (si se rompe o no) y robustez (cuánto daño sufre en caso de rotura). Para ello, realizó evaluaciones experimentales a través de pruebas semiestática de compresión *Instron* de geometrías lanceoladas fabricadas con obsidiana y con chert y de impacto balístico dinámico. En el caso de las pruebas semiestática de compresión, la obsidiana resultó ser significativamente más frágil que el chert. Por otro lado, en las pruebas de impacto balístico dinámico, la mayor fragilidad de la obsidiana se traduce en roturas más frecuentes de la punta, en comparación con la rotura de la punta de chert, y en una mayor pérdida de longitud de la punta, en comparación con la pérdida de longitud de la punta de chert. En igualdad de condiciones, si la mayor durabilidad y robustez de la punta del arma era la principal preocupación de una persona en el pasado, entonces debería haber elegido el chert en lugar de la obsidiana. Sin embargo, existen múltiples factores que podrían primar más allá de la durabilidad y robustez del material (por ejemplo, la facilidad de retoque y reafilado posterior a la rotura que permite la obsidiana comparada con el chert).

### **Paisaje lítico y su importancia**

Respecto al paisaje lítico, la evaluación de los recursos líticos disponibles y la diagramación de un paisaje lítico es crucial para interpretar las conductas humanas llevadas a cabo en determinados espacios (Méndez, 2015). Para ello, abundancia y calidad son los criterios necesarios para la evaluación regional de la oferta en recursos líticos (Andrefsy, 1994). En este estudio, se identificaron principalmente rocas silicificadas, entre las cuales se mencionan chert, brechas y tobas silicificadas. La variabilidad de texturas se traduce en distintos grados de calidad para la talla, y susceptibles de adelgazamiento bifacial. Por ejemplo, una toba silicificada puede variar su calidad según la presencia de líticos, fracturas concoidea a subconcoidea, volviéndola de media a alta calidad, mientras que una roca afanítica, de grano fino y homogéneo de fractura concoidea, tendrá una alta calidad (Méndez, 2015). En base a lo mencionado, se deduce que un chert afanítico, homogéneo y traslucido, de fractura concoidea, como el encontrado en la fuente cercana a Infieles-1, es de alta calidad y es susceptible al adelgazamiento bifacial.

Considerando la variabilidad de texturas y diversidad de rocas silíceas distribuidas heterogéneamente, los grupos humanos tuvieron que jerarquizar el espacio y adecuarse a la disponibilidad de rocas. Se podría postular que la presencia de sitios tempranos en los salares de Pedernales e Infieles se debe a la proximidad de una fuente de materia prima de alta calidad (Figura 6). Mientras que la ausencia de sitios tempranos cercanos a la fuente de sílice en Quebrada Pantanillo se debe a su media a baja calidad dada por su textura heterogénea (Figura 26). A esto, hay que agregar que otras fuentes pudieron no ser reconocidas debido a la señal antrópica dejada por las mineras, donde es altamente probable la presencia de rocas silicificadas producto de la mineralización epitelial de plata y oro. Sin embargo, destaca que la mayoría de las materias primas

recolectadas en este proyecto son extraídas desde fuentes secundarias, principalmente aluviales y coluviales, lo que lleva a plantear si, de la misma manera, los grupos humanos habrían dado preferencia a los rangos de movilidad, prefiriendo recolectar de este tipo de depósitos secundarios o habrían llegado a la fuente misma. Posiblemente, se pueden haber dado ambos casos, debido a la probabilidad de encontrar una roca más homogénea y mayor cantidad de éstas siguiendo la proveniencia de estos depósitos arrastrados por diversos medios (agua, deglaciación, gravedad).

### **Poblamiento temprano y su relación con el uso de fuentes de materias primas**

Considerando que este trabajo se centra en el poblamiento temprano, queda pendiente referirse al uso de fuentes de materias primas durante las fases de exploración y colonización planteadas por el modelo de Borrero (1989). Aunque, la aplicación de este modelo requiere un análisis a nivel regional de los sitios arqueológicos tempranos, es posible aplicar sus conceptos de modo predictivo. Primero que todo, el contexto paleoclimático favoreció la existencia de micro-ambientes productivos (paleohumedales, lagos y vegas), por tanto, la exploración a lo largo de rutas naturales como plantea Borrero (1989). Las rutas naturales suelen incluir quebradas con presencia de abanicos aluviales, conos coluviales y cursos fluviales, que podrían transportar materias primas. Así, en este estudio se corroboró la presencia de materias primas en estas fuentes secundarias, usadas en la elaboración de artefactos en los sitios tempranos registrados, lo que coincide con lo planteado por Borrero y Franco (1997) para una etapa de exploración inicial, donde se señala la alta frecuencia de uso de materias primas locales y un bajo uso de materias primas foráneas. En el caso de las fuentes primarias reconocidas, sólo una de las fuentes es de carácter cercano a los sitios, Infieles-1 y Pedernales-38, entendiendo por cercano aquellas que pueden obtenerse a menos de 10 km (Franco, 2002). Mientras que las dos fuentes restantes, según el criterio de Meltzer (1989), quien se basa en información etnográfica, no serían locales por estar fuera de un radio de 40 km.

A nivel arqueológico, las evidencias tempranas de Pedernales correspondientes a chert o a rocas silicificadas locales limitan el transporte de preformas a sitios articulados, salvo en el caso de la obsidiana, donde los bloques no alcanzan el tamaño mínimo para la elaboración de puntas identificadas en Pedernales-38; la baja frecuencia de raspadores (sólo se encontró un raspador en Pedernales-38 y uno en Infieles-1) también refleja un momento de exploración donde la frecuencia estaría en relación directa con el tiempo de estadía en un lugar (Franco, 2002). Otro dato que coincide con la etapa de exploración es el alto porcentaje de desechos de rocas disponibles en la inmediata vecindad o locales cercanas (Franco, 2002) para ambos sitios (Pedernales-38 e Infieles-1). Los desechos líticos de materias primas silíceas corresponden a más del 90% de las evidencias líticas recuperadas. Por tanto, las rocas inmediatamente disponibles han sido seleccionadas desde la ocupación inicial de estos lugares.

### **Estudios petrográficos como herramienta de identificación de fuentes de materias primas**

El análisis petrográfico de artefactos arqueológicos y sus materias primas ha permitido a lo largo de los años poder deducir la proveniencia de estas últimas y, en varias

localidades, se ha encontrado preferencia por rocas silicificadas locales; por ejemplo, los cazadores recolectores que poblaron La Payunia (Mendoza, Argentina) desde el Holoceno tardío (Salgán et al., 2014), los paleoamericanos del este de Nevada (Cuenca de América del Norte (Newlander, 2015), o el yacimiento arqueológico “Abrigo de la Quebrada” (Chelva, Valencia) en la Región Central del Mediterráneo Español (Roldán et al., 2016). En el caso de los dos últimos estudios mencionados, estos se han enfocado, al igual que este trabajo, en la caracterización petrográfica del material lítico y sus materias primas, incluyendo análisis por fluorescencia de rayos X (FRX). Con ello se han podido detectar las fuentes de chert, sus características macroscópicas (color, textura, tamaño de grano, etc.) y composición elemental que las diferencia unas de otras, distinguiendo entre chert locales y alóctonos.

Newlander (2015) interpreta que la gran abundancia de artefactos de chert en el área de estudio al este de Nevada, en combinación con sus datos de proveniencia de fuentes locales, puede indicar el uso regular de áreas más pequeñas. En particular, las compara con las áreas o rutas de transporte de obsidiana, señalando que el transporte a larga distancia de la obsidiana puede definir la extensión espacial de las redes regionales paleoamericanas, a través de la movilidad e intercambio, y que el transporte de chert puede definir áreas de alimentación de los grupos paleoamericanos que operan dentro de estas redes regionales, de acuerdo con los datos etnográficos sobre la movilidad de los cazadores-recolectores (Kelly 1983: table 1, 2013: table 4-1). En el caso de nuestro estudio, si bien no hay suficientes datos para asociarlo a la misma razón para la preferencia de chert sobre obsidiana, sí es posible, por la ubicación de ambas fuentes, que el chert, al estar en una zona más accesible, llana, con geomorfologías fáciles de transitar, permitiera establecer una zona de paso, mientras que la fuente de obsidiana, al encontrarse sobre los 6.000 msnm, dificultara su tránsito por su altura, pendiente y los escarpes probablemente inestables.

Respecto a la efectividad de los análisis para detectar las fuentes de materias primas, Roldán et al. (2016) concluye que, si bien se puede dilucidar la proveniencia de las materias primas a través de análisis macroscópicos, Fluorescencia de Rayos X (FRX) y Difracción de Rayos x, el análisis por Activación Neutrónica, al detectar elementos traza con mayor sensibilidad y precisión que, por ejemplo, FRX, permite una mayor capacidad para discriminar chert locales de chert alóctonos estableciendo diferencias de composición. Por lo tanto, se podría realizar, en nuestro caso, análisis por Activación Neutrónica en aquellos materiales líticos en los que su materia prima no coincide o presenta mayor diferencia mineralógica con las fuentes más cercanas. Un análisis por este medio podría hacer una cualificación más precisa de la probabilidad de las formaciones nombradas en la tabla 2 de ser posibles fuentes de materias primas para los materiales líticos encontrados.

A pesar de ello, con los análisis realizados en este estudio se puede caracterizar el paisaje lítico por las fuentes más probables de materias primas correspondiente a las siguientes formaciones:

- a. **Complejos de Ignimbritas Domeyko**, debido a la cercanía a una cantera y al sitio Infieles-1. Además, sus muestras de materias primas coinciden con el material de

lascas del sitio arqueológico y en su descripción geológica se nombran intercalaciones vitrofíricas (Cornejo et al., 2006);

- b. **Volcanes del Mioceno Superior-Plioceno Inferior**, fuente de obsidiana ubicada en terreno, aunque, como se menciona anteriormente, no se garantiza su recolección desde la fuente primaria abriendo la posibilidad de que los rodados encontrados en Quebrada de Los Patos servirían como fuentes secundarias, depósitos aluviales que incluyen rocas de la fuente principal,
- c. **Complejo de domos, cuerpos hipabisales y depósitos piroclásticos** debido a la intensa silicificación de sus rocas y grandes bloques encontrados y recolectados desde el depósito aluvial adyacente a esta formación.
- d. Otra formación probable corresponde a **Domos de La Coipa**, la cual posee también un intenso grado de alteración hidrotermal con silificación de tobas. Si bien esta área es muy extensa, existe parte de la formación muy cerca de depósitos aluviales a orillas del Salar de Maricunga que podría haber servido para su recolección o pudieron haber llegado a la fuente misma debido a su cercanía; sin embargo, esta fuente aún no se ha corroborado en terreno.

Por último, si bien se mencionan otras formaciones que pudieron servir como fuente de materia prima debido a que en su descripción petrográfica (descrita en las cartas geológicas) se señala la existencia de silicificación de las rocas, las formaciones abarcan una amplia área, lo que se traduce en la dificultad para encontrar el punto concreto de la formación donde se encuentra la fuente de materias primas. Queda pendiente realizar FRX u otro análisis de composición elemental del material lítico del sitio Infieles-1 de manera de poder verificar si todos los artefactos son confeccionados con rocas de la cantera aladaña o existe una mayor diversificación de chert.

Finalmente, al asociar la litología presente en la zona de estudio con fuentes de materias primas, se deduce que, al menos en lo que respecta a este estudio, existe una alta frecuencia de roca local en la confección de materiales arqueológicos, dado por las características de una zona privilegiada de recursos líticos asociados a la alteración hidrotermal de rocas volcánicas volviéndolas aptas para la talla, lo que concuerda con las etapas de exploración inicial de un espacio, planteado por el modelo de poblamiento de Borrero (1989).

## 2.5 Conclusiones

Se concluye que la principal fuente de materias primas para artefactos y materiales arqueológicos proviene de la silicificación de rocas volcánicas procedentes de la misma región, asociadas en su mayoría a depósitos y prospectos mineros con alteración epitermal. Sin embargo, se requiere un estudio más minucioso para analizar muestras provenientes de Infieles debido a su intensa alteración y meteorización que no permitió un análisis petrográfico microscópico satisfactorio. Asimismo, los antecedentes paleoambientales y descripción geomorfológica de las áreas estudiadas corroboran que la Puna Meridional del Desierto de Atacama era rica en todo aspecto para el asentamiento humano, pese a las adversidades que podría generar la altura en el hombre y considerando la existencia del evento de cambio ambiental CAPE que permitió, en las cuencas precordilleranas del Desierto de Atacama, la formación de microambientes ricos



en recursos vegetales, faunísticos y minerales entre el Pleistoceno Tardío y el Holoceno Temprano.

El conocimiento del entorno geológico resulta clave a la hora de la evolución en la construcción de artefactos y la elección de materiales. Un punto importante es resaltar que aquellas materias primas de mayor importancia en nuestro estudio (rocas completamente silicificadas producto de alteración hidrotermal) hoy suelen ser gangas<sup>8</sup> de otros productos de interés como el oro y la plata. Esto no es extraño, incluso hoy en día se ve cómo relaves mineros vuelven a ser explotados en busca de minerales o elementos (por ejemplo, tierras raras) que ahora son de interés productivo. Se podría decir que el hombre ha ido construyendo sus herramientas desde las materias primas expuestas en afloramientos, luego ha pasado a la excavación minera y, por último, encuentra utilidad en los propios desechos (relaves) que deja la extracción. Es decir, con el tiempo, el conocimiento del espacio ha permitido aprovechar de forma más efectiva el potencial de las rocas y sus diversos usos debido a su mineralización.

## Bibliografía

Aguilar, G.; Riquelme, R.; Lohse, P.; Cabré, A.; García, J. -L.. (2022). Chronology of Glacial Advances and Deglaciation in the Encierro River Valley (29° Lat. S), Southern Atacama Desert, Based on Geomorphological Mapping and Cosmogenic <sup>10</sup>Be Exposure Ages. *Frontiers Earth Science* 10.

Ammann, C. M., Jenny, B., Kammer, K., & Messerli, B. (2001). Late Quaternary Glacier response to humidity changes in the arid Andes of Chile (18–29°S). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 172(3-4), 313-326.

Andrefsky, W. (1994). Raw-material availability and the organization of technology. *American Antiquity*, 59(1), 21-34.

Borrero, L. (1989-90). Evolución Cultural Divergente en la Patagonia Austral. *Anales del Instituto de la Patagonia*, Serie Ciencias Humanas 19:133-140

Borrero, L. y Franco, N. (1997). Early Patagonian Hunter-Gatherers: Subsistence and Technology. *Journal of Anthropological Research* 53(2): 219-239.

Callan, N. (2006). Notes to Accompany 1:10.000 Geological Mapping, Pantanillo Property, Maricunga District. *Informe privado Kinross Minera Chile Ltda.* Santiago, Chile.

Cartajena, I., Loyola, R., Núñez, L., Faúndez, W., (2014). Problemas y perspectivas en la interpretación del registro espacial de Punta Negra Imilac. In: Falabella, F., Sanhueza, L., Cornejo, L., Correa, I. (Eds.), *Distribución Espacial en Sociedades no Aldeanas: Del*

---

<sup>8</sup> Minerales sin interés económico

Registro Arqueológico a la Interpretación Social. *Series Monográficas de la Sociedad Chilena de Arqueología* 4, Santiago, pp. 143–162.

Castelleti, J. (2011). Prospección arqueológica y paleontológica. Proyecto "Flotación de Escorias Convertidor Teniente Fundación Potrerillos". *Codelco División Salvador Rev. 2. Fundación Chile. Informe inédito* .

Cecioni, A.; Dick, L. (1992), Geología del yacimiento epitermal de oro y plata Can Can, Franja de Maricunga, precordillera de Copiapo, Chile. *Revista Geológica de Chile* 19 (1) : 3-17.

Cervellino, M. (1982). Salares del norte, Salar de Infieles. *Revista Creces*: <http://www.creces.cl/Contenido?art=784>

Cornejo, P.; Mpodozis C. (1996). Geología de la Región de Sierra Exploradora (Cordillera de Domeyko 25°-26°S). Servicio Nacional de Geología y Minería-CODELCO, Informe Registrado, IR-96-09, 330 p. 9 mapas escala 1:50.000.

Cornejo, P.; Mpodozis, C.; Ramírez, C., Tomlinson, A. (1993). Estudio Geológico de la Región de Potrerillos y El Salvador (26°-27° Lat. S). Servicio Nacional de Geología y Minería-CODELCO, Informe Registrado, IR-93-01: 258.

Cornejo, P.; Mpodozis, C.; Tomlinson, A. (1998). Mapa Geológico de la Hoja Salar de Maricunga, Región de Atacama. Servicio Nacional de Geología y Minería, Mapas Geológicos No.7, escala 1:100.000. Santiago. p. 12 mapas escala 1:50.000. Santiago.

Cornejo, P.; Matthews, S.; Marinovic, N.; Pérez de Arce, C.; Basso, M.; Alfaro, J.; Navarro, M. (2006). Alteración Hidrotermal y Mineralización recurrente de Cu y Cu Mo durante el Pérmico y el Triásico en la Cordillera (Zona de Zaldívar-Salar de los Morros): Antecedentes Geocronológicos U/Pb, 40Ar/39Ar Re-Os. In Congreso Geológico Chileno, No. 11, Actas 2: 219-222. Antofagasta.

Cornejo, P.; Mpodozis, C.; Rivera, O.; Matthews, S. (2009). Carta Exploradora, Regiones de Antofagasta y Atacama. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica 119: 103 p., 1 mapa escala 1:100.000. Santiago.

Franco, N. (2002) ¿Es posible diferenciar los conjuntos líticos atribuidos a la exploración de un espacio de los correspondientes a otras etapas del poblamiento? El caso del extremo sur de Patagonia. *Revista Werkén*, 3, 119-132.

Flegenheimer, N. (2003). Cerro El Sombrero, a locality with a view. En *Where the South Winds Blow. Ancient Evidence of Paleo South Americans*, L. Miotti, M. Salemme y N. Flegenheimer (Eds.), pp.51-56. Center for the study of the First Americans, Texas.

Fox, A. y Strecker, M. 1991. "Pleistocene and modern snowlines in the Central Andes." *Bamberger Geographische Schriften*. 11, 169-182.

Gamonal, S. (2007) Exploración minera del distrito Pantanillo, Franja de Maricunga, Región de Atacama, Chile, (tesis de pregrado). Universidad de Chile, Santiago, Chile.

Gala, N., Mika, A., Wilson, M., Williams, J., Buchanan, B., Walker, R., Bebber, M., Eren, M. (2022). Experimental assessment of obsidian versus chert lanceolate projectile point durability and robusticity: Semi-static fracture strength and dynamic impact. *Archaeometry* 64 (6) 1307-1324

Gardeweg, M.; Mpodozis, C.; Clavero, J. (1997). Mapa geológico de la Hoja Nevado Ojos del Salado, Región de Atacama. Servicio Nacional de Geología y Minería, Mapas Geológicos (versión preliminar), 1 mapa escala 1:100.000.

Gould, R., Saggars, S. (1985). Lithic Procurement in Central Australia: A Closer Look at Binford's Idea of Embeddedness in Archaeology. *American Antiquity* 50(1): 117-136.

Geyh, M., M. Grosjean, L. Núñez y U. Shottterer. (1999). Radiocarbon reservoir effect and the timing of the late Glacial/Early Holocene humis phase in the Atacama Desert (northern Chile). *Quaternary Research* 52: 143-153.

Gonzales y Castell (2007). Algoritmos Consultores (2011). Informe prospección arqueológica reapertura operación Agua de la Falda, Proyecto Jerónimo. [http://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/123456789/6844/MMAHUM2\\_0007\\_v3.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/123456789/6844/MMAHUM2_0007_v3.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Grosjean, M. y Núñez, L. (1994). Lateglacial, Early and Middle Holocene environments, human occupation, and resource use in the Atacama (northern Chile). *Geoarchaeology* 9: 271-286.

Grosjean, M., Geyh, M.A., Messerli, B. et al., (1995) Late-glacial and early Holocene lake sediments, ground-water formation and climate in the Atacama Altiplano 22–24°S. *J Paleolimnol* 14, 241–252.

Grosjean M., (2001). Mid-Holocene climate in the south-central Andes: humid or dry? *Science* 292(5526), 2391.

Grosjean, M., Núñez, L., Cartajena, I., (2005). Paleoindian occupation of the Atacama Desert, Northern Chile. *Journal of Quaternary Science* 20 (7-8), 643-653. <https://doi.org/10.1002/jqs.969>.

Haselton, K., Hilley, G., Strecker, M., (2002). Average Pleistocene climatic patterns in the Southern Central Andes: Controls on mountain glaciation and paleoclimate implications. *The Journal of Geology* 110, 211-226. <https://doi.org/10.1086/338.414>

Hastenrath, S y Kutzbach, J., (1985). Late Pleistocene Climate and water budget of south American Altiplano. *Quaternary Research*, 24 (3), p. 219-256.

Hermosilla, N. (1997). "EIA Proyecto Marte y Lobo, III Región Línea de Base de Aspectos culturales y arqueológicos". *Senes Chile*. Nawel Consultores.

Ingold, T. (2000) *The Perception of the Environment. Essays in livelihood, dwelling and skill*. Ed. Routledge, Londres.

Kelly, R. L. (2013). *The Lifeways of Hunter-Gatherers: The Foraging Spectrum*. *New York: Cambridge University Press*.

Kelly, R. (2003). Colonization of new land by hunter-gatherers: expectations and implications based on ethnographic data. *Colonization of Unfamiliar Landscapes: The archaeology of adaptation*, editado por M. Rockman y J. Steele, pp: 44-59. Ed. Routledge, Londres.

Kelly, R. L. (1992). "Mobility/sedentism: Concepts, archaeological measures, and effects". *Annual Review of Anthropology* 21: 43–66

Kelly, R. y L. Todd. (1988). Coming into the Country: Early Paleoindian Hunting and Mobility. *American Antiquity* 53 (2): 231-244.

Lantes-Suárez, O. Prieto-Martínez, P., Martínez-Cortizas, A. (2011). Aplicación de la Microscopía Electrónica de barrido a estudio de los acabados de cerámica antigua de Galicia. Universidad de Santiago de Compostela.

Latcham, R. (1938). *Arqueología de la región Atacameña*. Universidad de Chile.

Latorre, C., Santoro, C., Ugalde, P., Gayó, E., Osorio, D., Salas-Egaña, C., De Pol-Holz, R., Joly, D. y Rech, J. (2013). Late Pleistocene human occupation of the hyperarid core in the Atacama Desert, northern Chile. *Quaternary Science Reviews*, 77, 19-30.

Loyola, R., Núñez, L., Aschero, C., Cartajena, I., (2017). Tecnología lítica del Pleistoceno final y la colonización del Salar de Punta Negra (24,5° S), Desierto de Atacama. *Estudios Atacameños* 55, 5-34. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-10432017005000011>.

Loyola, R., López-Mendoza, P., Carrasco C., Glascock M., Flores-Aqueveque, V., Méndez, V., Varas, D. y Orrego, V. (2023). Provenance and long-term circulation of archaeological obsidian in the Puna de Copiapó (25-27°S), South-Central Andes. *Journal of Archaeological Science* 51, 104134.

López, P., Carrasco, C., Loyola, R., Flores-Aqueveque, V., Santana-Sagredo, F., Maldonado, A., Martínez, I., (2021a). Develando Terra Incognita. Una búsqueda arqueológica de las primeras ocupaciones humanas en los salares de Infielos y Pedernales (3000-4100 m.s.n.m., 25°-26°S), Región de Atacama, Chile. *Intersecciones en Antropología* 22(1), 11-23.

López, P., Carrasco C., Loyola, R., Santana-Sagredo, F., Flores-Aqueveque, V., Maldonado, A., Díaz-Jarufe, P., (2021b). Caza de vicuñas en un refugio de las Tierras Altas de la Puna meridional de Chile (26° s), *Archaeofauna* 30, 55-73.

López, P., C. Carrasco, R. Loyola, V. Flores-Aqueveque, A. Maldonado, F. Santana-Sagredo, V. Méndez, P. Díaz, D. Varas y A. Soto., (2022). Huentelauquén coastal groups

in the Andean highlands? An assessment of human occupations of the Early Holocene in Salar de Pedernales, Chile (26°S, 3356 masl). *PaleoAmerica* 8(3), 253-263.

López, P., C. Carrasco, R. Loyola, V. Méndez, D. Varas, P. Díaz V. Flores-Aqueveque, A. Soto., A. Maldonado, F. Santana-Sagredo, L. Quiroz y D. Hernandez (2023a). Chronological sequence (early and late Holocene) and cultural trajectories in Quebrada Pedernales, southern Puna, Chile (26°S-3,456-3,730 masl), *Quaternary International*, 646, 34-50

López, P., C. Carrasco, R. Loyola, V. Méndez, E. Latorre, P. Díaz, V. Flores-Aqueveque, D. Varas, F. Santana-Sagredo, V. Orrego, A. Soto, A. Maldonado, y A. Maturana (2023b). The earliest human occupations in the southern Puna, Chile (12,4-10,7 ka cal. BP): primary results from the Salar de Infieles (25°S, 3,529 masl). *Quaternary Science Reviews* 313.

Lynch, T. (1986). Un reconocimiento arqueológico en el Salar de Punta Negra, Segunda Región. *Chungara, Revista de Antropología Chilena* 16-17: 75, 88.

Lynch, T. (1990). Quaternary Climate, Environment, and the Human Occupation of the South Central Andes. *Geoarcheology* 5: 199-218

*Mineralogy database.* (s.f.). Mineralogy Database. <https://www.webmineral.com/>

Melzer, D. (1989). Was Stone Exchanged among Eastern North American Paleoindians? En *Eastern Paleoindian lithic resource use*. Ed. Ellis, C.J y J. Lothrop. Westview Press, Boulder. 11-39 pp.

Méndez, C. (2015). Los primeros andinos. Tecnología lítica de los habitantes del centro de Chile trece mil años atrás. *Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú*.

Messerli, B., Grosjean, M., Bonani, G., Bürgi, A., Geyh, M. A., Graf, K., Ramseyer, K., Romero, H., Schotterer, U., Schreier, H., & Vuille, M. (1993). Climate Change and Natural Resource Dynamics of the Atacama Altiplano during the Last 18,000 Years: A Preliminary Synthesis. *Mountain Research and Development*, 13(2), 117–127. <https://doi.org/10.2307/3673629>

Molina, R., (2014). Marcas memorables en los relatos Collas de Atacama. *Chungara* 46 (4), 669-680. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-73562014000400009>

Mpodozis, C.; Iriarte, S.; Gardeweg, M.; Valenzuela, M. (2012). Carta Laguna del Negro Francisco, Región de Atacama. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica 145: 30 p., 1 mapa escala 1:100.000. Santiago.

Munsell, A. H. (2009). *Munsell Rock Color Book*. (s. f.).

Naranjo, J.A.; Hevia, F.; Arcos, R.; Polanco, E. (2019). Geología de las áreas Nevado Ojos del Salado y Cerro El Fraile, región de Atacama. Servicio Nacional de Geología y



Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica 204-205: 96 p., 1 mapa escala 1:100.000.

Newlander, K. (2015). Beyond Obsidian: Documenting the Conveyance of Fine-Grained Volcanics and Cherts in the North American Great Basin. *PaleoAmerica*, 1(1), 123–126.

Niemeyer, H. (1968). “Estudio de cuencas cerradas de Copiapó” Informe para la Dirección de Riego del Ministerio de Obras Públicas. Tirada en Multilith, 50 ejemplares de 59 pp.

Nogami, M. (1976). Altitude of the modern snowline and Pleistocene snowline in the Andes.- Tokyo Metropol. Univ. Geogr. Rep., 11: 71-86, Tokyo.

Núñez, L., Grosjean, M., Cartajena, I., 2001. Human dimensions of late Pleistocene/Holocene arid events in Southern South America. In: Markgraff, V. (Ed.), *Interhemispheric Climate Linkages*. Academic Press, San Diego, pp. 105-117.

Ñúñez, L., Grosjean, M., y I. Cartajena. (2002). Human occupations and climate change in the Puna de Atacama, Chile. *Science*, 298, 821-824.

Osorio, D. D. Jackson, P. Ugalde, C. Latorre, R.de Pol-Holz y C.M. Santoro. (2011). Hakenasa cave and its relevance for the peopling of Andean Altiplano. *Antiquity* 85: 1194-1208.

Osorio, D. (2013). Reevaluación del Arcaico Temprano de la Puna Seca: (~12.000 años cal. AP- 9.000 años cal. AP). Implicancias para el poblamiento Inicial del altiplano del Norte Grande de Chile (tesis de pregrado). Universidad de Chile, Santiago, Chile.

Olivares, F., Amacay de Atacama Cepeda, Z., Troncoso, I., Troncoso, T. y Fernández, F. (2013). Caracterización arqueológica. Informe de caracterización biológica general y definición de metodologías de monitoreo para seguimiento en el sitio prioritario de la biodiversidad Salar de Pedernales y sus alrededores. <http://bdrnap.mma.gob.cl/recursos/SINIA/Biblio%20SP-64/92.pdf>

Politis, G. (1991). Fishtail projectile points in southern cone of South America: an overview. En Clovis: origins and adaptations, R. Bonnichsen y K. Turnmire (Eds.), pp. 287-301. Center for the Study of the First Americans, Oregon.

Pfeiffer, M., Latorre, C., Santoro, C., Gayo, E., Rojas, R., Carrevedo, M., McRostie, V., Finstad, K., Heimsath, A., Jungers, M., De Pol-Holz, R., & Amundson, R. (2018) Chronology, stratigraphy and hydrological modelling of extensive wetlands and paleolakes in the hyperarid core of the Atacama Desert during the late quaternary. *Quaternary Science Reviews* 197, pp 224-245.

Placzek, C., J. Quade, J. Betancourt, P. Patchett, J. Rech, C. Latorre, A. Matmon, C. Holmgren y N. English. (2009). Climate in the dry central Andes over geologic, millennial, and interannual timescales. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 96: 386-397.

Quade, J., Rech, J., Betancourt, J., Latorre, C., Quade, B., Rylander, K., Fisher, T., (2008). Paleowetlands and regional climate change in the central Atacama Desert, northern Chile. *Quaternary Research* 69, 343-360. <https://doi.org/10.1016/j.yqres.2008.01.003>.

Rebollo, F. (2021). XRF: Espectroscopia de Fluorescencia de Rayos X | Partes Hi Rel. Retrieved 13 February (2021), from <https://wpo-altertechnology.com/es/xrf-x-ray-fluorescence-spectroscopy-hi-rel-parts/>

Renfrew, A. C. (1976). Introduction. In: Davidson, D. A. & Shackley, M. L. (eds) *Geoarchaeology: Earth Science and the Past*. Duckworth, London.

Rey, M. (2013). Aproximación al estudio arqueopetroológico de la litoteca de la cuenca de la Charente (Francia). *Tesis de Máster, Universidad de Barcelona, Barcelona*, 161

Roldán, C., Eixea, A., Villaverde, V., Murcia, S., Prudêncio, M. I., Dias, M. I., & Marques, R. (2018). Técnicas analíticas aplicadas al estudio de la composición y procedencia de sílex arqueológicos en la región central del mediterráneo español. *digitAR - Revista Digital de Arqueología Arquitectura e Artes*, 3, 23–30.

Salgán, M., Bertotto, G., y Garrido, M., (2014). Petrografía y procedencia de rocas silíceas en La Payunia (Malargüe, provincia de Mendoza). *Intersecciones en antropología*, 15(2), 363-375.

Santoro, C.M., P. C. Ugalde, C. Latorre, C. Salas, D. Osorio, D. Jackson y E. Gayó. (2011). Ocupación humana Pleistocénica en el Desierto de Atacama: Primeros resultados de la aplicación de un modelo predictivo de investigación interdisciplinaria. *Chungara* 43, N° especial 1: 353-366.

Sierralta, S. (2018). Función y selección de materias primas en la transición Pleistoceno-Holoceno: Punta Negra e Imilac, region de Antofagasta, Chile. *Intersecciones en antropología*, 20(1), 11-23.

Sylvestre, F., Servant, M., Servant-Vildary, S., Causse, C., Fournier, M., & Ybert, J. (1999). Lake-Level Chronology on the Southern Bolivian Altiplano (18°–23°S) During Late-Glacial Time and the Early Holocene. *Quaternary Research*, 51(1), 54-66.

Suárez, Ó. L., Martínez, M. P. P., y Cortizas, A. M. (2011). Aplicación de la Microscopía Electrónica de Barrido al estudio de los acabados de cerámica antigua de Galicia. *Gallaecia: revista de arqueología e antigüidade*, (30), 117-125.

Suárez, R. (2003). Paleoindian components of northern Uruguay: new data on early human occupations of the late Pleistocene and early Holocene. Where the South Winds Blow: Ancient Evidence of Paleo South Americans, L. Miotti, M. Salemme y N. Flegenheimer (Eds.), pp. 29-36. *Center for the Study of the First Americans*, Texas.

Tomlinson, A., Cornejo, P., Mpodozis, C., (1999). Hoja potrerillos, región de Atacama. Servicio nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN). Mapas Geológicos No.14, 1 mapa escala 1:100.000.

Ugalde, P. C., C. Salas, C. Latorre, D. Osorio, D. Jackson y C. M. Santoro., (2012) Poblamiento temprano del norte de Chile (18-25° S): estudio interdisciplinario arqueológico y paleoambiental, en: *Actas del XVIII Congreso Nacional de Arqueología Chilena*, 197-206, Sociedad Chilena de Arqueología, Santiago.

Vikre, P.G. (1989). Ledge formation at the Sandstorm and Kendall gold mines, Goldfield, Nevada. *Economic Geology* 84: 2115-2138.

## ANEXOS

### Anexo A

Tabla A1. Base de datos de muestras recolectadas para corte transparente y descripción macroscópica.

<i>Código Final</i>	<i>Salar</i>	<i>Área</i>	<i>UTM E</i>	<i>UTM S</i>	<i>Altitud msnm</i>
PE-1	Salar de Pedernales	Quebrada Pedernales	476511	7086227	3400
PE-2	Salar de Pedernales	Quebrada Pedernales	476106	7086274	3400
PE-3	Salar de Pedernales	Quebrada Pedernales	476376	7086207	3400
PE-4	Salar de Pedernales	Quebrada Pedernales	476511	7086227	3400
PE-5	Salar de Pedernales	Quebrada Pedernales	475327	7086315	3378
PE-6	Salar de Pedernales	Quebrada Pedernales	475463	7086274	3371
PE-7	Salar de Pedernales	Quebrada Pedernales	474920	7086277	3376
PE-8	Salar de Pedernales	Quebrada Pedernales	474920	7086277	3376
PE-9	Salar de Pedernales	Quebrada Pedernales	474781	7086270	3370
PE-10	Salar de Pedernales	Quebrada Pedernales	474781	7086270	3370
PE-11	Salar de Pedernales	Quebrada Pedernales	475719	7086235	3400
PE-12	Salar de Pedernales	Quebrada Pedernales	476514	7086213	3400
PE-13	Salar de Pedernales	Río La Ola	493948	7066855	3616
PE-14	Salar de Pedernales	Río La Ola	493948	7066855	3616
PE-15	Salar de Pedernales	Río La Ola	493948	7066855	3616
PE-16	Salar de Pedernales	Río La Ola	493948	7066855	3616
PE-17	Salar de Pedernales	Río La Ola	493948	7066855	3616
PE-18	Salar de Pedernales	Río La Ola	493948	7066855	3616
PE-19	Salar de Pedernales	Río Juncalito	507514	7066330	3851
PE-20	Salar de Pedernales	Quebrada de Peña Blanca	498118	7056785	3738
PE-21	Salar de Pedernales	Quebrada de Peña Blanca	498974	7056546	3770
PE-22	Salar de Pedernales	-	475486	7101465	3600
M-1	Salar de Maricunga	Quebrada Pantanillo	496971	6965117	4100
M-2	Salar de Maricunga	Quebrada Pantanillo	496971	6965117	4100
M-3	Salar de Maricunga	Quebrada Pantanillo	496971	6965117	4100
M-4	Salar de Maricunga	Quebrada Ciénaga Redonda	499849	6983905	4094
M-5	Salar de Maricunga	Quebrada Los Patos	510977	6989292	4499
M-6	Salar de Maricunga	Maricunga	488097	7013606	3767
M-7	Salar de Maricunga	Quebrada Villalobos	497761	6989334	4087
M-8	Salar de Maricunga	Quebrada Villalobos	498596	6990921	4008
M-9	Salar de Maricunga	Quebrada Villalobos	498596	6990921	4008
M-10	Salar de Maricunga	Quebrada Villalobos	498596	6990921	4008
M-11	Salar de Maricunga	Quebrada Los Patos	508057	6989601	4309
M-12	Salar de Maricunga	Quebrada Villalobos	498185	6990985	4000
M-13	Salar de Pedernales	Salar de Pedernales	475719	7086235	3400

M-14	Diego de Almagro	Diego de Almagro	395645	7102669	787
M-15	Diego de Almagro	Diego de Almagro	395645	7102669	787
M-16	Diego de Almagro	Diego de Almagro	395645	7102669	787
M-17	Diego de Almagro	Diego de Almagro	395645	7102669	787
M-18	Diego de Almagro	Diego de Almagro	395645	7102669	787
M-19	Salar de Pedernales	Salar de Pedernales	498540	7056623	3749
M-20	Salar de Pedernales	Salar de Pedernales	498542	7057007	3851
M-21	Salar de Pedernales	Salar de Pedernales	500455	7056001	3891
I-1	Salar de Infielos	Salar de Infielos	495467	7129072	3562
I-2	Salar de Infielos	Salar de Infielos	495467	7129072	3562
I-3	Salar de Infielos	Salar de Infielos	495431	7129084	3566
I-4	Salar de Infielos	Salar de Infielos	495454	7129210	3569
I-5	Salar de Infielos	Salar de Infielos	495497	7129131	3563
I-6	Salar de Infielos	Salar de Infielos	495583	7127239	3578

## Anexo B

Descripción petrográfica macroscópica y microscópica de muestras seleccionadas

### PE-3 Granitoide rico en cuarzo

Roca holocristalina, inequigranular, fanerítica, de grano medio a fino (<0.5 mm a ~2 mm) distribuidos de forma homogénea (Figura 1). Sus minerales principales corresponden a cuarzo 70%, feldespato 27% y plagioclasas 1%. Además presenta minerales ferro-magnesianos (~2% de la roca). Sus colores principales corresponden a amarillo verdoso pálido (10Y 8/2 *pale greenish yellow*) con tonalidades naranja amarillento pálido (10YR 8/6 *pale yellowish orange*).



Figura 1. Materia prima, Granitoide rico en cuarzo.



El estudio petrográfico microscópico (Figura 2) muestra una roca compuesta mayoritariamente por cuarzo, feldespatos y arcilla. Los granos de cuarzo se pueden encontrar monocristalinos o policristalinos.

Matriz: 25% (arcilla)

Clastos: 73% (cuarzo anhedral 70%, feldespatos (en particular maclas de carlsbad en microclina) 5%, plagioclasas 5%, illita 17% y óxidos 3%)

Porosidad: 2% (porosidad secundaria)

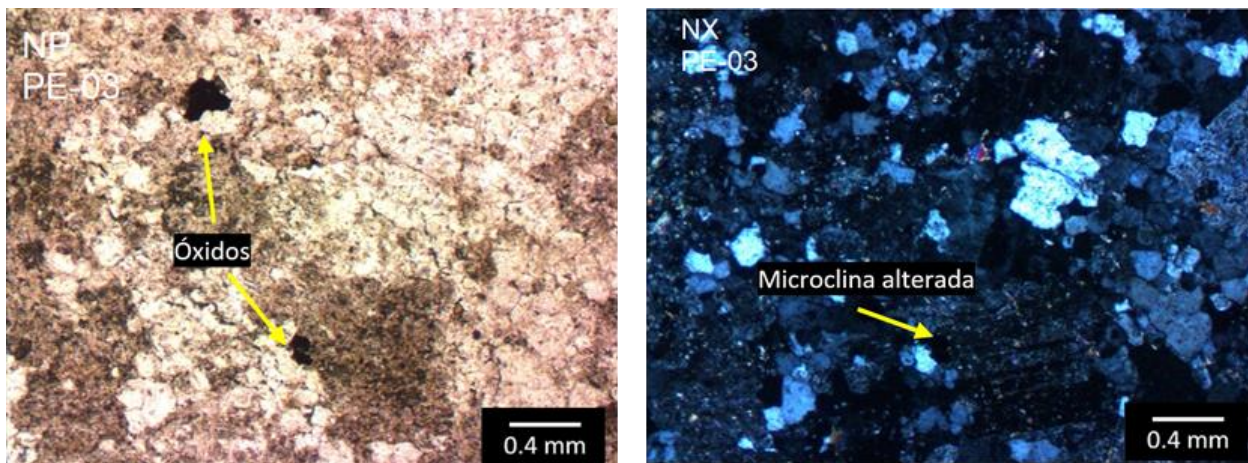


Figura 2. Corte delgado a nicols paralelos (NP) nicols cruzados (NX) correspondiente a la muestra PE-3. En la imagen izquierda se aprecia la alteración por arcillas y presencia de óxidos. En la imagen derecha se aprecia el contacto entre granos de cuarzo, la presencia de microclina y como la roca está siendo alterada a arcilla.

### PE-5 Andesita silicificada

Roca hipocristalina de color pardo muy claro (5YR 5/2 *pale brown*) con zonas oxidadas color pardo claro (5YR 5/6 *light brown*), presenta un 80% de cristales milimétricos en su mayoría oxidados, además de poseer muy leve magnetismo. El 5% de la roca se encuentra fracturado (Figura 3).



Figura 3. Materia prima, Andesita alterada por la oxidación.

La descripción petrográfica microscópica muestra una roca ígnea con abundantes plagioclasas que están siendo alteradas a arcilla, le sigue cuarzo policristalino, el cual se presenta con extinción ondulosa. Se pueden observar también fracturas a lo largo del corte y líneas de oxidación (Figura 4).

Matriz 10% (vidrio)

Clastos: ~85% (cuarzo microcristalino y criptocristalino 45%, plagioclasas 40%, arcilla 12%, 2% óxidos (podría ser magnetita por la descripción macroscópica) y <<1 % escasas biotitas)

Porosidad: 5% (dada pro fracturas)



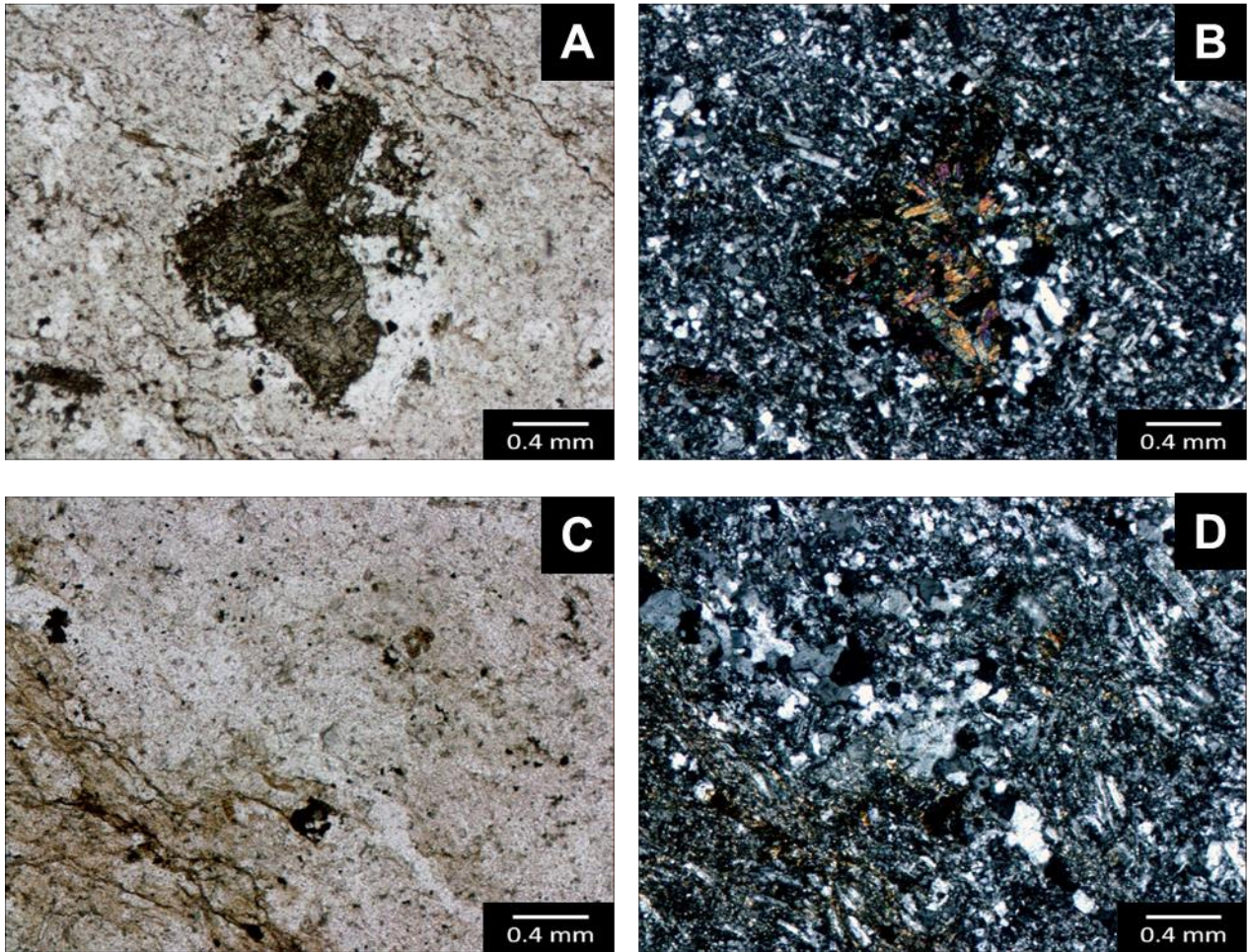


Figura 4. Corte delgado a nicoles paralelos (NP) nicoles cruzados (NX) correspondiente a la muestra PE-5. En la figura A y B se aprecian como las plagioclasas están siendo alteradas a arcilla. En C se observa con claridad la oxidación que ocurre en la roca en su extremo inferior izquierdo y a nicoles cruzados en la figura D se aprecia una concentración de cuarzo micristalino que resalta sobre el resto de los minerales.

### **PE-7 Madera fosilizada silicificada**

La madera presenta mayoritariamente tres tonos distintos; pardo grisáceo (5YR 3/2 *grayish brown*), pardo amarillento pálido (10YR 6/2 *pale yellowish brown*) y pardo moderado (5YR 4/4 *moderate brown*) (Figura 5). Su descripción se realiza a través de un corte petrográfico radial. Sin embargo la estructura de la madera al ser tridimensional requiere también un corte transversal y tangencial, los que no fueron posible obtener.



Figura 5. Madera petrificada.

Para la descripción petrográfica se utilizó la base de datos online *Inside Wood* (*InsideWood. 2004-onwards. Published on the Internet. <http://insidewood.lib.ncsu.edu/search> [date of accession].*) la que ha codificado descripciones anatómicas de la madera basadas en la lista de características microscópicas para la identificación de madera dura de *International Association of Wood Anatomists* (IAWA).

En el corte petroográfico se reconocen escasas características estructurales y anatómicas, las cuales se encuentran silicificadas (ópalo) y obliteran las estructuras de la madera. Se puede observar que la silicificación es más intensa entre los anillos de crecimiento de la madera (Figura 6) y en aquellos lugares donde la porosidad es más intensa (Figura 7), por lo que se sugiere que el fluido rico en sílice relleno vasos y poros.



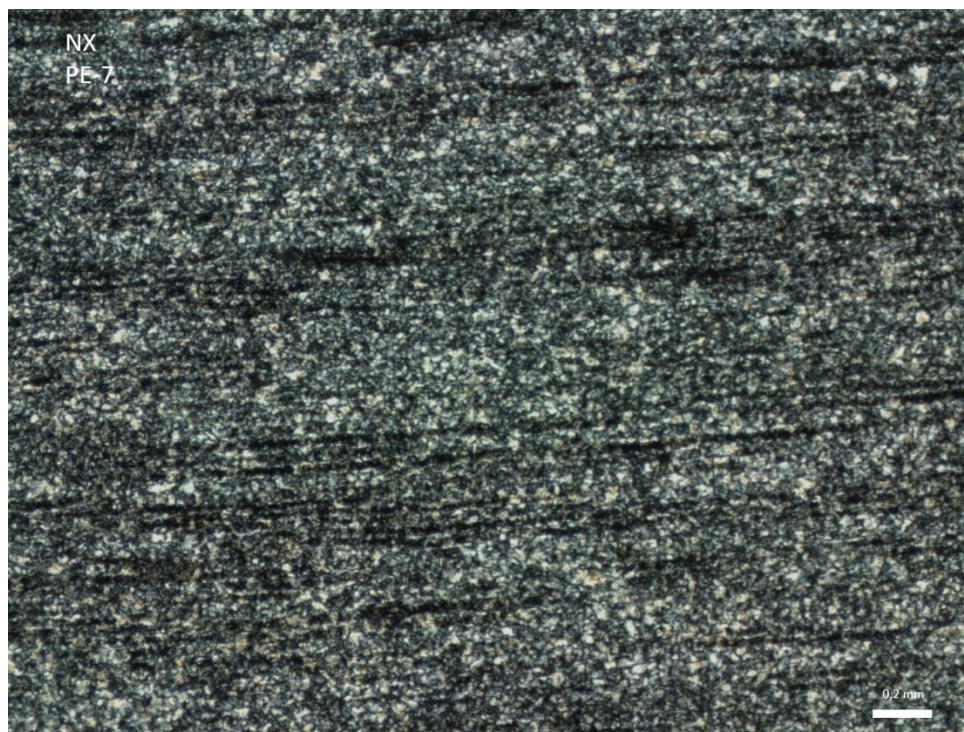


Figura 6. Corte delgado a nicoles cruzados (NX) correspondiente a la muestra PE-7. Se observan la silicificación de la madera donde se conservan bandas negras que corresponden a los anillos de crecimiento.

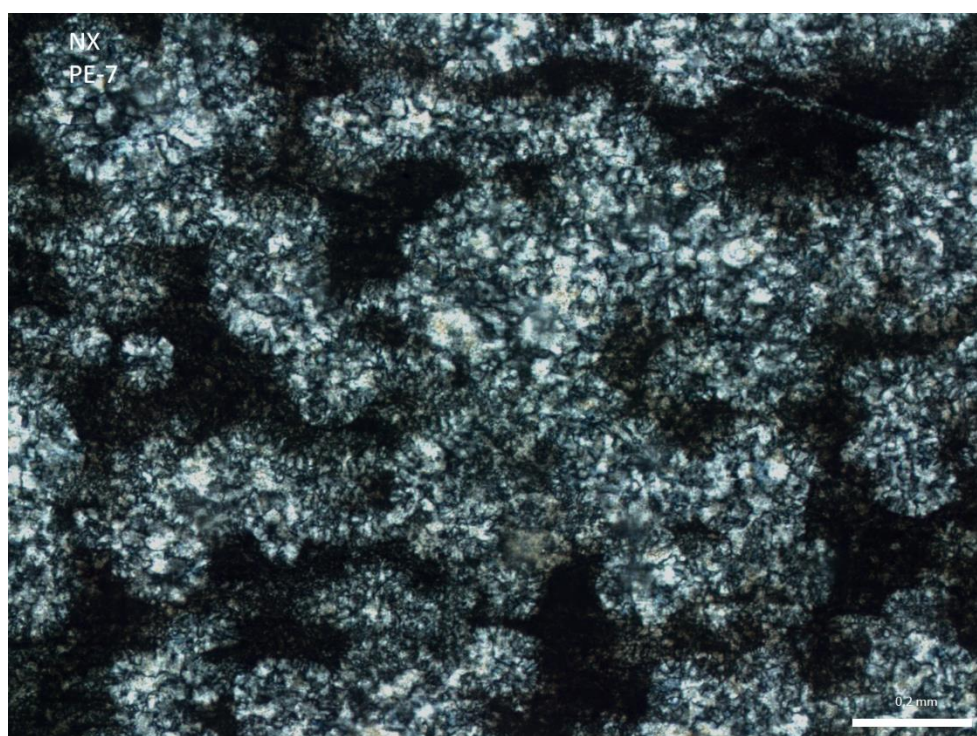


Figura 7. Corte delgado a nicoles cruzados (NX) correspondiente a la muestra PE-7. Se observan silicificación, más intensa perdiendo la continuidad de los anillos de crecimiento.

A continuación se reconocen las siguientes características típicas de la madera:



- Anillos de crecimiento: presentes con límites bien definidos en la mayoría del corte (Figura 8), sin embargo en zonas aisladas pierden continuidad y se vuelve difusos (Figura 9).
- Porosidad: difusa (madera en la que los vasos tienen más o menos el mismo diámetro en todo el anillo de crecimiento)
- Vasos: vasos dispuestos perpendiculares a los radios formando bandas tangenciales cortas, solitarios (sin contacto aparente con otros vasos)
- Placas de perforación: aparentemente abertura circular elíptica, aunque por la petrificación y la disposición del corte es difícil identificar
- Fosas entre vasos: no se puede determinar su presencia
- Fibras: fibras con paredes transversales en algunos sectores, estas pueden o no corresponder ya que también pueden deberse a la silicificación posterior que habría sufrido
- Diámetro tangencial de la luz del vaso: inferior a 50 micras y los vasos por milímetro cuadrado  $\leq 5$  vasos por milímetro cuadrado, entrarían en el rango de 5-20 vasos por milímetro cuadrado.

Por otro lado, no presenta canales intercelulares ni inclusiones minerales. Tampoco estructura histórica o células ya sean de aceite/mucílago, “*sheath cells*” o de “mosaico”.

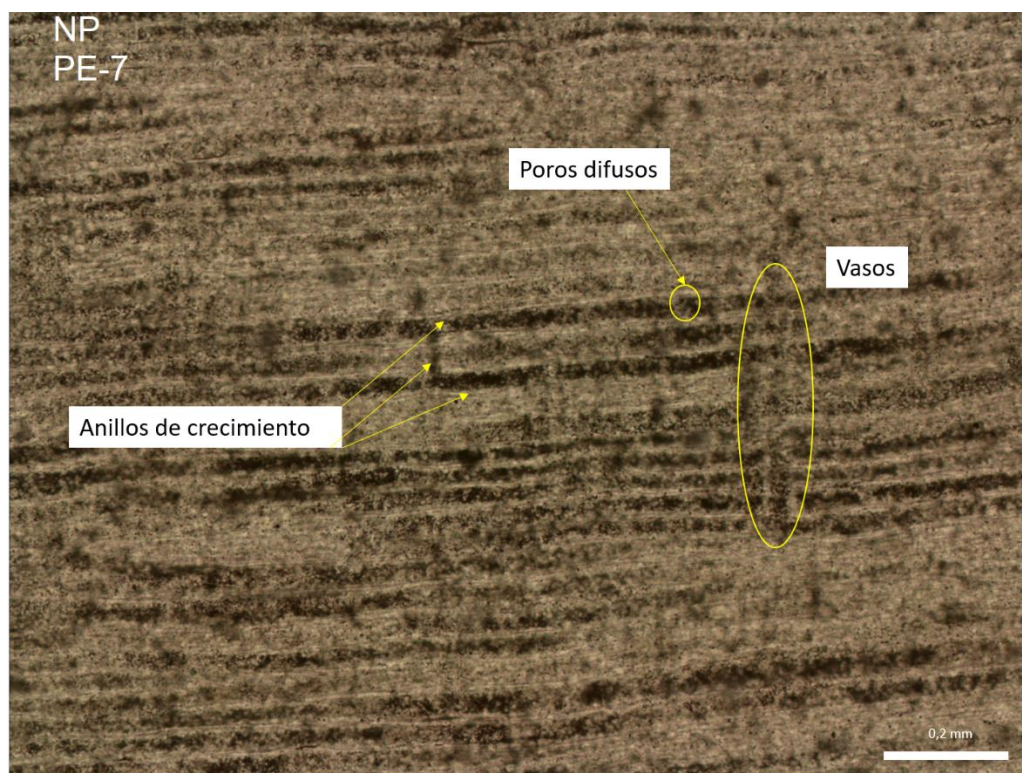


Figura 8. Corte delgado a nicoles paralelos (NP) correspondiente a la muestra PE-7. Se observan claramente los anillos de crecimiento de la madera y con menor claridad sus vasos.

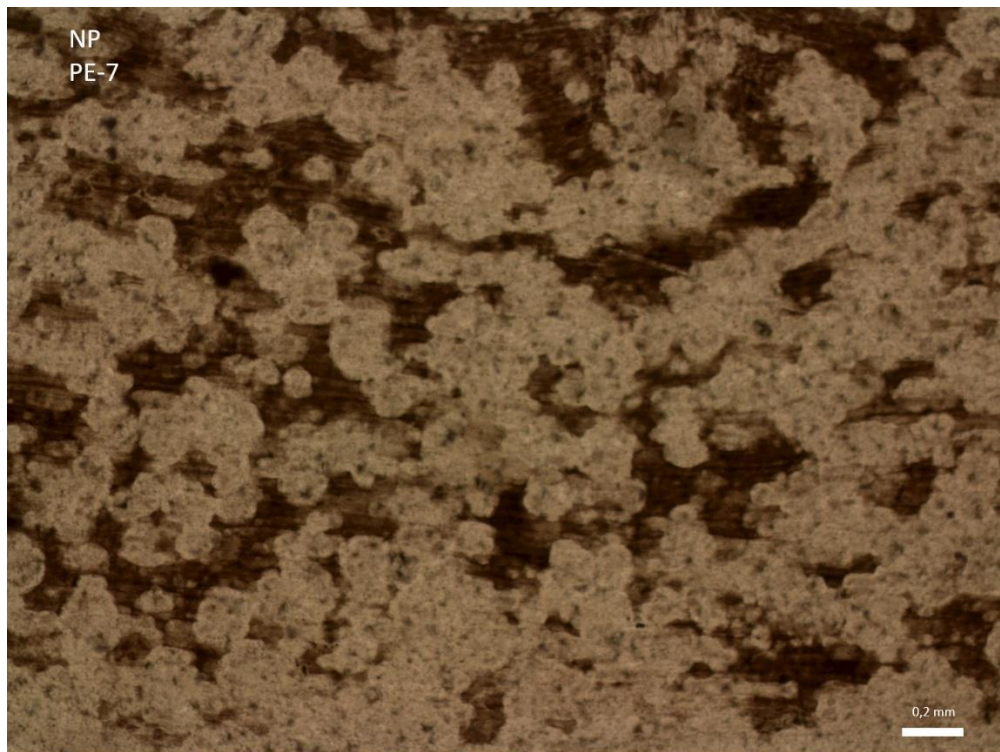


Figura 9. Corte delgado a nicols paralelos (NP) correspondiente a la muestra PE-7. Se observan anillos de crecimiento discontinuos y difusos.

### PE-8 Chert con meteorización intensa

Roca cristalina silicificada con moderada a baja efervescencia en fracturas y oxidación localizada (Figura 10). Sus colores principales varían entre naranja muy pálido (10YR 8/2 *very pale orange*) y gris rosáceo (5YR 8/1 *pinkish gray*) con tonalidades rojo oscuro (5R 3/4 *dusky red*).



Figura 10. Materia prima, Chert.



El estudio petrográfico microscópico (Figura 11) muestra una roca con un porcentaje importante de sílice (>60%) que envuelve los minerales preexistentes, en particular se observa agregados de minerales tabulares, posiblemente yeso recubiertos de sílice, además presenta cuarzo, nódulos de manganeso y arcilla.

Matriz: 20% (arcilla)

Clastos: 77% (cuarzo policristalino 61%, nódulos de manganeso distribuida homogéneamente 13% y yeso 26%)

Porosidad: 3% (dada por fracturas)

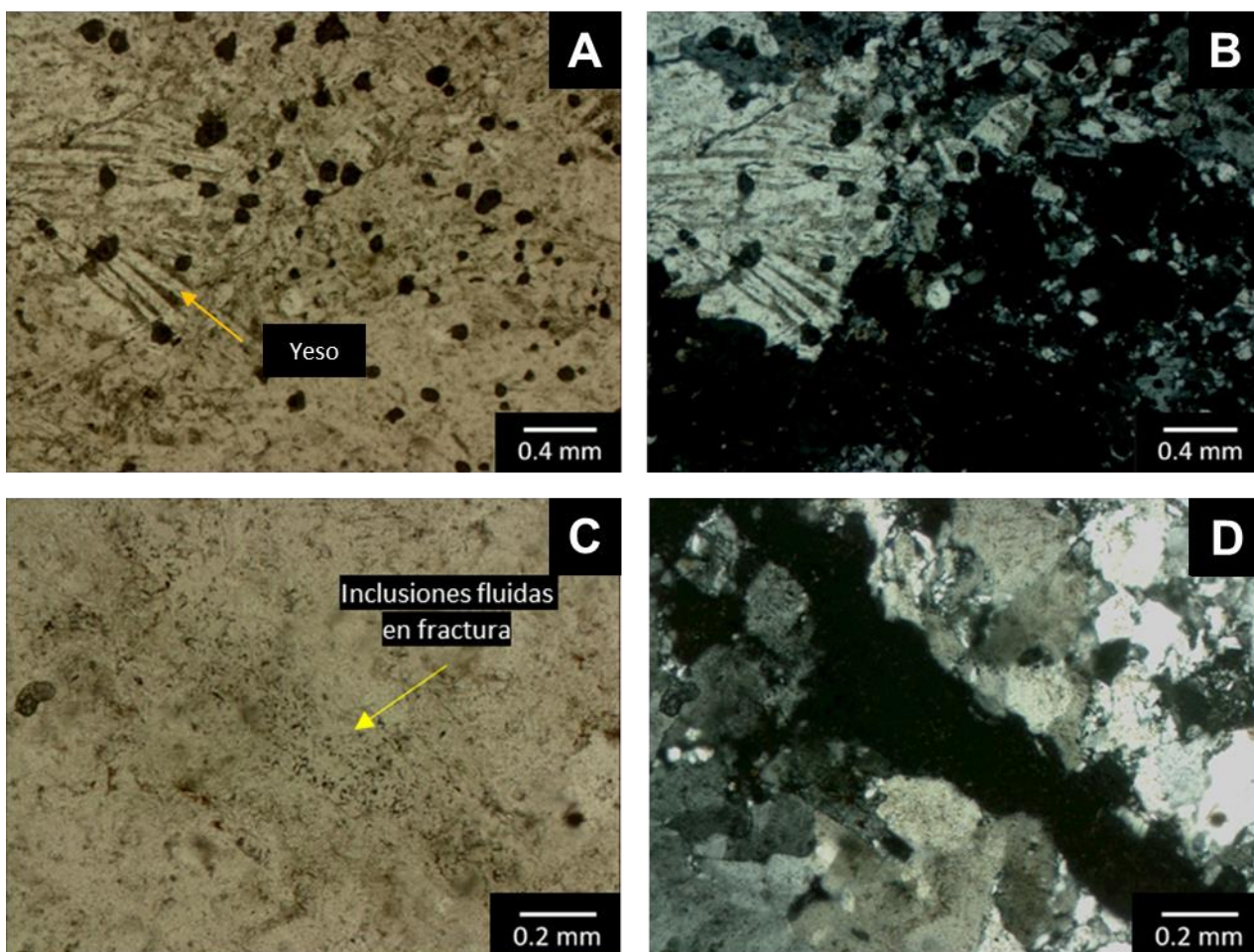


Fig. 11. Corte PE-8; A y B (N// y NX respectivamente), la roca presenta yeso silicificado, con nódulos de manganeso sobre estos. Mientras que en C y D (N// y NX respectivamente) se aprecia inclusiones fluidas en una aparente fractura rodeada por cuarzo policristalino.

### PE-9 Presunta Andesita silicificada

Roca con 5% de cristales de cuarzo, el 90% son menores a 1 mm mientras que los demás son milimétricos (Figura 12). Su color es pardo amarillento moderado (10YR 5/4 *moderate yellowish brown*).



Fig. 12. Materia prima. Andesita silicificada.

El estudio petrográfico muestra una roca muy alterada (Figura 13) con alto porcentaje de silicificación y oxidación. La presencia de plagioclasas, feldespatos, epidota y opacos permite deducir su origen ígneo.

Matriz: 10% (vidrio)

Clastos: ~90% (cuarzo 30%, microlitos de plagioclasas 35%, presuntos feldespatos con hábito similar a las esferulitas 25% y arcilla 10%, <<1% epidota)



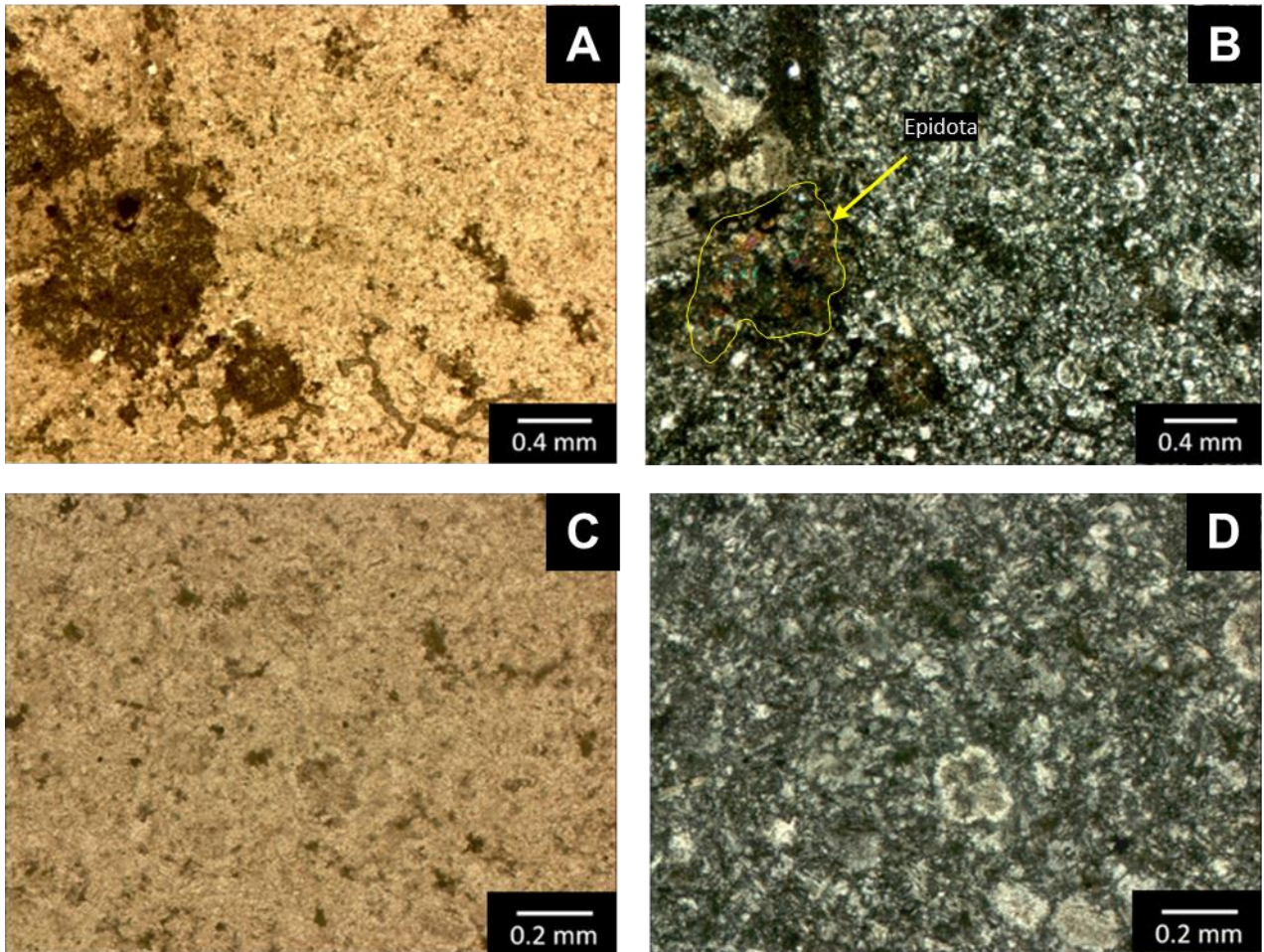


Fig. 13. Corte PE-9, roca silicificada con presencia de epidota la que podría haberse formado por alteración hidrotermal y óxidos (A N// y B NX) y presencia de feldespatos hábito radial esferulítico (C N// y D NX).

### PE-11 Riolita en proceso de silicificación

Roca hipocristalina (Figura 14) donde sus cristales corresponde al 20% (cuarzo 40%, plagioclasas 20% y feldespatos por el color más rosáceo 40%), 5 % de óxidos y 75% matriz de color pardo claro (5YR 6/4 *light brown*).





Fig. 14. Materia prima. Granito en proceso de silicificación.

El estudio petrográfico muestra una roca ígnea en proceso de silicificación (Figura 15), con abundantes inclusiones fluidas, su mineral principal es cuarzo, le siguen minerales opacos no reconocidos, feldespato y plagioclasas muy alterados, en su mayoría argilizados, y arcillas puras.

Clasto:100% (cuarzo 63%, opacos 15%, feldespato 10%, plagioclasas 5%, arcilla 5%, cloritas 2%)

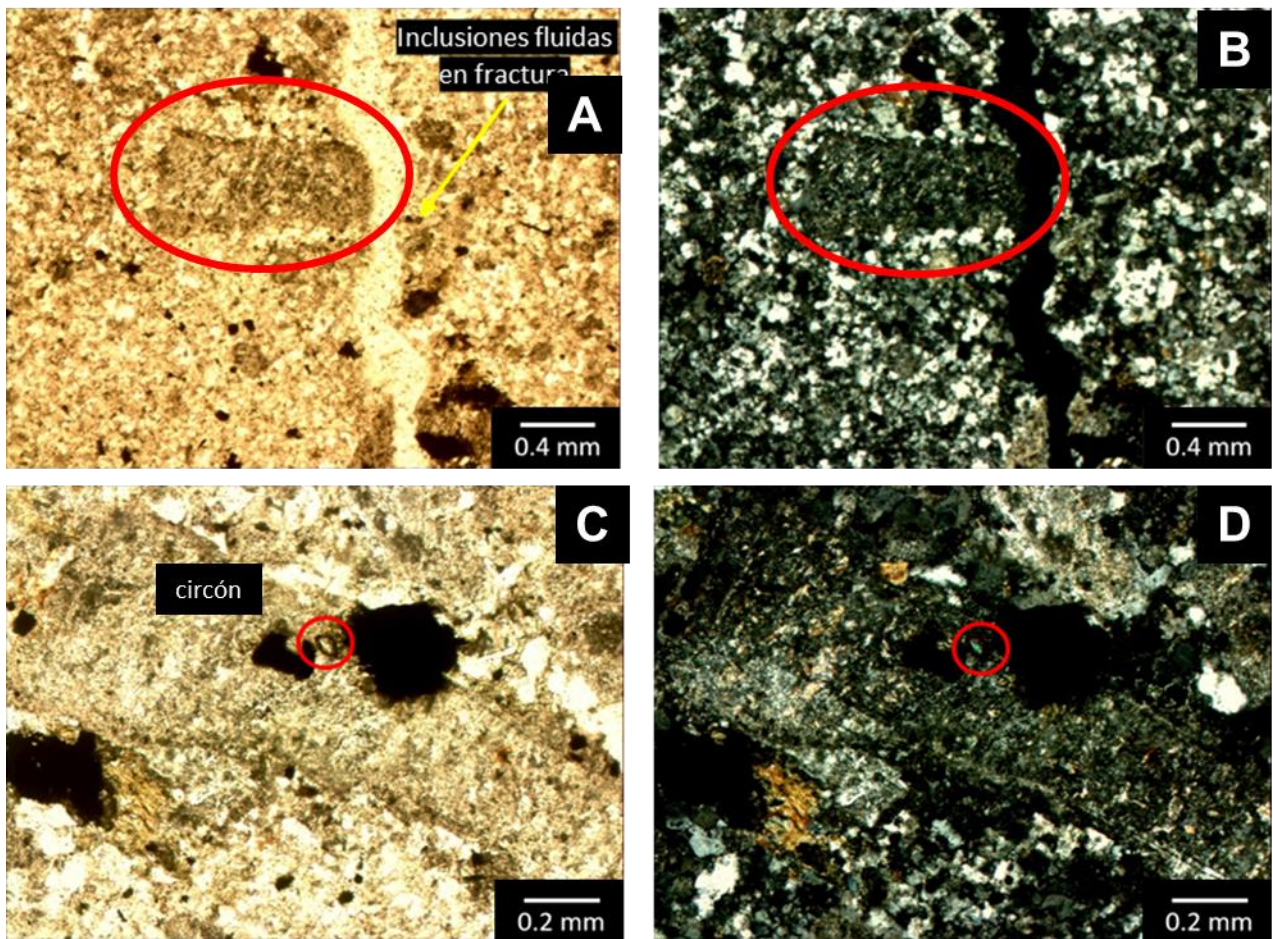


Fig. 15. Corte PE-11, mineral tabular silicificado en contacto con fractura rellena de inclusiones fluidas (A N// y B NX), presencia de circón (C N// y D NX).

### PE-13 Limolita

Roca color azul marino (5PB 3/2 *dusky blue*) afanítica, porosa, perfectamente pulida por la acción del viento formando un ventifacto piramidal denominado dreikanter, además presenta leve magnetismo (Figura 16).





Fig. 16. Materia prima. Limolita (ventifacto)

El estudio petrográfico microscópico muestra una roca siliciclástica (Figura 17) compuesta de cuarzo monocristalino y policristalino sumado a un gran porcentaje de arcilla que altera la roca de manera parcial con magnetita distribuida aleatoriamente.

Clasto: ~65% (cuarzo 85%, magnetita 15%)

Matriz: ~35% (illita)

Porosidad: <<1%

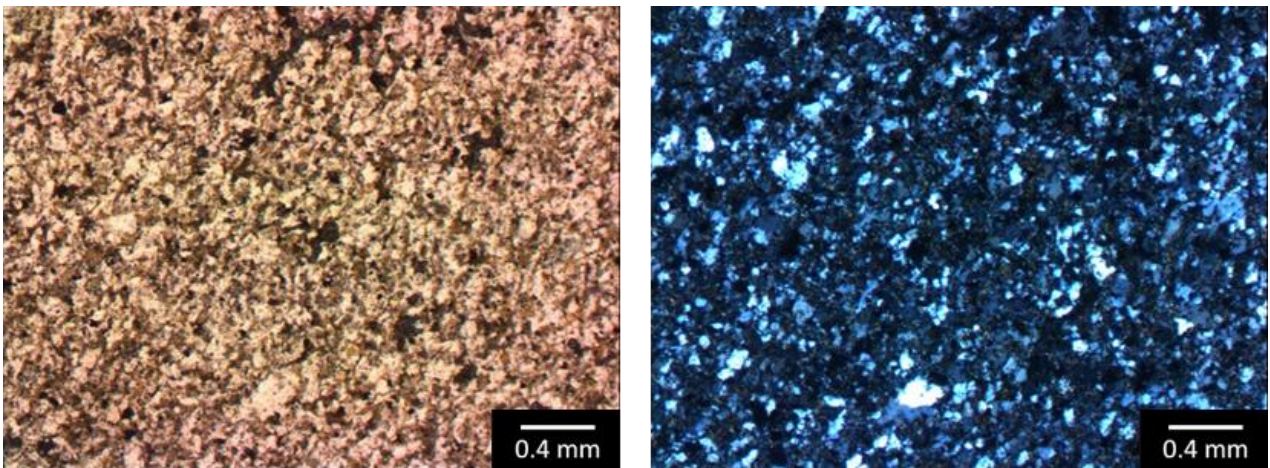


Fig. 17. Corte PE-13 a N// y NX respectivamente mostrando cuarzo policristalino con presencia de magnetita.

## PE-15 Limolita

Roca afanítica (Figura 18), con magnetismo, de color gris azulado muy oscuro (2 3/5PB *very dark bluish*).



Fig. 18. Materia prima. Limolita.

El estudio petrográfico microscópico muestra una roca siliciclástica compuesta principalmente por cuarzo microcristalino a criptocristalino y arcilla, se observan minerales opacos (magnetita) y bioturbación (Figura 19).

Matriz: 40% (arcilla 100%)

Clasto: 60 % (cuarzo 87% y magnetita 13%)

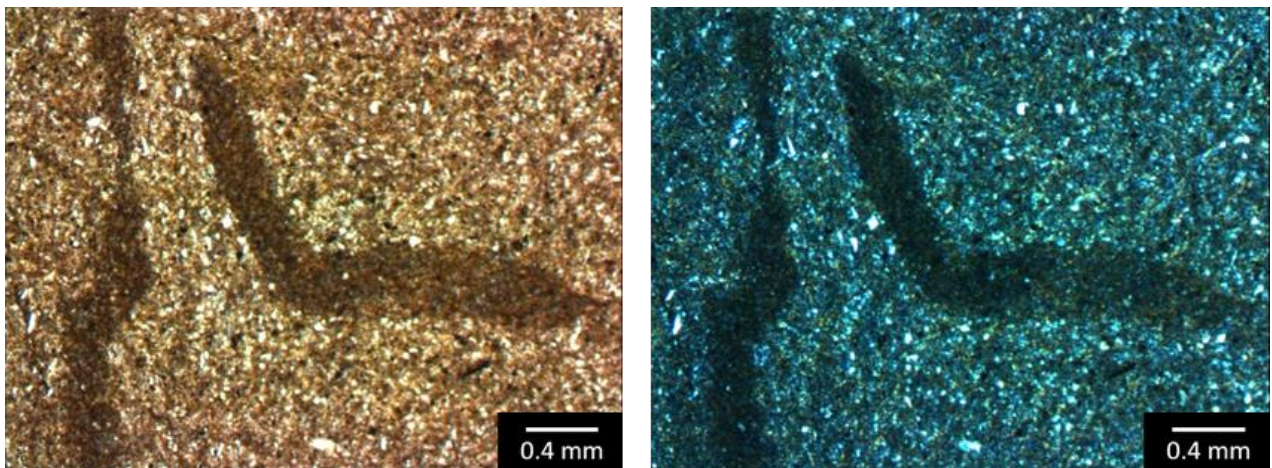


Fig. 19. Corte PE-15 a N// y NX. Se observa bioturbación, minerales opacos (magnetita) y cuarzo en una matriz arcillosa.



## PE-16 Limolita

Roca afanítica, con magnetismo y evidente erosión eólica dándole un aspecto ceroso y con zonas cóncavas alargadas (Figura 20). Su color es gris azulado muy oscuro (2 3/5PB very dark bluish) al igual que la muestra PE-15.



Fig. 20. Materia prima. Limolita

El estudio petrográfico muestra una roca siliciclastica con fracturamiento menor. Está compuesta principalmente por cuarzo criptocristalino y magnetita (Figura 21).

Matriz: 20% (arcilla)

Clasto: 75% (cuarzo criptocristalino 67% y magnetita 33%)

Porosidad: 5% (dada por fracturas)

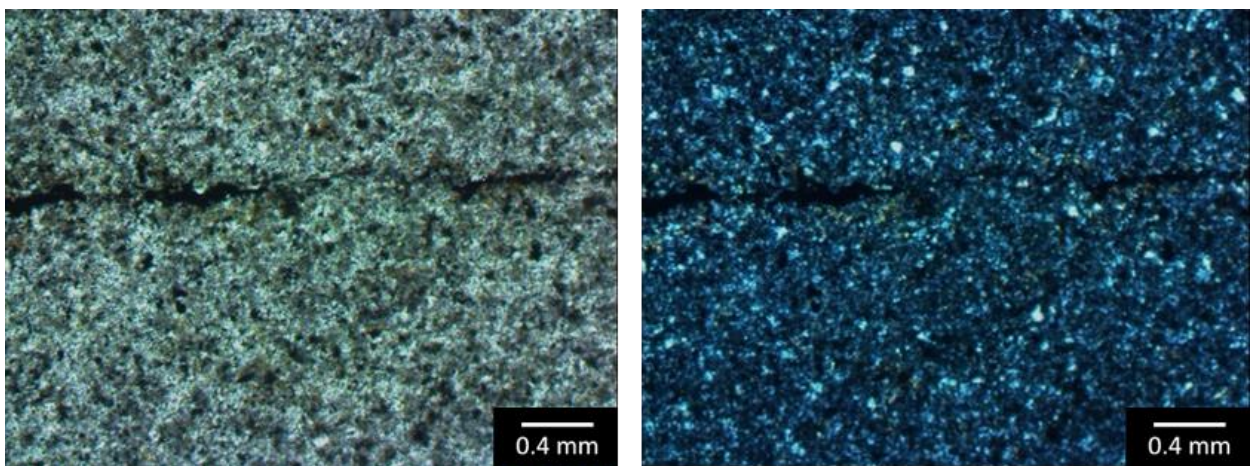


Fig. 21. Corte PE-16 a N// y NX. Se observa cuarzo criptocristalino con presencia de fractura.



## PE-18 Chert

Roca con 94% de matriz color pardo claro (5YR 6/4 *light brown*), con cristales presuntamente de feldespato al rayarse fácilmente 3%, y anfíbol 3%, con porosidad por erosión eólica (Figura 22).



Fig. 22. Materia prima. Chert

El estudio petrográfico muestra una roca con importante silicificación, oxidación y porcentaje de arcilla. La roca al presentar plagioclasas y anfíboles con texturas de desequilibrio (Figura 23) permite deducir su origen ígneo, probablemente una andesita.

Matriz: 65% (cuarzo 54% y 46% arcilla)

Clasto: 35% (plagioclasas 49%, anfíboles 9%, minerales no reconocidos alterados a arcilla 29% y óxidos 13%)

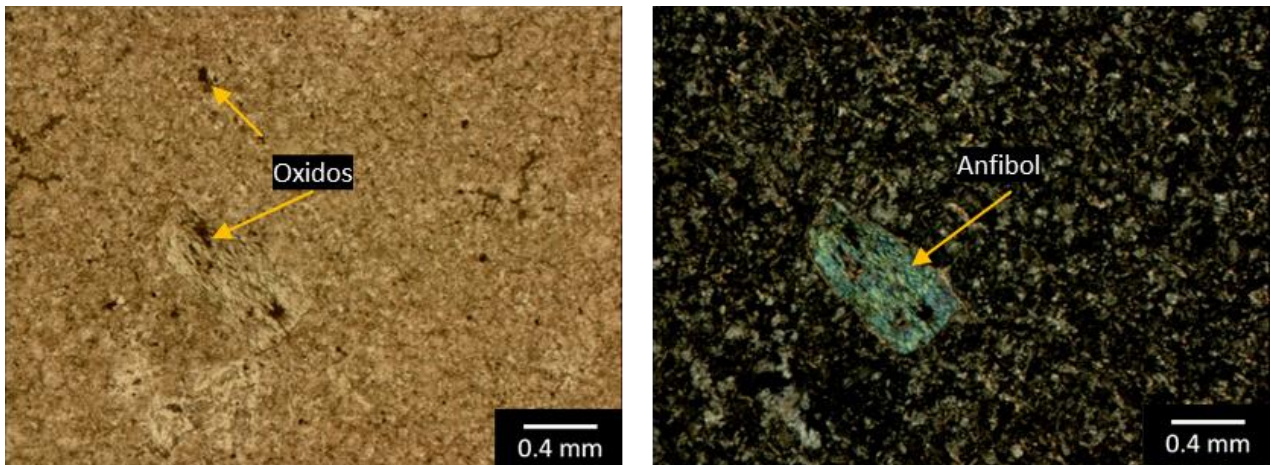


Fig. 23. Corte PE-18 a N// y NX respectivamente, se observa anfíbol inmerso en matriz de cuarzo y arcilla.

## PE-20 Chert

Roca silicificada de color gris amarillento (5Y 7/2 *yellowish gray*) y amarillo oscuro (5Y 6/4 *dusky yellow*) (Figura 24). La roca se encuentra alterada por la oxidación y presenta 1% de cristales, la mayoría milimétricos, salvo un cristal de 1.5 cm puntual como se observa en la Figura 24.



Fig. 24. Materia prima. Chert.

El estudio petrográfico muestra una roca silicificada muy alterada, con zonas de oxidación y concentración diferenciada de sílice, lo que podría explicar zonas con un tono más gris a nicoles cruzados (Figura 25).

Matriz: 90% (sílice criptocristalino)

Clasto: 5% (óxidos 60%, minerales tabulares no reconocibles muy alterados por la silicificación 40%)

Porosidad: 5% (dada por fracturas)

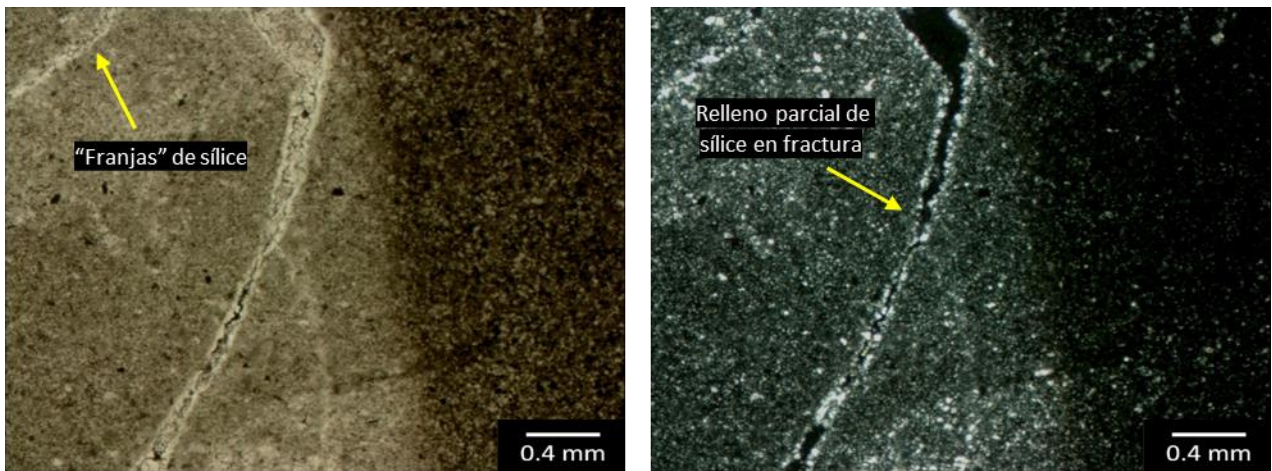


Fig. 25. Corte PE-20 a N// y NX respectivamente, se muestra fractura parcialmente rellena y la diferencia de tono dada por la concentración y oxidación del sílice.

### M-3 Chert

Roca afanítica de color gris azulada clara (5B 7/1 light *bluish gray*) con 30% de porosidad dispuesta en franjas. La roca presenta abundante oxidación dándole un color anaranjado por zonas como se puede ver en la Figura 26.



Fig. 26. Materia prima. Chert.

El estudio petrográfico muestra una roca muy alterada por sílice, donde no se logran distinguir sus minerales, salvo la presencia de ópalo relleno fracturas (Figura 27), por el aspecto de la muestra de mano, la roca estaría silicificada al punto de alterar completamente la roca.

Matriz: 84% (sílice criptocristalino oxidado)



Clasto: 16% (minerales no reconocibles por su alteración)

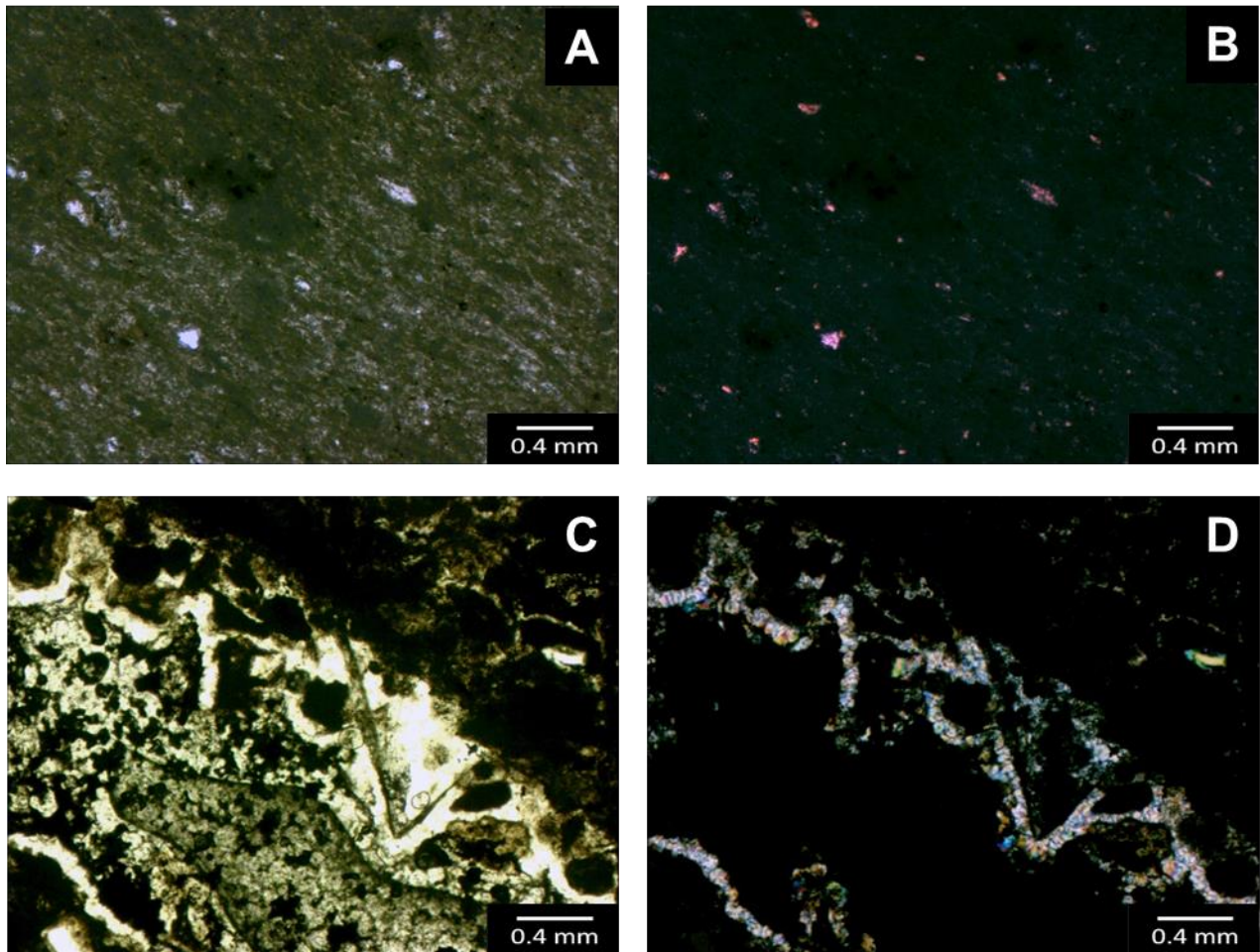


Fig. 27. Corte M-3 a N// y NX respectivamente. En la figura A y B se observa cierta orientación en la matriz, mientras que en la figura C y D se observan cómo se ha ido reemplazando por ópalo los bordes de los minerales completamente alterados y no reconocibles.

### M-6 Escoria

Roca ígnea fanerítica de color gris oscura (N3 *dark gray*) con abundantes cavidades o vesículas por lo que la hace muy porosa 90% (Figura 28). Presenta cristales de plagioclasas 90% y biotitas 2% milimétricos inmersos en una matriz vítrea.



Fig. 28. Materia prima. Escoria.

El estudio petrográfico muestra una roca ígnea con abundantes plagioclasas zonadas, biotitas, olivinos, piroxenos y opacos.

Matriz: 20% (vidrio)

Clastos: 80% (plagioclasas 69%, biotitas 8%, olivinos 11%, piroxenos 3% y opacos 9%)

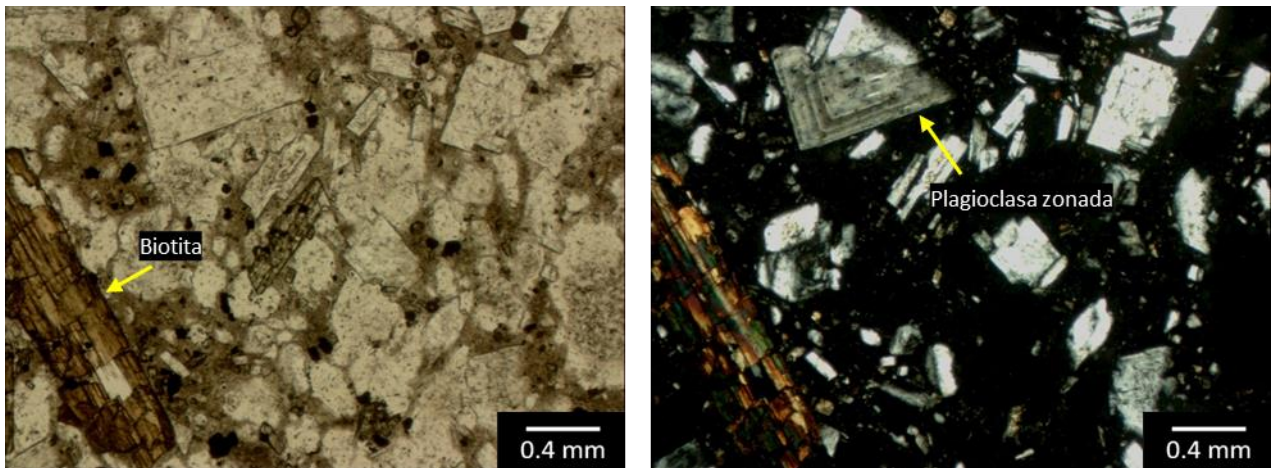


Fig. 29. Corte M-6 a N// y NX respectivamente, mostrando biotitas y plagioclasas inmersas en una matriz de vidrio.



### M-7 Cuarzo-grauvaca silicificada

Roca de color gris muy claro (N8 *very light gray*) con líticos milimétricos 5% del total de la roca, presenta zonas alteradas por la oxidación dándole un color rojizo, además la roca posee un 1% de porosidad (Figura 30).



Fig. 30. Materia prima. Cuarzo-grauvaca silicificada.

El estudio petrográfico microscópico muestra una roca siliciclastica silicificada (Figura 31), pero que debido a su oxidación su matriz se observa parda oscura. Además concuerda con la muestra de mano que posee una alta dureza.

Matriz: 60% (matriz arcillosa que ha sido silicificada y oxidada)

Clastos 40% (líticos de chert 65%, cuarzo 5%, minerales tabulares no reconocibles reemplazados por sílice 30%)

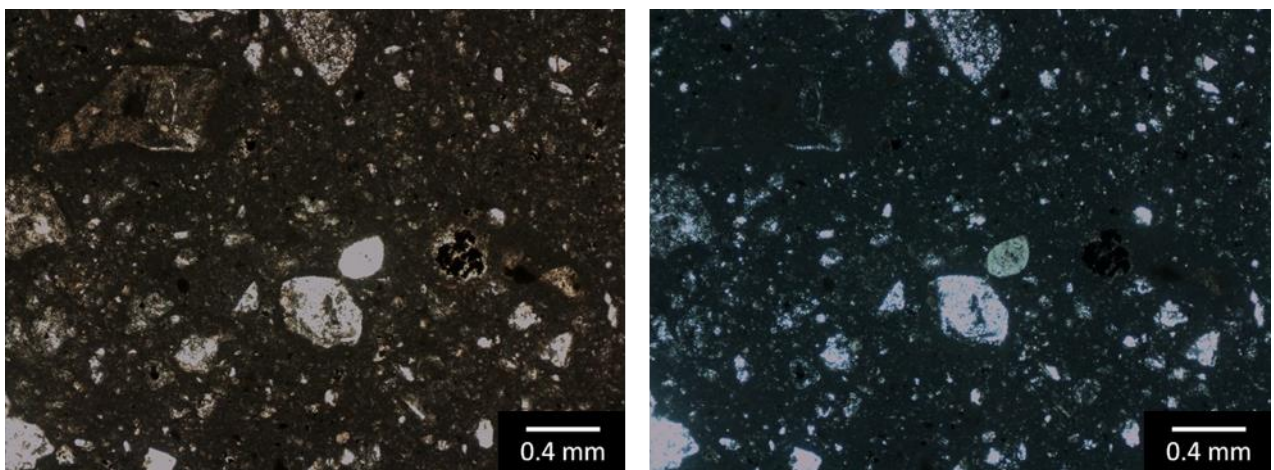


Fig. 31. Corte M-7 a N// y NX respectivamente, en él se observan fragmentos de cuarzo y minerales alterados en una matriz arcillosa silicificada completamente oxidada.

## M-8 Chert con líticos

Roca con líticos milimétricos 30% completamente silicificada de color gris muy claro (N8 *very light gray*) (Figura 32).



Fig. 32. Materia prima. Chert con líticos

El estudio petrográfico microscópico muestra como una roca siliciclástica está siendo reemplazada por sílice (Figura 33), alterando los minerales presentes en ella de tal manera que no se pueden reconocer. La roca al igual que la anterior muestra M-7 presenta oxidación, y en particular fracturas que no alcanza a ser el 1%.

Matriz: ~45% arcilla

Cemento: 25% (sílice criptocristalino)

Clastos: 30 % (minerales no reconocibles, y fragmentos de rocas silicificadas)

Porosidad: <<1 %

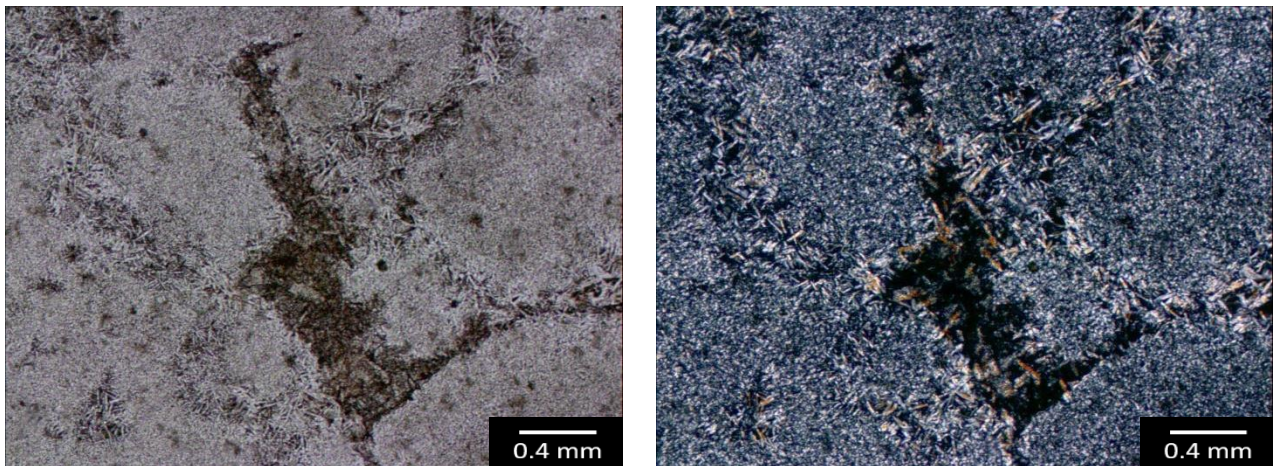


Fig. 33. Corte M-8 a N// y NX respectivamente, En las imágenes se puede ver cómo una roca arcillosa está siendo cementada por sílice.



## M-9 Chert

Roca de color blanco (N9 *white*) variando a gris verdoso claro (5G 8/1 *light greenish gray*), presenta escasos líticos milimétricos. La roca en general se encuentra oxidada como se puede ver en la Figura 34 por lo que se ven zonas más anaranjadas.



Fig. 34. Materia prima. Chert.

El estudio petrográfico microscópico muestra una roca muy obliterada y oxidada donde resaltan minerales tabulares ennegrecidos los cuales no se han podido identificar. Se destaca la presencia de presuntos radiolarios que rellenan cavidades como se puede ver en la Figura 35.

Matriz: 60% (masa amorfa silicificada)

Clastos: 35% (minerales tabulares 95% y presuntos radiolarios 5%)

Porosidad: 10% (dada por fracturas)

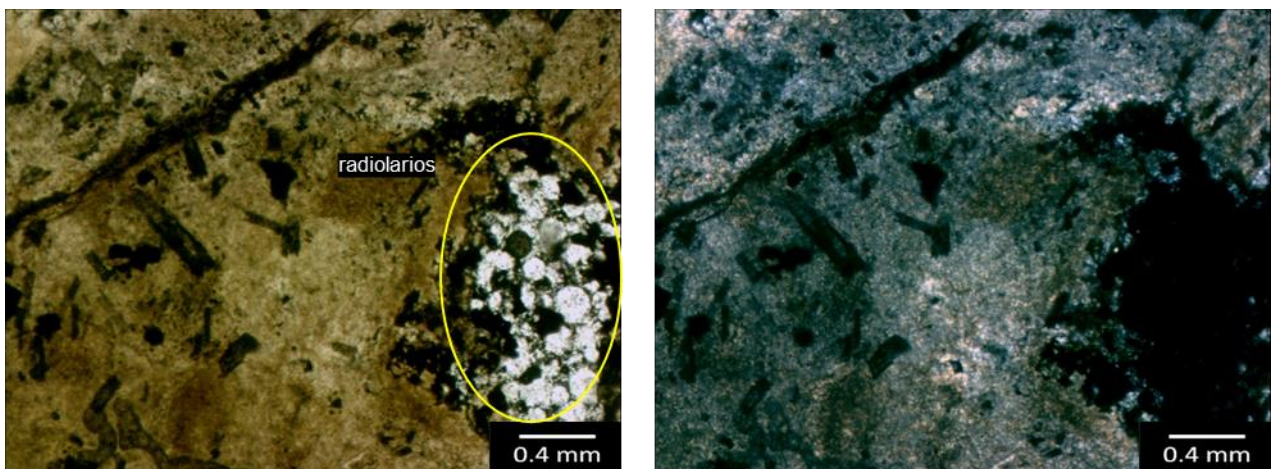


Fig. 35. Corte M-9 a N// y NX respectivamente, En las imágenes se puede ver una roca oxidada con minerales tabulares que no han podido ser identificados. Además se señala lo que podrían ser radiolarios.

### M-10 Chert con líticos

Roca muy alterada por la oxidación de color blanco (N9 *white*) y pardo rojizo moderado (10R 4/6 *moderate fleddish brown*) con líticos presentes, los cuales corresponden al 50% de la roca y se encuentran marcados en su borde por el tono pardo rojizo moderado (Figura 36).



Fig. 36. Materia prima. Chert con líticos.

El estudio petrográfico microscópico muestra una roca muy alterada por la oxidación que cubre las zonas ya silicificadas. Entre la silicificación y la oxidación, la roca se oblitera de tal forma que no se puede reconocer sus minerales, algunos se presentan redondeados y otros tabulares, pero no es posible su identificación.

Se destaca en particular lo que podría ser una carófito (Figura 37) por su aspecto circular central, con una zona subredondeada a amorfa que lo rodea.

Matriz: 98% (sílice amorfo con oxidación en el 70% de la roca)

Clastos: 2% (no reconocible silicificados, presencia puntual de lo que podría ser una carófito).



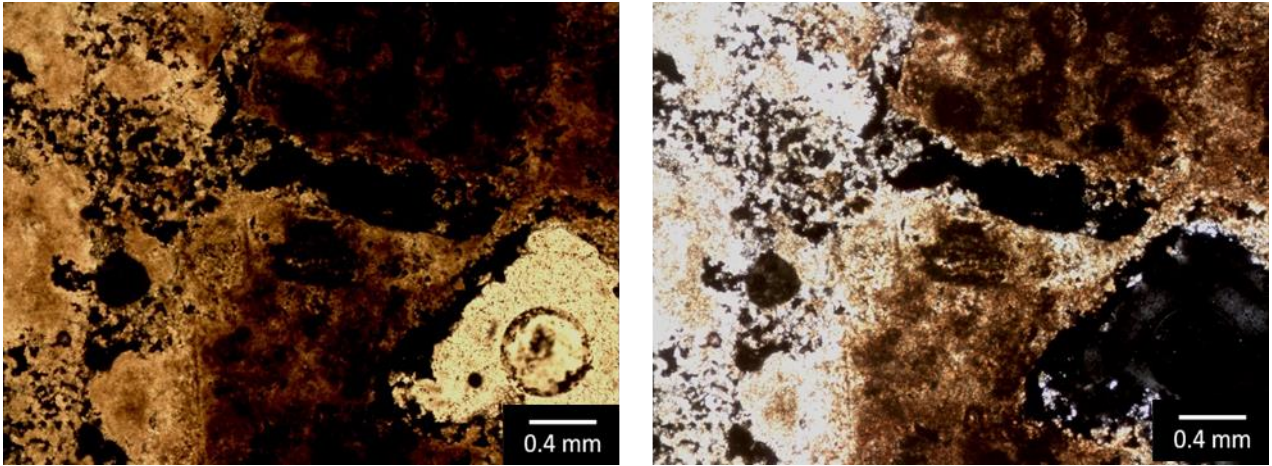


Fig. 37. Corte M-10 a N// y NX respectivamente, En las imágenes se puede ver una roca silicificada afectada por la oxidación. En la imagen izquierda al lado inferior derecho se aprecia lo que podría corresponder a una carófito.

### M-11 Chert

Roca silicificada con abundante oxidación y fracturas que cubren el 40% de la roca, su color principal es rosa grisáceo (5YR 8/1 *pinkish gray*) con rojo moderado (5R 4/6 *moderate red*) (Figura 38).



Fig. 38. Materia prima. Chert

La descripción petrográfica microscópica muestra una roca muy alterada que oblitera la roca completamente, sin embargo, se destaca la textura fluidal que se muestra con claridad en la Figura 39, la que habría silicificado la roca, luego por la presencia de oxidación esta logra este aspecto pardo sucio característico del corte.

Matriz. 100% (sílice criptocristalino en parte oxidado y en algunos sectores con menor oxidación)

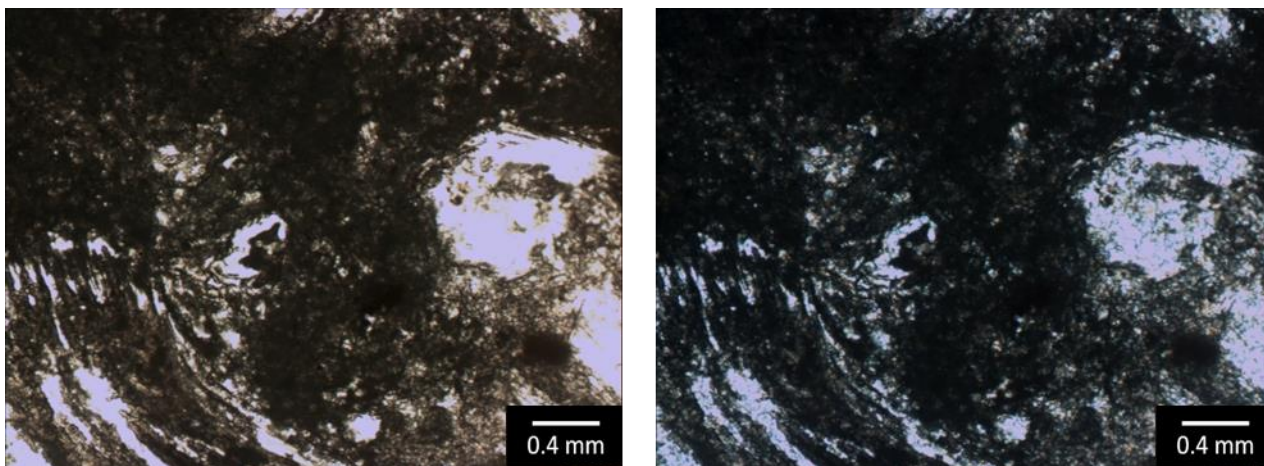


Fig. 39. Corte M-11 a N// y NX respectivamente, En las imágenes se puede ver una roca silicificada afectada por la oxidación, donde el fluido que la silicificó quedó expresado claramente en la zona inferior izquierda de las imágenes.

### **M-13 Chert gris oscuro con vetillas de cuarzo**

Roca silicificada gris oscura (N3 *dark gray*), con presencia de vetillas de cuarzos de 0.5 mm de ancho aproximadamente, además presenta 5% de cristales de cuarzo y alto magnetismo (Figura 40).



Fig. 40. Materia prima. Chert gris oscuro con vetillas de cuarzo

La descripción petrográfica microscópica muestra una roca silicificada ennegrecida por minerales oxidados (Figura 41), en particular magnetita por descripción de muestra de mano. Además, se observan vetillas de cuarzo que atraviesan el corte, donde los contactos de los cuarzos policristalinos son rectos.

Matriz: 70% (sílice 60% y magnetita disipada 40%)

Clastos: 25% (cuarzo policristalino y monocristalino 40 %, epidota 13%, óxidos 13%, arcilla 17%, y feldespato muy alterados algunos reconocibles por maclas de carlsband 17%)

Porosidad: 5% (dada por fracturas)

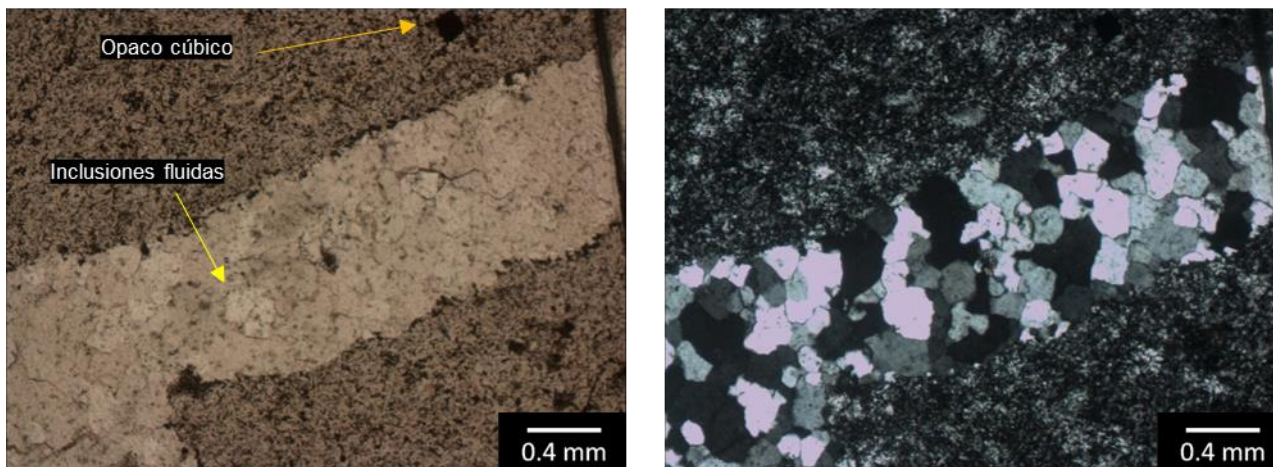


Fig. 41. Corte M-13 a N// y NX respectivamente, En las imágenes se puede ver una roca silicificada ennegrecida por la presencia de magnetita, también se muestran vetillas rellenas por cuarzo policristalino como se aprecia en la figura derecha.

### M-15 Chert con bioclastos.

Roca erosionada por el viento (Figura 42) de color pardo oliva moderado (5Y 4/4 *moderate olive brown*), con clastos alargados de alta dureza similar al cuarzo, orientados en una dirección, visualmente corresponde al menos al 60% de la roca.



Fig. 42. Materia prima. Chert con bioclastos.



La descripción petrográfica microscópica muestra una roca silicificada con presencia de bioclastos (Figura 43) que han sido reemplazados por sílice criptocristalino, también se pueden encontrar en menor proporción minerales como plagioclasas, cuarzo, anfíbol y óxidos.

Matriz: 10% (micrita silicificada)

Clastos: 90% (bioclastos alargados silicificado, probablemente de moluscos 83%, plagioclasas 4%, cuarzo 5%, anfíbol 3% y óxidos 5%)

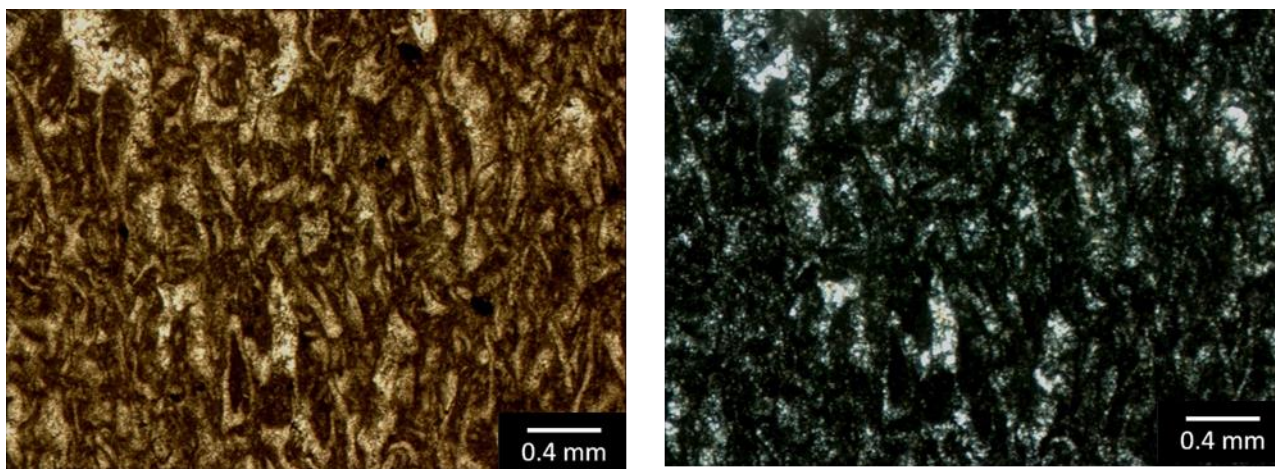


Fig. 43. Corte M-15 a N// y NX respectivamente, En las imágenes se puede ver una roca silicificada con un alto contenido de bioclastos reemplazados por sílice.

### M-16 Chert con líticos oxidados

Roca de color pardo oliva claro (5Y 5/6 *light olive Brown*) con líticos rojizos y amarillentos en un 30% de la roca. La Roca se encuentra silicificada (Figura 44).



Fig. 44. Materia prima. Chert con líticos oxidados



La descripción petrográfica microscópica muestra una roca siliciclastica que ha sido silicificada, en ella se pueden apreciar aún cuarzo, sin embargo, el resto de los minerales y fragmentos de rocas se encuentra reemplazado por arcilla o alterado al punto de no poder ser identificados (Figura 45).

Matriz: 55% (sílice criptocristalino con oxidación y arcilla diseminada)

Clastos: 35% (cuarzo monocristalino 40%, minerales alterados 30% y óxidos 30%)

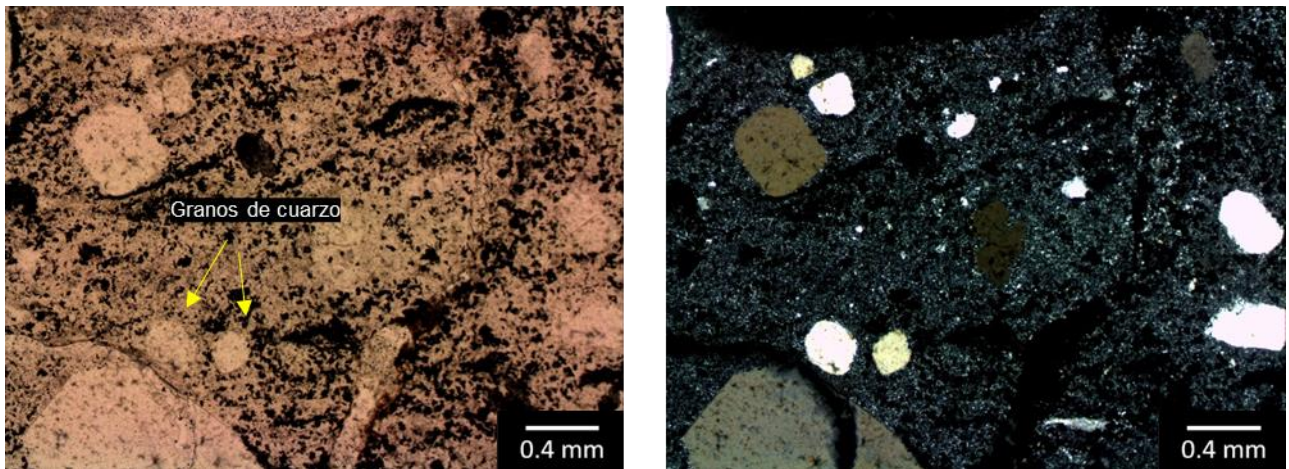


Fig. 45. Corte M-16 a N// y NX respectivamente, En las imágenes se puede ver una roca silicificada con cristales de cuarzo y minerales oxidados.

### M-20 Silexita

Roca de color gris muy claro (N8 *very light gray*) cubierto en parte por formas amorfas de color rojo claro (5R 6/6 *light red*). El 50% de la roca se encuentra con fracturas que llegan a 3 mm de ancho (Figura 46).



Fig. 46. Materia prima. Silexita

La descripción petrográfica microscópica muestra una roca con oxidación que bordea clastos reemplazados por sílice autigénico debido a la presencia de radiolarios.

Matriz: 70% (sílice criptocristalino oxidado (parte del óxido ferroso que bordea los clastos, a pesar de actuar como cemento, se considera dentro de la matriz para efectos prácticos)).

Clastos: 25% (radiolarios 32%, cuarzo 38% y fragmentos de roca silicificados 30%)

Porosidad: 5% (dada por fracturas (como la muestra de mano poseía más fracturas se deduce que sólo eran superficiales)).

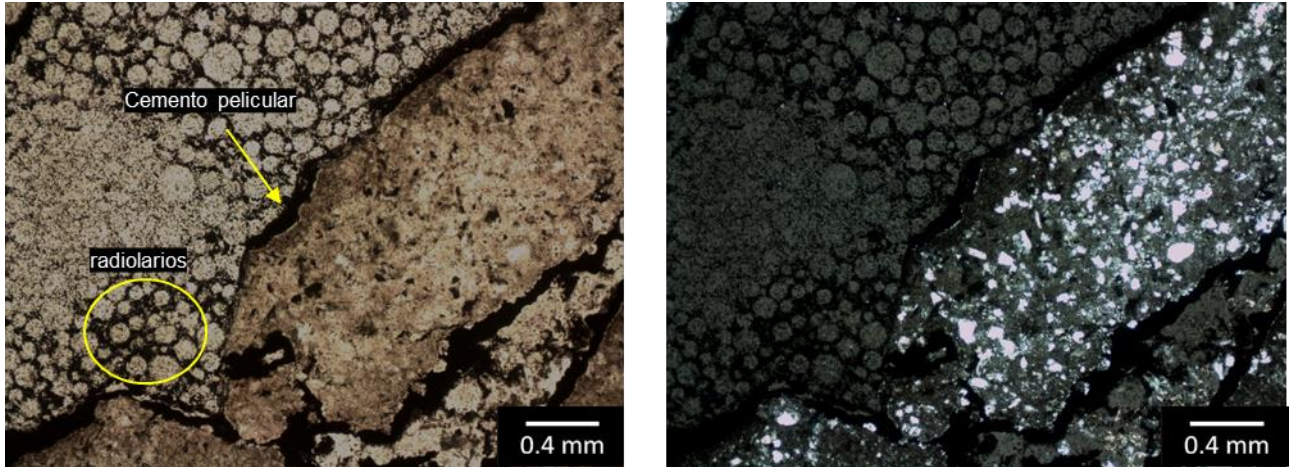


Fig. 47. Corte M-20 a N// y NX respectivamente, En las imágenes se puede ver una roca silicificada con presencia de radiolarios y clastos oxidados en sus bordes.

Las muestras a continuación correspondiente a Infieles son de muy baja calidad debido a las alteraciones que presentan, por lo que en un futuro se deberá tener mayor cuidado a la hora de recolectar las muestras.

## I-2 Chert

Color de color gris amarillento (5Y 8/1 *yellowish gray*) con leves zonas oxidadas en cúmulos, menor al 3% de la roca (Figura 48).

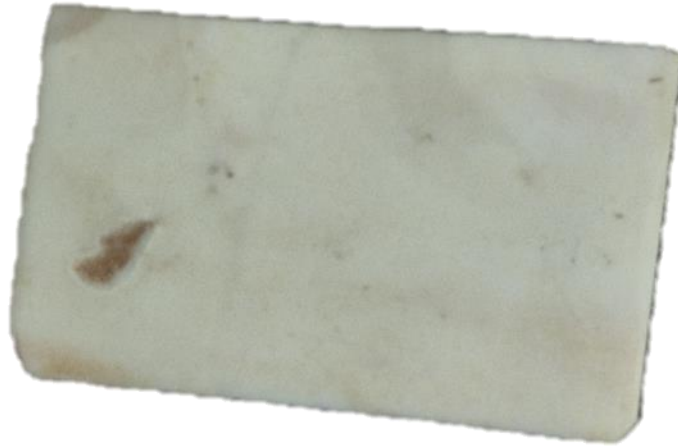


Fig. 48. Materia prima. Chert.

La descripción petrográfica microscópica no permite deducir mucha información de la roca, más allá de su completa silicificación, presencia de bioturbación y oxidación sobre éste sílice criptocristalino. Se destacan algunas concentraciones de sílice microcristalino (Figura 49).

Matriz: 95% (sílice oxidado)

Clastos: 5% (sílice microcristalino)

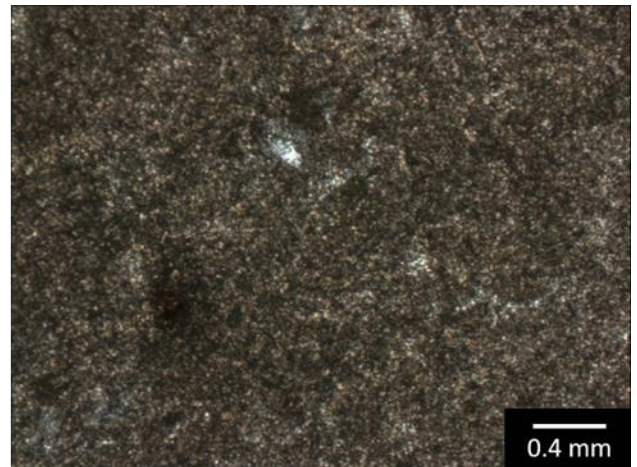
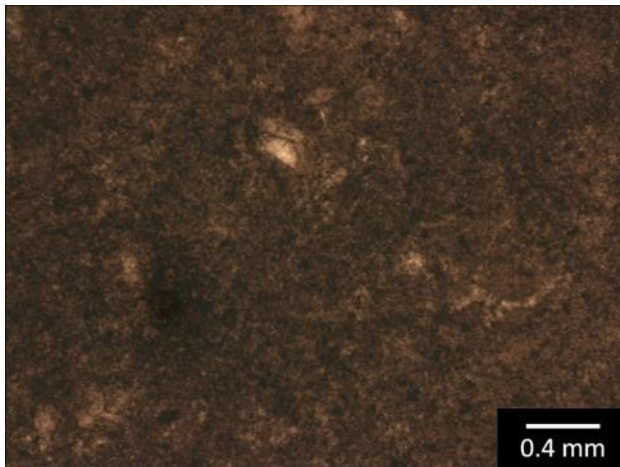


Fig. 49. Corte I-2 a N// y NX respectivamente, En las imágenes se puede ver una roca silicificada oxidada y cúmulos de sílice concentrado.



### I-3 Chert

Roca de color gris amarillento (5Y 8/1 *yellowish gray*) con cúmulos de óxido de manganeso, también se observan zonas oxidadas por óxido ferroso.



Fig. 50. Materia prima. Chert.

El estudio petrográfico microscópico muestra una roca muy alterada donde no es posible distinguir minerales (Figura 51). Su textura se ve amorfa, no entregando información sobre la roca más que la silicificación y posterior oxidación.

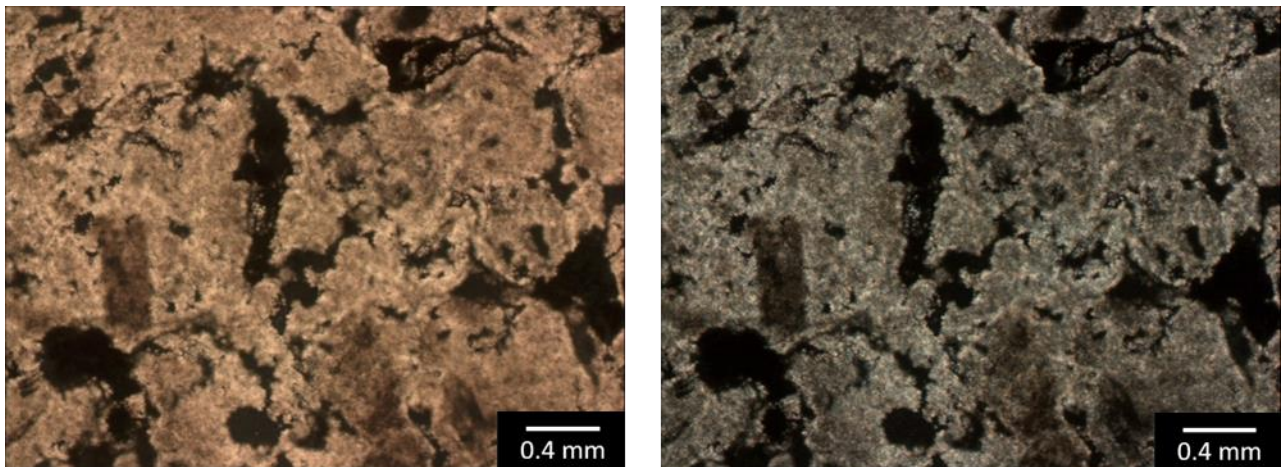


Fig. 51. Corte I-3 a N// y NX respectivamente, En las imágenes se puede una masa amorfa sin estructura reconocible la cual está silicificada y posteriormente oxidada. También se observa en la parte izquierda de ambas imágenes lo que podría ser la huella de un mineral tabular.



#### I-4 Chert con líticos

Roca de color gris amarillento (5Y 8/1 *yellowish gray*) oxidada con líticos tabulares y subredondeados de alta dureza que bordean el 40% de la roca. La roca posee un 3% de porosidad (Figura 52).



Fig. 52. Materia prima. Chert con líticos.

El estudio petrográfico microscópico no aporta más información que la descripción macroscópica, debido a que la muestra se ve completamente ennegrecida por la oxidación, y los minerales tabulares si bien se pueden observar algunos, estos se encuentran alterados y ennegrecidos no pudiendo ser reconocidos (Figura 53).

Matriz: 80% (sílice muy oxidado)

Clastos: 20% (minerales no identificados tabulares silicificados)

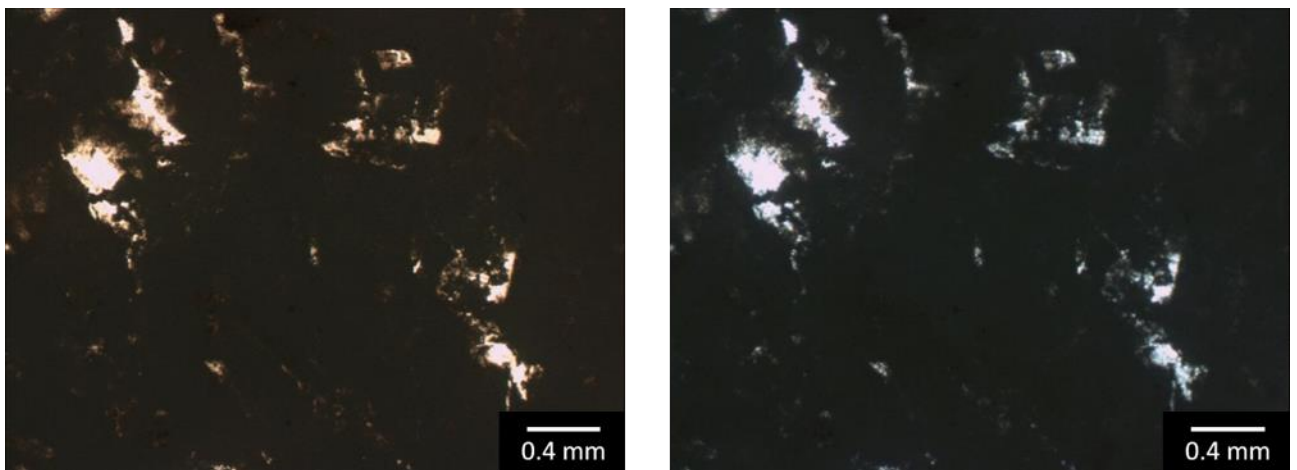


Fig. 53. Corte I-4 a N// y NX respectivamente, En las imágenes sólo se puede observar una roca muy oxidada con zonas de sílice criptocristalino más limpio.

## I-6 Chert

Roca de aspecto similar a la muestra I-4, pero sin poros. La roca es de color gris amarillento (5Y 8/1 *yellowish gray*), oxidada con escasos líticos, 3% de la roca. (Figura 54).



Fig. 54. Materia prima. Chert.

El estudio petrográfico microscópico muestra una roca completamente silicificada, con zonas muy oxidadas y otras zonas menos “sucias” donde se puede ver el sílice criptocristalino. En la roca se observan minerales tabulares al igual que en I-4, pero en menor proporción e igualmente oxidados (Figura 55).

Matriz: 97% (sílice oxidado)

Clastos: 3% (minerales no identificados tabulares silicificados)

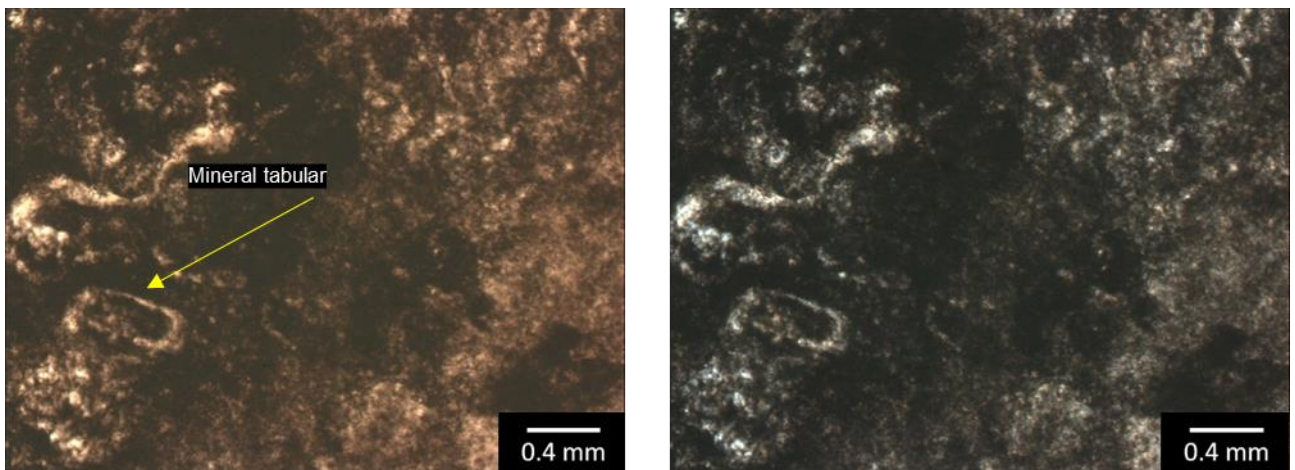


Fig. 55. Corte I-6 a N// y NX respectivamente, En las imágenes se observa la oxidación de una matriz sílicea con el rastro de un mineral tabular.



## ANEXO C

Tabla C1. Resultados de Fluorescencia de Rayos X (FRX) para materiales arqueológicos (en verde) y microscopio electrónico de Barrido (SEM) para materias primas (en azul).

Sample	Si	Na	Al	K	Ti	Fe	S	Cs	Mn	Zr	Rb	Sr	Y	V	Ca	Mg	P	Zn	Cl	Ba	Cr	Cu	As	Pm	Pr	Ac	Sm		
M-4	59.8041	6.1840	16.6507	4.3403	0.7298	3.8986	0.69138	0	0	0	0	0	0	0	4.9741	2.1510	0	0	0.5761	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
XRF3	52.198	15.246	20.419	1.369	0.508	3.338	0.088	0	0.124	0.0260	0.007	0.090	0.004	0	3.893	2.467	0.217	0.006	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
XRF13A	94.925	0	3.075	0.289	1.386	0	0.313	0	0	0	0	0.011	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
XRF13B	92.059	0	5.311	0.376	0.194	0.414	0.244	0.079	0	0	0	0	0	0.012	0	1.311	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
XRF13C	77.063	0	3.887	0.388	0	0.268	0.377	0	0	0	0	0	0	0	18.017	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
XRF14	95.309	0	3.372	0.200	0.567	0.137	0.270	0.097	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.047	0	0	
XRF18A	92.929	0	4.114	0.321	0.797	0	0.271	0	0	0.015	0	0	0	0	0.488	1.065	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
XRF18B	75.289	0	6.592	0.778	0.933	0.579	0.286	0	0	0.223	0	0	0	0	12.948	1.552	0.542	0	0	0.278	0	0	0	0	0	0	0	0	
XRF13F	91.751	0	5.221	0.433	0.862	0.149	0.205	0	0	0.012	0	0	0	0.020	0	1.346	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
PE-14	98.7072	0	0.9125	0.3802	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
XRF16	90.487	0	4.257	0.325	0.641	2.757	0.338	0	0	0	0	0	0	0.027	0.197	0.971	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
XRF6	64.479	16.845	14.593	3.185	0.334	0.175	0.146	0	0	0.053	0.007	0.004	0.002	0	0.177	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
XRF9	88.960	0	4.106	0.455	0.387	4.315	0.567	0	0	0.008	0	0.039	0	0	0.291	0.802	0.068	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
XRF11	65.589	16.497	13.792	1.957	0.301	0.234	0.143	0	0	0.051	0.005	0.003	0	0	0.172	1.257	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
XRF13E	76.540	0	5.405	0.900	0.620	5.255	0.379	0	0	0	0	0.026	0	0	10.106	0	0.712	0	0	0	0	0	0.057	0	0	0	0	0	
XRF15	83.677	0	5.653	0.451	0.444	7.373	0.430	0	0	0	0	0.048	0	0	0.233	1.343	0.321	0	0	0	0	0	0	0	0	0.027	0	0	
XRF18C	88.833	0	4.203	0.387	0.350	5.192	0.591	0	0	0.013	0	0.053	0	0.007	0.149	0	0.199	0	0	0	0	0	0	0	0	0.024	0	0	
XRF19	92.496	0	3.203	0.171	0	3.643	0.305	0.118	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.064	
PE-16	63.5254	0.7096	18.365	7.4936	0.6529	5.4783	0	0	0	0	0	0	0	0	1.0786	2.2708	0	0	0.4258	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PE-19	71.8182	6.7194	12.4901	6.8972	0.6719	0.7115	0	0	0	0	0	0	0	0	0.6917	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M-13	62.7264	6.7116	13.6089	7.6173	0.6735	5.5272	0.3716	0	0	0	0	0	0	0	2.7636	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M-19	60.4485	4.5977	13.8685	10.684	0.3957	7.4618	0	0	0	0	0	0	0	0	2.5438	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
I-5	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



