

**EL COLEGIO DE MICHOACÁN
CENTRO DE ESTUDIOS ARQUEOLÓGICOS**



**EL COLEGIO
DE MICHOACÁN**

Los metalurgistas del cobre en Jicalán Viejo (1400-1609), Michoacán: Un estudio a través de las escorias



TESIS

Presentada por:

Nelly Mercedes Mendez Carchi

Para optar por el grado en Maestra en Arqueología

Directores:

Dra. Blanca Estela Maldonado Álvarez

Asesores:

Dr. Hans Roskamp

Dr. José Fernando May Crespo

Mtro. Luis Ramon Velásquez Maldonado

Dr. David Larreina García

La Piedad, Michoacán, México

Marzo - 2025

Dedicatoria

Dedico este trabajo de investigación a la mujer, estudiante y madre que, en el recorrido de su maestría, enfrentó el ardor implacable de la depresión, la incertidumbre de un embarazo y el peso de un futuro que parecía desmoronarse ante sus ojos. A aquella que sintió el abrazo helado de la pérdida y la soledad ensordecedora, mientras la distancia la separaba de los brazos de su familia. Esta tesis no es solo el cierre de un capítulo académico, sino un testimonio de lucha, un reflejo de su espíritu. En cada palabra escrita, en cada noche de desvelo, en cada lágrima derramada en silencio, quedó impresa la determinación de una mujer que, aun cuando todo parecía empujarla al abismo, eligió levantarse, desafiar su destino y reinventarse a sí misma.

Dos años y medio de batallas constantes. No solo enfrentó los desafíos propios de la academia, sino también los de la vida, que con cruel insistencia puso a prueba su fortaleza. La tormenta parecía interminable: el miedo a lo incierto, la angustia de no poder compartir su carga, la salud que se quebrantaba y la sombra de la desesperanza acechando cada día. Pero, incluso en la oscuridad más profunda, ella encontró su propia luz. Descubrió en sí misma una fuerza que ni siquiera sabía que poseía, una fortaleza que se negó a rendirse, que se aferró con uñas y dientes a sus sueños, que luchó contra el dolor y lo transformó en aprendizaje, en resiliencia, en crecimiento. Los tropiezos en su camino no fueron derrotas, sino lecciones. Cada obstáculo, cada caída, cada momento de duda se convirtieron en escalones que la llevaron hasta aquí, hasta este instante en el que, con la frente en alto y el corazón rebosante de orgullo, concluye esta travesía. Esta tesis no es solo un requisito académico; es un monumento a su valentía, una prueba irrefutable de que el tiempo, las dificultades y el sufrimiento no son rivales para la determinación de una mujer que ha decidido brillar, pese a todo.

Hoy, ella ya no es la misma que comenzó este camino. Ha renacido de sus propias cenizas, ha sanado sus heridas, ha abrazado su dolor y lo ha transformado en un recordatorio de su propia grandeza. Esta tesis es su victoria, su grito al mundo de que nunca se rindió.

Por todo esto, con profundo amor y admiración, dedico esta tesis a ti, Nelly.

Agradecimientos

La presente tesis ha sido posible gracias al apoyo del Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI), cuya contribución económica durante el periodo 2022-2024 fue fundamental para el desarrollo de mi formación académica y el proceso de investigación. Asimismo, expreso mi profundo agradecimiento a El Colegio de Michoacán A.C. y al Centro de Estudios Arqueológicos (CEQ) por haberme brindado la oportunidad de formar parte de su programa de maestría. Su respaldo, tanto en el ámbito académico como en el apoyo económico para la culminación de esta tesis, ha sido invaluable. Aprecio profundamente la enseñanza y orientación proporcionadas por su distinguido cuerpo docente, cuyo compromiso y conocimiento fueron esenciales en mi proceso de aprendizaje. A todos ellos, mi más sincera gratitud.

De manera específica, expreso mi más profundo agradecimiento a mi directora, la Dra. Blanca Maldonado, por haber sido un pilar fundamental en el desarrollo de esta tesis. Su tiempo, dedicación y orientación fueron esenciales en mi formación, y su compromiso me acompañó en cada paso de este proceso. Asimismo, agradezco a mis asesores internos, Luis Maldonado y Fernando May, quienes formaron parte integral de cada etapa de mi estancia. Su paciencia, compañía y constante motivación fueron un impulso invaluable para seguir adelante y superar cada desafío. De igual manera, extendo mi gratitud a mi asesor externo, el Dr. David Larreina, cuyo conocimiento y formación fueron determinantes para mi crecimiento académico. Su paciencia al guiarme en la realización de este proyecto, sus valiosos comentarios y su apoyo incondicional marcaron una diferencia significativa en este camino. Así también al Dr. Hans Roskamp por su valioso apoyo en cada fase de esta tesis. A cada uno de ustedes, gracias por su enseñanza, por su confianza en mí y por haber sido parte de este proceso.

Agradezco a mis padres, quienes no solo me dieron la vida, sino que han sido mi mayor inspiración y el pilar sobre el que he construido mis sueños. Ustedes, que siempre han creído en mí, incluso en los momentos en los que yo misma dudé, son mi más grande motivación y el impulso que me ha sostenido en cada paso de este camino. A mi madre, por sus palabras de aliento que han sido faro en mis días más oscuros, por los incontables sacrificios que han forjado mi camino y por su amor incondicional, que me ha dado la fuerza para seguir adelante, incluso cuando parecía imposible. A mi padre, por enseñarme a no rendirme, por ser el ejemplo de perseverancia, por

impulsarme a crecer y por recordarme siempre que la verdadera fortaleza radica en la voluntad de seguir avanzando. Cada logro alcanzado es también suyo, porque sin su amor, apoyo y confianza, este sueño no habría sido posible.

A mis hijos, Paula y Emiliano, el latido más fuerte de mi corazón, la razón por la que cada esfuerzo ha valido la pena. Paula, mi niña sabia, gracias por tu apoyo incondicional, por tu paciencia infinita y por sacrificarte conmigo en este camino. Tus abrazos fueron el refugio en mis días más difíciles, y tu cariño, la luz que iluminó mis noches de incertidumbre. No hay palabras suficientes para agradecerte por comprenderme, por animarme y por recordarme, con tu amor puro, que siempre hay un motivo para seguir adelante. Emiliano, mi pequeño compañero de batalla, tú viviste conmigo cada instante de esta travesía. Fuiste testigo de mis desvelos, de mis momentos de agotamiento, pero también de mi determinación por no rendirme. Gracias por ser un niño tan amoroso, por acompañarme con tu risa, por sostener mi mano cuando el cansancio pesaba demasiado. No imaginas cuánto significó para mí sentirte a mi lado, dándome fuerzas con tu sola presencia. Esta tesis es por ustedes y para ustedes. Porque son mi mayor motor, mi más grande inspiración y el amor más puro que sostiene mi vida.

A mis hermanos, mi refugio y mi fortaleza en este camino. Viviana, gracias por ser la fuerza que me sostiene, por tu apoyo inquebrantable tanto emocional como económico. Sin ti, este sueño no habría sido posible. Tu amor, tu entrega y tu fe en mí han sido un impulso invaluable en los momentos más difíciles. Paul, gracias por estar ahí para escucharme, por tus ocurrencias que han llenado mis días de risas incluso en medio del cansancio y la preocupación. Anabel, mi hermana menor, gracias por tus palabras y consejos, por recordarme con tu ternura y sabiduría que siempre hay una razón para seguir adelante. Tu apoyo ha sido un regalo en esta travesía.

A todos mis amigos Fabricio, María Teresa, Andrea, David, Jacky, Bryan, Jefferson, Juan Fernando, aquellos que han estado a mi lado a lo largo de la vida y aquellos que fueron parte de esta maestría gracias por su compañía, su apoyo y su cariño incondicional. A Vanne, por ser una persona tan hermosa, por abrirme las puertas de su hogar y recibirme con tanto cariño en su casita de foránea. Tu generosidad y calidez hicieron que me sintiera como en casa. A Maricarmen, por tu amoroso cuidado y por ser mi apoyo constante. Gracias por ser un pilar en mi vida, por cuidarme cuando mi salud lo requería y por recibirme en tu hogar con los brazos abiertos, junto a tu linda

familia. Eres, sin duda, la tía más cariñosa y especial para Emi, y me siento profundamente agradecida por todo lo que has hecho por nosotros.

En especial, a Carlos y Lennin, quienes hoy no solo son amigos, sino hermanos del alma. Gracias por estar en cada momento, por compartir risas, por hacer de este camino una aventura inolvidable. Juntos hemos pasado por buenas, malas y peores, y, aun así, seguimos de pie, sosteniéndonos mutuamente. Gracias por cada noche de desahogo, por los consejos sinceros, por escucharme cuando más lo necesitaba. Por los viajes que se convirtieron en recuerdos imborrables, por enseñarme que nunca es suficiente cuando se trata de mezclar ciencia con el dorado elixir de la vida. Sin ustedes, mi tiempo en México no habría sido el mismo. Gracias por ser mi familia lejos de casa, por hacerme sentir acompañada y por demostrarme una amistad verdadera.

Un agradecimiento muy especial a todas las personas que tuve la fortuna de conocer en México, pero en particular a la señora Azucena y Don Jorge. Ustedes fueron mucho más que una amistad; se convirtieron en unos padres para mí y unos abuelitos amorosos para Emiliano. Gracias por recibirnos en su hogar, por cuidar de Emi con tanto cariño mientras yo me dedicaba a mis estudios, por ser una segunda familia en un lugar tan lejano. Sus gestos de amor y generosidad no tienen comparación. Gracias por todas las risas compartidas, por las charlas que siempre me llenaron de sabiduría, por hacerme sentir parte de su hermosa familia. Ustedes fueron las personas más lindas que conocí en México, y les estaré eternamente agradecida por su apoyo, por su ternura y por hacer de su hogar un refugio para Emiliano y para mí.

Índice

1. CAPITULO 1.....	15
1.1. Introducción	15
1.2. El cobre	15
1.3. Cadena operativa de la obtención de cobre.....	16
1.3.1. Trituración o beneficiado	17
1.3.2. Tostado.....	20
1.3.3. Reducción de cobre.....	22
1.3.4. Estructuras de reducción	25
1.3.5. Productos resultantes de la reducción del cobre.	34
1.3.6. Refinación	38
1.4. Metalurgia en Mesoamérica.....	38
1.4.1. Obtención de cobre en Mesoamérica:.....	41
1.4.2. Metalurgia en Michoacán	44
1.4.3. El origen del proceso de reducción en Michoacán, propuesta de Dorothy Hosler sobre la Metalurgia en Mesoamérica	45
1.4.4. Minería en Michoacán	46
1.4.4.1. Sitios de extracción de cobre en Michoacán.....	50
Itziparátzico	51
Santa Clara del Cobre	54
1.5. Metalurgia en Jicalán Viejo	54
1.5.1. Contexto Histórico	56
1.5.2. Fuentes históricas: Lienzo de Jicalán.....	58
1.6. Resumen de los trabajos arqueológicos y sus conclusiones	62
1.7. Planteamiento de la investigación.....	69
Problemática	69
Justificación	70
Pregunta de investigación	70
Objetivos.....	70
Hipótesis	71
2. CAPITULO 2.....	71
2.1. Desarrollo del concepto de cadena operativa.....	72

2.2.	Componentes de la cadena operativa	75
	Cadena operativa	79
3.	CAPITULO 3.....	81
3.1.	Marco Metodológico.....	81
3.2.	Tipo de investigación: Importancia del estudio de las escorias.....	81
3.3.	Análisis tipológico y morfológico de escorias de cobre	83
3.3.1.	Terminología.....	87
3.4.	Toma de muestras en campo.....	89
3.4.1.	Selección de las muestras para la investigación	99
3.4.2.	Revisión documental.....	105
3.5.	Gestión y análisis de datos: Análisis estadístico y distribución espacial.....	105
3.5.1.	Análisis estadístico.....	105
3.5.2.	Sistemas de información geográfica (SIG)	106
4.	CAPITULO 4.....	108
4.1.	Caracterización de las escorias de Jicalán Viejo.....	108
4.2.	Escoria de tipo torta	109
4.3.	Escoria laminar	111
4.4.	Escoria mixta	115
	Resumen comparativo de los tipos de escorias	119
4.5.	Análisis comparativo de los indicadores morfológicos de los distintos tipos de escoria 120	
4.5.1.	Formas de las escorias	120
4.5.2.	Grosor de las escorias de acuerdo con su tipo	123
	Caracterización de grosores en láminas: Promedio, mediana y dispersión.....	125
4.5.3.	Porosidad según el tipo	126
4.5.4.	Colores presentes en las escorias	130
4.5.5.	Improntas	132
4.5.6.	Diámetro según el tipo	134
4.5.7.	Magnetismo según tipo de escoria.....	136
4.5.8.	Resumen.....	137
5.	CAPITULO 5: Análisis e Interpretaciones de los Hallazgos en Jicalán Viejo.....	139
5.1.	Interpretación de la cadena operativa en Jicalán Viejo.....	139

5.1.1.	Extracción: Minería	139
5.1.2.	Tipo de reducción: Reducción de menas sulfídicas de cobre en Jicalán Viejo. .	143
5.1.3.	Componentes y herramientas en la producción de cobre en Jicalán Viejo.....	144
5.1.4.	Refinación	162
5.2.	Distribución de contextos en Jicalán Viejo.....	163
5.3.	Distribución de las escorias según su tipología en el sitio de Jicalán Viejo.	175
5.3.1.	Áreas de concentraciones de escoria en el sitio	178
5.4.	Análisis e interpretación de la distribución de áreas y resultados obtenidos	188
5.5.	Evaluación y Refutación de la propuesta de Dorothy Hosler	192
6.	CONCLUSIONES	199
	Bibliografía	205

Contenido de Mapas

Mapa 1	Ubicación de minas prehispánicas en Michoacán	47
Mapa 2	Ruta de mina	50
Mapa 3	Minas potenciales para Jicalán Viejo.....	142
Mapa 4	porcentaje de escorias en el sitio Jicalán Viejo.....	177
Mapa 5	Zona 1	180
Mapa 6	zona 2.....	182
Mapa 7	Zona 3	185
Mapa 8	Zona 4	187
Mapa 9	Áreas de distribución de actividades	191

Contenido de Figuras

Figura 1	Escorias tipo torta	110
Figura 2:	Variedad de escorias tipo laminar en Jicalán Viejo	114
Figura 3:	Variedad de escorias de tipo mixta.....	118
Figura 4	Formas de escorias de acuerdo con su tipo	122
Figura 5	Porosidad de las escorias de acuerdo con su tipo.	129
Figura 6	Color de las escorias	131
Figura 7	Huellas en escorias	133
Figura 8	Borde de las escorias	135

Figura 9 Huellas	149
Figura 10 Huellas	152
Figura 11 Extracción de la escoria de Jicalán Viejo	153
Figura 12 Modelo de horno en Jicalán Viejo.....	156
Figura 13 Modelo de horno en Jicalán Viejo.....	160
Figura 14 Posible Fragmento de Crisol	162
Figura 15 Proceso de refinación	163

Contenido de Gráficos

Gráfico 1 Cantidad de muestras de escorias de acuerdo con su tipo y forma.....	121
Gráfico 3 Grosor de las escorias tipo torta.....	123
Gráfico 2 Porcentaje de escoria laminar, según su grosor.	124
Gráfico 4 Grosor de las escorias tipo mixta.....	125
Gráfico 5 Porosidad de las escorias de acuerdo con su tipo	128
Gráfico 6 Porcentaje de las escorias de acuerdo con el color que presenta.	130
Gráfico 7 Diámetros de las escorias.....	134
Gráfico 8 Magnetismo de las escorias	137

Contenido de tablas

Tabla 1 Características de escorias	37
Tabla 2 Clasificación de escorias de cobre extraído de menas sulfídicas	88
Tabla 3 Tabla de conteo total de escorias	98
Tabla 4 Tabla de registro de muestras según peso y número	100
Tabla 5 Porcentaje y cantidad de escorias analizadas.....	101
Tabla 6 Tabla de registro de escorias analizadas	104
Tabla 7 Tabla de Promedio, mediana y dispersión	126
Tabla 8 análisis químico de escorias.....	143
Tabla 9 Comparación de plantas de acuerdo con los estudios de polen en Jicalán Viejo	147
Tabla 10 Tabla de conteo y peso de las escorias según su contexto.....	174

Contenido de imágenes

Imagen 1 Mortero para trituration de minerales.....	20
Imagen 2 Tostado.....	22
Imagen 3 Crisoles	25
Imagen 4 Crisol dentro de un pozo excavado	27
Imagen 5 Representación de operación de reducción de metales.	28
Imagen 6 Plateros en la Relación de Michoacán	29
Imagen 7 Horno tipo solera.....	30
Imagen 8 Horno de reduccion en Timma	31
Imagen 9 Horno en forma de Pera.	32
Imagen 10 horno de sangrado	33
Imagen 11 Horno tipo Huayra	34
Imagen 12 Escoria homogénea y heterogenia	36

Imagen 13 Objetos metálicos.....	40
Imagen 14 Mapa de registro de actividad metalúrgica en El Manchón Guerrero.	42
Imagen 15 Vista de planta El Manchon.....	43
Imagen 16 Lienzo de Jicalán.....	58
Imagen 17 Actividades de la población de Jicalán Viejo. Lienzo de Jicalán.	62
Imagen 18 artefactos líticos en Jicalán Viejo	64
Imagen 19 Cambio en el área cultivada Jicalán Viejo.....	68
Imagen 20 Cadena operativa.....	79
Imagen 21 Tipos de escoria	83
Imagen 22 Morfología de las escorias	85
Imagen 23 Ortofoto de Jicalán Viejo	90
Imagen 24 Levantamiento Magnometrico	91
Imagen 25 Levantamiento Magnometrico	92
Imagen 26 Ubicación de Contextos del sitio	94
Imagen 27 Transectos	165
Imagen 28 Concentración	166
Imagen 29 Concentración I.....	167
Imagen 30 Concentración II.....	168
Imagen 31 Montículo pequeño	169
Imagen 32 Contexto Colonial	170
Imagen 33 Periferia Camino	171
Imagen 34 Noroeste del montículo	172
Imagen 35 Ladera de la laguna	173
Imagen 36 Concentración parota	174

Resumen

Este trabajo de investigación forma parte del proyecto “Preindustrial Mining and Metallurgy in Mexico: Research on Copper Smelting in Michoacán” y se centra en el análisis morfológico de las escorias de cobre recuperadas durante la prospección de superficie en el sitio arqueológico Jicalán Viejo, en Michoacán. El objetivo principal es establecer patrones de áreas de actividad a partir del estudio morfológico y la caracterización de estos subproductos de fundición y refinación.

A través de este enfoque, se busca identificar las diferentes áreas de producción, que incluyen tanto la producción primaria como secundaria, así como las zonas de refinación y basurales. Utilizando los resultados obtenidos de la caracterización morfológica de las escorias y estudios previos, se logró vincular las concentraciones de escoria con las estructuras arqueológicas localizadas durante la prospección, proporcionando una visión más detallada de los procesos metalúrgicos preindustriales en la región. Así también se realiza un análisis que reevalúa modelos difusionistas, que replantean la autonomía tecnológica, independiente de influencias sudamericanas.

Palabras clave: escorias-áreas de producción- morfología- cadena operativa.

Abstract

This research is part of the project “*Preindustrial Mining and Metallurgy in Mexico: Research on Copper Smelting in Michoacán*” and focuses on the morphological analysis of slag found at the archaeological site of Jicalán Viejo, in Michoacán. The main objective is to establish patterns of activity areas through the characterization of copper slag, which was collected from the surface and studied morphologically.

Through this approach, the study aims to identify different production areas, including both primary and secondary production, as well as refining zones and waste disposal sites. By analyzing the morphological characteristics of the slag and incorporating previous studies, the research was able to link slag concentrations with archaeological structures identified during prospecting, providing a more detailed understanding of preindustrial metallurgical processes in the region.

Keywords: smelting slag - production areas - morphology - operational chain.

INTRODUCCIÓN

Jicalán Viejo, ubicado en el municipio de Uruapan, Michoacán, es un sitio arqueológico importante debido a su vinculación con la metalurgia prehispánica y colonial. A lo largo de los años, se han llevado a cabo diversos estudios históricos y etnohistóricos, utilizando fuentes tanto escritas como pictográficas, a destacar el Lienzo de Jicalán que es un documento pictográfico del siglo XVI, considerado una de las fuentes etnohistóricas más relevantes de Michoacán, después de la *Relación de Michoacán* (1539-1541). Este lienzo fue elaborado con el propósito de servir como prueba para legitimar los derechos de las autoridades indígenas de Jicalán sobre yacimientos de cobre y tierras colorantes en la región de Tierra Caliente (Roskamp 2005). Así también se han realizado trabajos arqueológicos centrados en los restos metalúrgicos encontrados en el sitio, principalmente escorias. Estas investigaciones preliminares, que incluyen prospecciones superficiales, han proporcionado información sobre las prácticas metalúrgicas de la región.

Sin embargo, el estudio de Jicalán Viejo ha sido limitado, ya que hasta este momento está pendiente la excavación sistemática en el sitio, y solo se cuenta con el análisis parcial de la colección de escorias recolectadas. En este contexto, resulta fundamental llevar a cabo un estudio detallado de la morfología de estas escorias, para identificar posibles áreas de producción metalúrgica dentro del sitio. Este trabajo tiene como propósito caracterizar las escorias desde una perspectiva morfológica que lleve al establecimiento de patrones de actividad metalúrgica, que a su vez permitan comprender mejor la organización de las áreas producción de cobre en Jicalán Viejo.

En este sentido, se han planteado un objetivo general y tres específicos para lograr los propósitos del estudio. El objetivo general de esta investigación es analizar los contextos de producción metalúrgica en Jicalán Viejo a partir de la variabilidad morfológica de las escorias de cobre encontradas durante las prospecciones arqueológicas, con el fin de identificar patrones y relaciones que permitan comprender mejor las prácticas metalúrgicas prehispánicas y coloniales en el sitio. Para ello, se busca caracterizar y establecer tipologías de las escorias de cobre encontradas en diversos contextos del sitio, lo que permitirá clasificar las escorias según sus características morfológicas y composicionales. Además, se pretende contextualizar los orígenes de la metalurgia en Jicalán Viejo mediante la revisión de fuentes arqueológicas y etnohistóricas que ayuden a

comprender el desarrollo de la metalurgia en el sitio. Finalmente, se analizará la distribución de áreas de actividad en función de la variabilidad de las escorias de cobre, para determinar las áreas especializadas en la producción metalúrgica y así identificar las zonas dedicadas a las distintas fases del proceso.

Para esto, se ha establecido una metodología con un enfoque interdisciplinario que combina técnicas y herramientas de diversas disciplinas, como la arqueología, la estadística y los sistemas de información geográfica (SIG). Se logra de esta manera integrar tanto datos cuantitativos como cualitativos. En cuanto a los aspectos cuantitativos, se emplea el análisis estadístico y el análisis espacial mediante el uso de software, como ArcMap, GIS y hojas de cálculo Excel. Estas herramientas permiten procesar y visualizar de manera precisa los datos arqueológicos, facilitando la identificación de patrones y tendencias en la distribución de las escorias en el sitio. En cuanto a los aspectos cualitativos, se realiza una revisión documental exhaustiva, la cual permite contextualizar y enriquecer la interpretación de los resultados obtenidos de los datos cuantitativos. Este enfoque permite incorporar una dimensión histórica y cultural en el análisis, aportando una visión más completa y profunda de los hallazgos arqueológicos.

De esta manera, la estructura de la tesis se organiza de manera progresiva, comenzando con un enfoque general y luego centrándose en aspectos más específicos del tema de estudio. En primer lugar, se aborda el contexto de la metalurgia, describiendo los estudios previos sobre la reducción del cobre a nivel global, lo que permite contextualizar el tema dentro de un panorama más amplio. Luego, se hace un análisis más centrado en el continente Americano, particularmente en Mesoamérica, para finalmente llegar al caso específico de Jicalán Viejo.

El marco teórico esencial se basa en el concepto de la Cadena Operativa que es "es el conjunto de procesos técnicos y secuenciales mediante los cuales una materia prima es transformada en un producto final, reflejando decisiones tecnológicas, culturales y económicas de una sociedad" (Leroi-Gourhan 1964). Se adopta para entender las etapas y técnicas utilizadas en la producción metalúrgica de cobre. Este enfoque teórico permite guiar el estudio y la interpretación de los datos. La metodología empleada para estudiar las escorias se presenta a continuación, enfocándose en su análisis morfológico. Se detalla el vocabulario específico de términos tecnológicos y metalúrgicos utilizados en el estudio, así como los aspectos clave que deben ser considerados en el análisis de las escorias. Finalmente, se culmina con la caracterización de las escorias encontradas en Jicalán

Viejo y las interpretaciones derivadas de este análisis. Los resultados obtenidos a partir de la metodología empleada permiten ofrecer una visión detallada de las actividades metalúrgicas en el sitio, proporcionando una interpretación sobre las áreas de producción y los posibles patrones de actividad presentes en el contexto arqueológico de Jicalán Viejo. Así también, en el estudio se propone una revisión de los modelos difusionistas, aunque se trate de una investigación local, se ofrece conclusiones aplicables al estudio de los orígenes de la metalurgia mesoamericana.

1. CAPITULO 1

1.1. Introducción

Este capítulo está dedicado a explorar las categorías tecnológicas y las etapas de la cadena operativa involucradas en el proceso de obtención de cobre, con un enfoque particular en la tecnología de reducción empleada durante la producción metalúrgica. A lo largo del capítulo, se examinarán aspectos clave sobre la producción de cobre en el ámbito de las Américas y centrándose en Mesoamérica, para proporcionar un contexto amplio que permitirá comprender mejor la relevancia de esta actividad a nivel continental. Además, se revisará específicamente el estado de la cuestión la metalurgia del cobre en la región de Jicalán Viejo, con el objetivo de situar la investigación en un marco histórico y tecnológico específico, haciendo especial énfasis en los procesos de reducción en la región occidente de México. El objetivo es abordar las técnicas y las innovaciones desarrolladas en el pasado en un marco tecnológico general, para luego enfocar el caso de estudio, identificar las áreas de producción y sus implicaciones socioeconómicas. Finalmente, el capítulo incluye la justificación y planteamiento del estudio, destacando la relevancia de caracterizar las escorias de cobre mediante un análisis morfológico exhaustivo.

1.2. El cobre

La palabra cobre tiene su origen en el nombre que los antiguos egipcios atribuyeron a la isla de Chipre, denominada *Cuprum* en latín, debido a la notable abundancia de depósitos de este metal en la región. Este metal, es reconocido por su temprana utilización por la humanidad, posiblemente se debe a su amplia presencia en la corteza terrestre, pues representa el 0.0068% del peso de la corteza terrestre. Estudios arqueológicos sugieren que fue uno de los primeros metales manipulados por las sociedades humanas, el uso más antiguo del cobre se documenta en Çatal Höyük, en la actual Turquía, alrededor del 9000-10000 a.C, así las excavaciones en Çatal Höyük han revelado una de las evidencias más tempranas del uso del cobre, donde pequeños objetos hechos de este metal se han encontrado en contextos del Neolítico (Mellaart 1964).

El cobre es un elemento que perteneciente al grupo 11 de la tabla periódica con el símbolo químico Cu, se manifiesta en su forma natural como un sólido. Entre las características más destacadas de este metal se encuentra su distintivo color cobrizo, lo que lo convierte en un material llamativo y

estéticamente atractivo para la elaboración de objetos decorativos y utilitarios. Además, el cobre exhibe una notable maleabilidad y ductilidad, lo que facilita su manipulación durante el proceso de trabajo. Esta propiedad permite trabajarlo en láminas delgadas y alambres finos sin que el metal se fracture. Otra característica relevante del cobre es su resistencia a la corrosión atmosférica, lo que implica que no se oxida con facilidad cuando está expuesto al aire o la humedad. Esta propiedad contribuye a la durabilidad y longevidad del cobre en una variedad de aplicaciones, tanto en interiores como en exteriores (Emsley 1998).

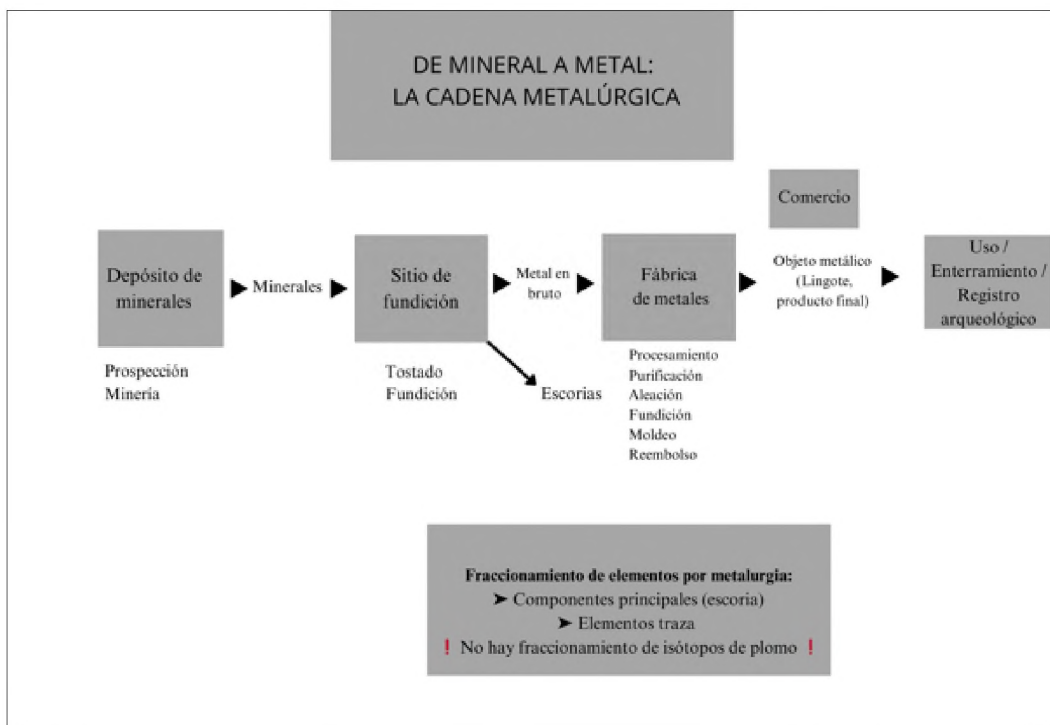
1.3. Cadena operativa de la obtención de cobre

La metalurgia comprende dos procesos principales: la extracción del mineral (minería) y la obtención del metal mediante su reducción o fundición (Imagen 1). Este estudio se centra exclusivamente en la segunda etapa, analizando los procesos metalúrgicos involucrados en la transformación del mineral en metal. El proceso metalúrgico de reducción o extracción de cobre, según Bachman (1982), una secuencia técnica compuesta por varias etapas. Para contextos de Europa y el Medio Oriente, el autor describe el siguiente proceso: Primero, el beneficio del mineral implica su trituración y molienda para facilitar los tratamientos posteriores. Luego, en la tostación parcial, el mineral se calienta a aproximadamente 800 °C para eliminar el azufre, transformando los sulfuros en óxidos, y para concentrar las partes metálicas. A continuación, en la primera reducción, se somete el mineral a temperaturas de hasta 1200 °C en hornos o crisoles, lo que permite la separación del cobre del resto de los materiales, que forman un nuevo material, esto es la escoria de reducción. Finalmente, en la refinación, el cobre obtenido se purifica para eliminar impurezas residuales y alcanzar un mayor grado de pureza, permitiendo su uso en la producción de herramientas y objetos (Bachman 1982; Addis et al. 2016).

En el proceso de obtención de cobre a partir de mena, se deben considerar varios componentes clave: la mena sulfurada (el material a reducir), los equipos utilizados en el proceso de reducción, como hornos, crisoles, braseros y cerbatanas, entre otros, y los subproductos generados, como las escorias y el metal. Estos elementos son cruciales para comprender el proceso de reducción en su totalidad. Es necesario realizar una revisión para comprender e ilustrar cómo pudieron haber sido las estructuras de reducción u hornos así también las herramientas utilizadas en la reducción en el sitio de Jicalán Viejo. El propósito de esta revisión es ilustrar la diversidad de tecnologías y procesos de reducción utilizados en épocas preindustriales para la obtención de cobre, así como

observar aquellas particularidades tecnológicas de otros estudios que pudieran servir como puntos de referencia en la interpretación de los datos.

Imagen 1 Cadena operativa



Fuente: Hauptmann 2007, Fig. 2.1, p. 8, traducción al español, elaboración propia.

1.3.1. Trituración o beneficiado

El beneficiado consiste en separar la mena, esto es el mineral rico en metal que se pretende obtener; por ejemplo, la malaquita ($\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$) contiene un 57% Cu, de la ganga, material no deseado, otros minerales no ricos en metal como silicatos, carbonatos, etc. mezclados con la mena, y preparar una carga de mineral más homogénea, tanto en tamaño como en composición, facilitando su posterior tratamiento en el proceso de reducción (Craddock 1995:167).

Se ha documentado que la trituración inicial del mineral solía realizarse dentro o en las inmediaciones de las minas donde se extraía. Por ejemplo, en el importante centro minero y de fundición de Zawar, Rajasthan se han encontrado herramientas como piedras de molienda y áreas de trituración ubicadas en las galerías subterráneas. Esto sugiere que el procesamiento preliminar del mineral, como la trituración, se llevaba a cabo antes de que el material fuera transportado a las

instalaciones de reducción, donde se implementan técnicas más avanzadas de lavado y clasificación para obtener una carga más homogénea y lista para la reducción del metal (Craddock 1995:167).

Se han identificado varios métodos de trituración utilizados en épocas antiguas. Uno de estos consistía en golpear el mineral con un martillo sobre una roca plana, lo que dejaba marcas visibles en la superficie de la roca, evidencias que han sido documentadas por arqueólogos. En ciertas ocasiones, se tallaban grandes morteros directamente en la roca para facilitar la trituración mediante el uso de mazos de considerable tamaño. Un ejemplo destacado de esta práctica se localiza en Dariba, Rajasthan, donde se han encontrado agujeros cilíndricos de aproximadamente 50 cm de diámetro y profundidad (

Imagen 2 Mortero para trituración de minerales. Estos morteros se utilizaban para triturar el mineral con mazos fabricados en hierro o madera. Además, alrededor de estas estructuras se han descubierto grandes acumulaciones de desechos de beneficio, que son evidencia de la actividad de procesamiento de minerales (Craddock 1995: 156).

Imagen 2 Mortero para trituración de minerales



Fuente: Gran mortero tallado en roca dura de filita para triturar minerales de plata y plomo con hierro o morteros forrados con hierro, veta sur, Dariba, Rajasthan. Probablemente a finales del primer milenio antes de Cristo. Craddock 1995: 160

La separación de minerales también se llevaba a cabo mediante el proceso de lavado, este método consistía en agitar el mineral en agua corriente, lo que permitía que la ganga, siendo más ligera, se transportaba a mayores distancias, mientras que el mineral más denso se hundía en el fondo, en lugares donde había ríos o arroyos cercanos, se utilizaba directamente el agua de estos cuerpos fluviales para realizar el lavado. Además, en otras circunstancias, se empleaba el aire como medio de separación; este proceso consistía en aventar los minerales, aprovechando la acción del viento para arrastrar la ganga y dejar el mineral deseado en su lugar (Craddock 1995).

1.3.2. Tostado

La tostación o tostado es un proceso metalúrgico fundamental en la extracción de metales, que consiste en someter los minerales a temperaturas moderadas en un ambiente rico en oxígeno, normalmente una hoguera al aire libre. Este procedimiento se lleva a cabo con diversos fines, entre los que se destacan la disgregación de mineral y ganga, la conversión química de sulfuros, cloruros y carbonatos en óxidos, así como la eliminación del agua. La tostación sirve para múltiples

propósitos en la metalurgia, este proceso transforma químicamente los sulfuros en óxidos, lo que es crucial para la eliminación de impurezas. En situaciones donde se requiere la eliminación del azufre, el tostado puede realizarse antes o después de la trituración del mineral, dependiendo de cuál sea la estrategia más ventajosa. La elección del momento de la tostación se basa en la necesidad de maximizar la exposición del mineral, lo que, a su vez, promueve una reacción más rápida y completa durante el procesamiento (Salkield 1987; Craddock 1995).

Los cambios físicos y químicos que ocurren durante la tostación son pasos preliminares esenciales para la reducción del mineral. Dado que los primeros hornos de fundición a menudo no podían proporcionar la energía necesaria para realizar la reducción de manera efectiva, la separación durante la tostación no solo optimiza el proceso permitiendo una mejor ratio de extracción mena/metal, sino que también reduce significativamente el aporte energético requerido en los hornos, economizando el proceso (Craddock 1995).

Esta práctica se ha llevado a cabo de diversas formas a lo largo de la historia. Por ejemplo, en el Cáucaso, se han identificado hornos de trinchera excavados en piedra que se utilizaban para tostar minerales de hierro (Tylecote 1992). Durante la recuperación histórica del cobre, los minerales sulfurosos eran apilados junto con maleza y dejados quemar durante varios meses, como se ha documentado en sitios como Lustin, cerca de Namur, y en Rio Tinto (Salkield 1987). También se describieron estructuras de piedra simples utilizadas para la tostación de minerales, que son comparables a las pequeñas instalaciones pavimentadas de piedra encontradas en Mitterberg (Eibner 1984). Además, algunas prácticas tradicionales de fundición en África combinaban la tostación y la reducción del mineral en una misma instalación, lo que refleja la eficiencia del proceso. Un ejemplo de ello se observa en la región de Katanga, donde el mineral de malaquita se tostaba en un horno de cuba cilíndrica antes de ser reducido (Craddock, 1995).

Imagen 3 Tostado



Fuente: Tostado, Fig. 5.11. Stone ore-roasting stalls, from De re Metallica, en Craddock 1995, 168.

1.3.3. Reducción de cobre

Las menas se dividen en dos categorías principales: menas secundarias u oxidicas y menas primarias o sulfidicas. Las menas oxidicas son aquellas en las que el cobre se encuentra principalmente en forma de óxidos o carbonatos. Estos minerales suelen estar más accesibles en la superficie terrestre y están menos combinados con otros elementos, esto hace más fácil la obtención del metal. Algunos ejemplos incluyen a la malaquita ($\text{Cu}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2$), la azurita ($\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$) y la cuprita (Cu_2O). Por otro lado, las menas sulfidicas contienen cobre en forma de sulfuros, como la calcopirita (CuFeS_2) y la covelita (CuS). Estos minerales son más difíciles de procesar debido a que el cobre está fuertemente unido al azufre y requiere procesos de extracción más complejos, siendo necesario convertir primero los sulfuros en sulfatos, para luego eliminar todo el azufre y reducir la mena como si fuera oxidica (Tylecote 1992).

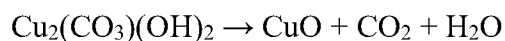
1.3.3.1. Reducción de menas oxidicas de cobre

Las menas oxidicas fueron utilizadas por los primeros metalúrgicos debido a su disponibilidad en las capas superficiales de la tierra, lo que facilitaba una minería de superficie más accesible (Rovira 2004). La obtención de cobre a partir de minerales oxidados se considera un proceso relativamente

sencillo, ya que las condiciones de temperatura requeridas son más fácilmente alcanzables (Rovira 2004;12). Esta forma de reducción es menos costosa en comparación con la reducción de menas sulfídicas, dado que los compuestos oxidados son más reactivos y fáciles de reducir que los sulfuros.

El procedimiento para la reducción de menas oxidadas inicia con la tostación, seguida de la reducción y, finalmente, el refinado del metal. Para ejemplificar este proceso, consideraremos la malaquita como caso de estudio. La malaquita, con la composición química $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$, primero se somete a calor, lo que constituye el primer paso conocido como tostación. Durante esta etapa, se calienta a una temperatura máxima de 600 grados al aire libre, con el objetivo de inducir una descomposición térmica (Tylecote 1987).

La reacción resultante de esta descomposición térmica transforma la malaquita en los siguientes productos:

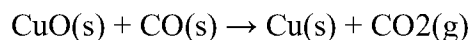


Óxido de cobre (II) (CuO) en estado sólido.

Dióxido de carbono (CO₂) en forma gaseosa.

Agua (H₂O) en forma de vapor.

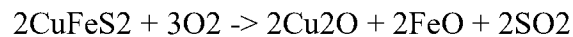
Posteriormente, se procede a la etapa de reducción. Dentro de un contenedor adecuado, horno o crisol, se introduce la malaquita junto con carbón (C). Al calentarse a una temperatura apropiada para su descomposición, los compuestos de carbonato de cobre se transforman. Una vez formado el óxido de cobre (II) durante esta reacción térmica, dicho óxido se reduce con carbono (carbón) para producir cobre metálico (Cu) y monóxido de carbono (CO). En esta reacción, el carbón actúa como agente reductor, captando el oxígeno del óxido de cobre (II) para formar CO₂ y producir cobre metálico (Tylecote 1987). Por eso, el término correcto para esta etapa de la cadena metalúrgica es “reducción” y no “fundición”, ya que el primero indica separación del metal, y el segundo pasar a estado líquido el metal ya reducido normalmente para la manufactura de objetos desde un lingote.



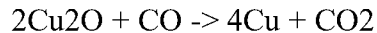
1.3.3.2. Reducción de menas sulfúricas de cobre

Las menas sulfurosas implican que los minerales de cobre están combinados con azufre en forma de sulfuros. Ejemplos de estos minerales incluyen la calcopirita CuFeS_2 , la pirita (FeS_2) y la covelita (CuS) (Tylecote 1987). La dificultad en el procesamiento de estas menas radica en la necesidad de llevar a cabo procesos adicionales durante la reducción, tales como el beneficiado y la tostación, para liberar el cobre de los sulfuros antes de la obtención del metal (Maréchal 1985), además de posibles varias etapas en horno o crisol para obtener metal libre de impurezas que se pueda convertir en los objetos deseados.

El proceso de extracción de cobre de la calcopirita se inicia con la trituración de la mena (Tylecote, 1987). Una vez que la mena está triturada, se procede a la tostación, donde la mena se calienta al aire. Durante este proceso, parte de los sulfuros de cobre se convierten en óxidos de cobre (Cu_2O o CuO) y dióxido de azufre (SO_2). La ecuación química simplificada para la tostación de la calcopirita es la siguiente:



Una vez tostada, la mena se introduce en el horno de reducción junto con carbón, que actúa como agente reductor. En este proceso, el oxígeno presente se reduce, permitiendo que el carbón reaccione con los óxidos de cobre para producir cobre metálico. La ecuación química simplificada para la reducción de los óxidos de cobre es:



En este paso el monóxido de carbono (CO) del carbón reacciona con los óxidos de cobre (Cu_2O) para formar cobre metálico (Cu) y dióxido de carbono (CO_2) como subproducto (Henderson, 2000). Posteriormente, se lleva a cabo la refinación, un proceso esencial para eliminar impurezas y obtener un producto final con una mayor pureza del metal, lo más cercana posible al 100% Cu (Maréchal, 1985).

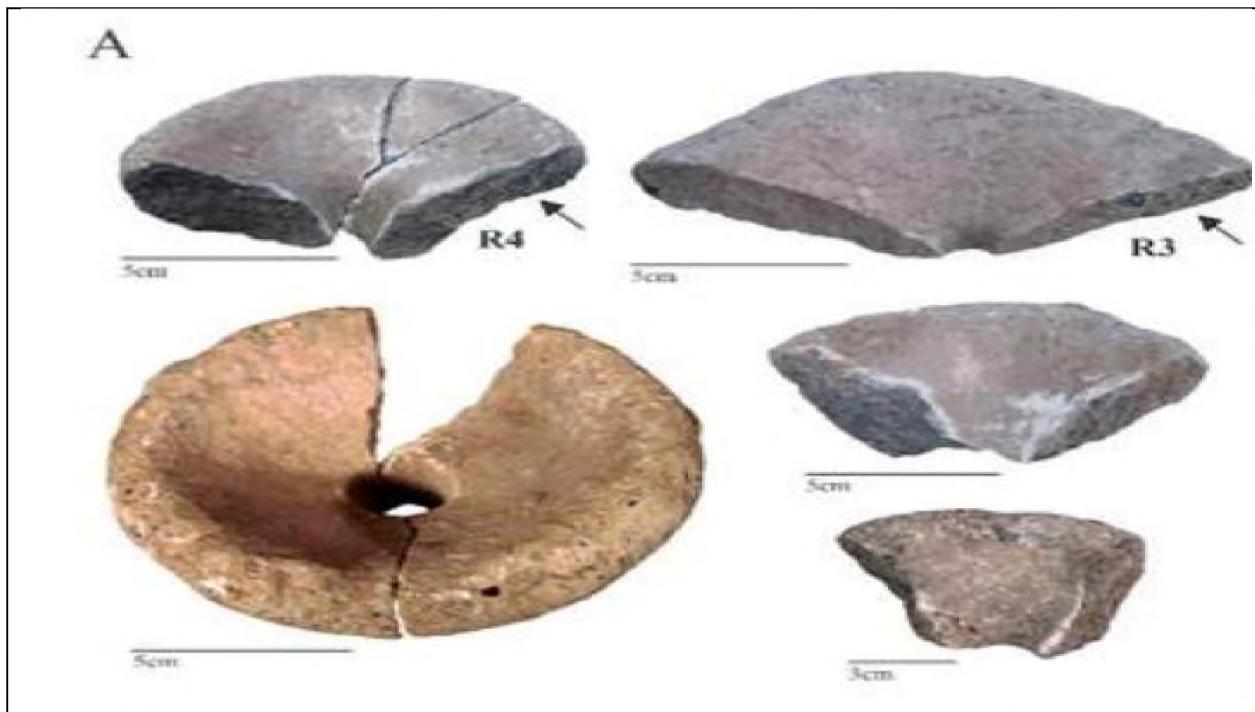
1.3.4. Estructuras de reducción

Para que se produzca la reducción es necesario controlar la atmósfera y la temperatura, y para ello se necesita una estructura diseñada con unas características muy específicas. Esta sección resume las soluciones más comunes de estructuras de reducción metalúrgica.

Vasija o crisoles

Los crisoles, son estructuras exentas y mejor preparadas para resistir altas temperaturas que una cerámica de uso común, si bien su refractariedad es baja en comparación con los estándares actuales. Los crisoles de reducción de cobre suelen tener forma de un recipiente abierto con tamaños de 10 a 15 cm de diámetro. Están generalmente fabricados con barro, de pastas gruesas y a menudo saturadas con desgrasantes de cuarzo y/o orgánico (Imagen 4) (Ramos 1996: Hauptmann 2007). No requerían elaboraciones especialmente complejas, lo que facilitaba su producción y uso, lo cual es una ventaja puesto que son recipientes de un solo uso (Hauptmann 2007: Shugar 2000).

Imagen 4 Crisoles

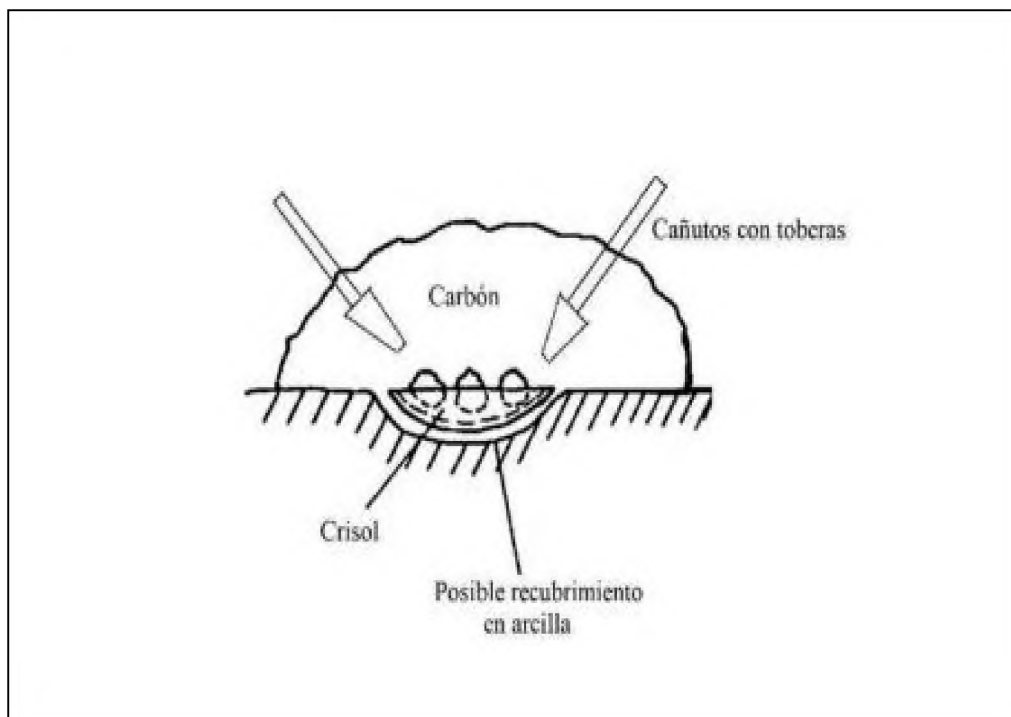


*Fuente: Crisoles con agujeros en la base en Período Tardío en el valle del Aconcagua, Chile Central.
Source: Plaza et al. 2021:4.*

Según evidencias de investigaciones arqueológicas, los crisoles encontrados en este contexto contenían materiales parcialmente reducidos y restos de combustible, carbón vegetal. En su mayoría, se han hallado fragmentados, ya que para extraer el material era necesario romper la cerámica. Una vez separada la cerámica del interior, éste se rompía martilleado o golpeado, y se lograba separar los nódulos de metal de la escoria, los cuales luego se refinaban (Ramos, 1996). Su diseño facilita la regulación de la temperatura y las condiciones de oxidación-reducción necesarias para el procesamiento del metal (Hauptmann, 2007).

Hauptmann (2007: 227-228) propone que el uso de los crisoles en el proceso de reducción se realizaba de la siguiente manera: comenzaba con el precalentamiento del crisol en una cama de carbón hasta alcanzar la temperatura necesaria. Luego se introducía el mineral, y el espacio sobrante se cubría completamente por carbón. El área llena de carbón podía ser un horno o un pozo excavado en el suelo (Imagen 5). Después de completado el proceso, el producto, cobre mezclado con escoria, era removido del crisol. El cobre obtenido en este proceso generalmente alcanzaba solo entre el 50% y 60% de pureza, por lo que era necesario reducirlo nuevamente en otro crisol para obtener un lingote de mayor pureza.

Imagen 5 Crisol dentro de un pozo excavado



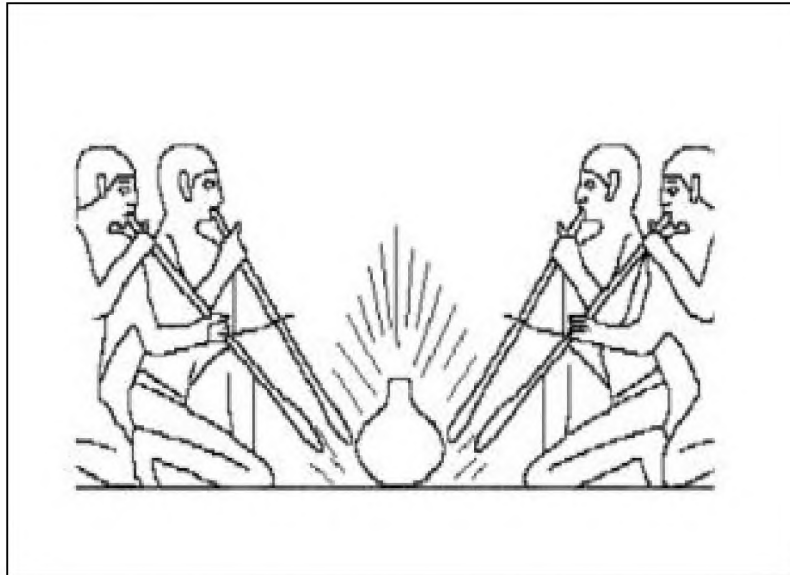
Fuente: *Esquema de la ubicación del crisol dentro de las hogueras. Apparently podían ser usados con cañutos o fuelles.* Modificado de Tylecote 1992:22, 219.

Hallazgos arqueológicos de crisoles en etapas iniciales de la metalurgia se han registrado en el noroeste de Irán, datados del quinto milenio a.C en contextos de producción metalúrgica. Estos crisoles se encontraron muy cargados de escorias en su interior. Un sitio adicional de relevancia donde se descubrieron estos recipientes fue Merhgarh III, en Baluchistán, Pakistán, con fechas correspondientes a la primera mitad del cuarto milenio a.C. (Jarrige 1984; Hauptmann, 2007). Estos primeros crisoles muestran ciertas características tipológicas, al menos en todo el Cercano Oriente: normalmente son cuencos poco profundos con un diámetro de 10 a 15 cm, varios centímetros de alto y un volumen de 200 a 400 cm³, todos ellos de cerámica (Müller-Karpe 1994; Hauptmann 2007). Posteriormente, se encontraron hallazgos de estos recipientes en sitios de la época romana como Norsun Tepe (Anatolia) y Enkomi y Kition (Chipre).

Existen evidencias de representaciones icográficas del trabajo metalúrgico en Egipto, datadas desde la dinastía V, es decir, entre los años 2500 a.C. y 2350 a.C., donde se observa a un grupo de

personas, generalmente cuatro o seis, ubicadas alrededor del recipiente y utilizando cañutos que son tubos delgados utilizados en diversos procesos de fundición y metalurgia, especialmente en la técnica de soplado de aire para avivar el fuego en los hornos (Imagen 6) (Hauptmann 2007).

Imagen 6 Representación de operación de reducción de metales.

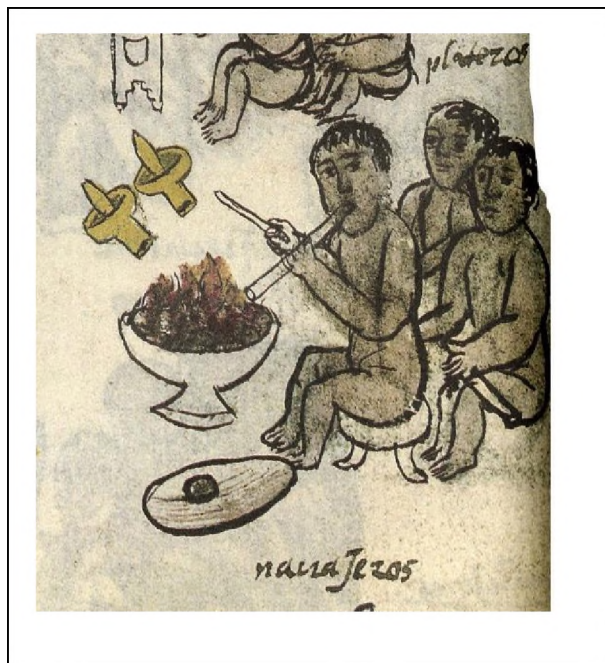


Fuente: Representación egipcia de una operación de fundición en un crisol utilizando cerbatanas con toberas de arcilla. Saqqara, tumba de Mereruka, VI Dinastía, 2450-2350 a. C. (after Duell 1938).

Fuente: Nigris y Puche 2011.

En el caso de Mesoamérica, de forma específica en el Occidente, también existe evidencia a través de representaciones pictóricas, las cuales son similares a las características de los ejemplos mencionados. Así, en la Relación de Michoacán en la imagen de *los cficiales que sirvieron al rey Tarasco y sus ocupaciones*, se visualiza un grupo de trabajadores del metal (Imagen 7). Los mismos que están sentados frente a un crisol soplando una cerbatana y cerca de ellos se encuentran objetos de metal. La descripción asociada a esta imagen señala la denominación de su oficio, identificándose como *plateros*.

Imagen 7 Plateros en la Relación de Michoacán



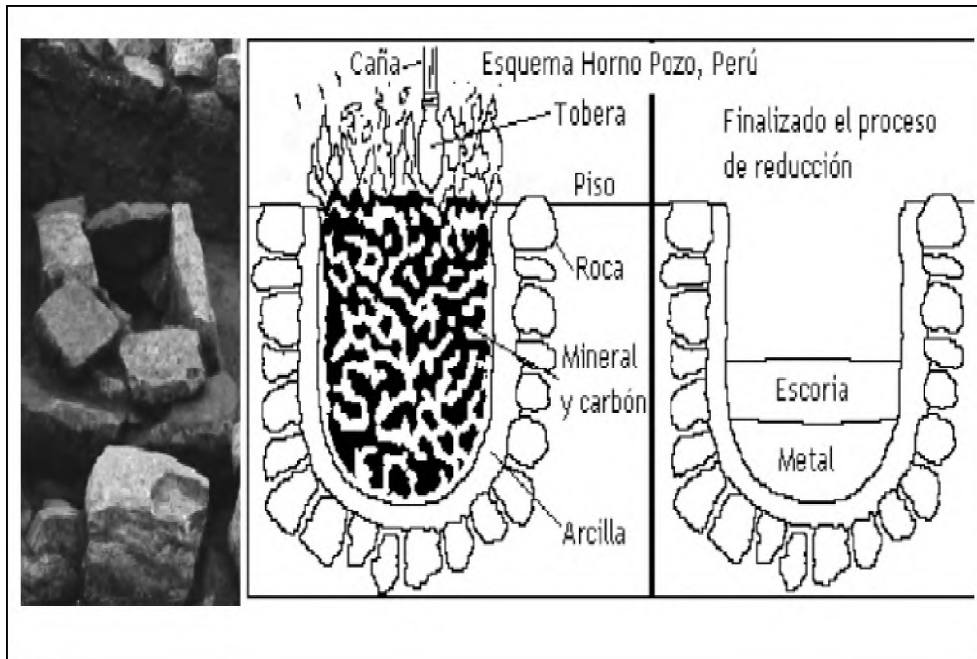
Fuente: Plateros alrededor de un crisol soplando con cerbatanas. Capítulo XXXV f 5v. La relación de Michoacán. 174.

Debido a sus características tecnológicas y prácticas, estos recipientes fueron utilizados desde épocas tempranas y siguen siendo utilizados en la actualidad.

Hornos en Hoyo Excavado u Hornos de tierra

Los hornos conocidos como hoyos excavados, de tierra o de solera, también referidos en la literatura anglosajona como "hole in the ground" u "open fire" (Ramos 1996; Nigris y Puche 2011), son estructuras simples que consisten en la excavación de un hoyo en el suelo. Estos hornos pueden adoptar diferentes formas, siendo la más común la semicircular o de tipo cuenco, con diámetros que rondan los 50 cm y una profundidad aproximada de 20 cm (Tylecote 1992). La principal ventaja del horno es que no requiere desmantelamiento y tiene diversos usos. Sin embargo, es necesario volver a revestir la pared con arcilla, ya que esta se degrada con el tiempo. Es necesario mencionar que es difícil encontrar restos arqueológicos de estos hornos, ya que estas estructuras no dejan evidencia arqueológica porque son endebles y el tiempo borra todo el registro (Castel et al., 2008). La gran ventaja del horno de reducción frente al crisol es que metal y escoria se obtienen separados, además de ser mucho más eficiente en la reducción (Imagen 8).

Imagen 8 Horno tipo solera



Fuente: Horno de solera, foto tomada de Golder Associates (2003) y esquema modificado de Alunni (2006).

De acuerdo con investigaciones arqueológicas, este tipo de hornos fue utilizado en diversas regiones, con variaciones tecnológicas a lo largo del tiempo. Durante el período calcolítico, en Oriente Medio, específicamente en Shiquim, se ha determinado que estos hornos se empleaban como fogones para trabajar con crisoles (Castro 2019). En sitios datados de la Edad del Bronce, como Timna en el desierto del Negev, Israel, y Chipre, también se encontraron estos hornos (Imagen 9), que permitían una reducción óptima del metal. el cobre reducido se quedaba en el fondo y se podía separar más fácilmente de la escoria (Tylecote 1992).

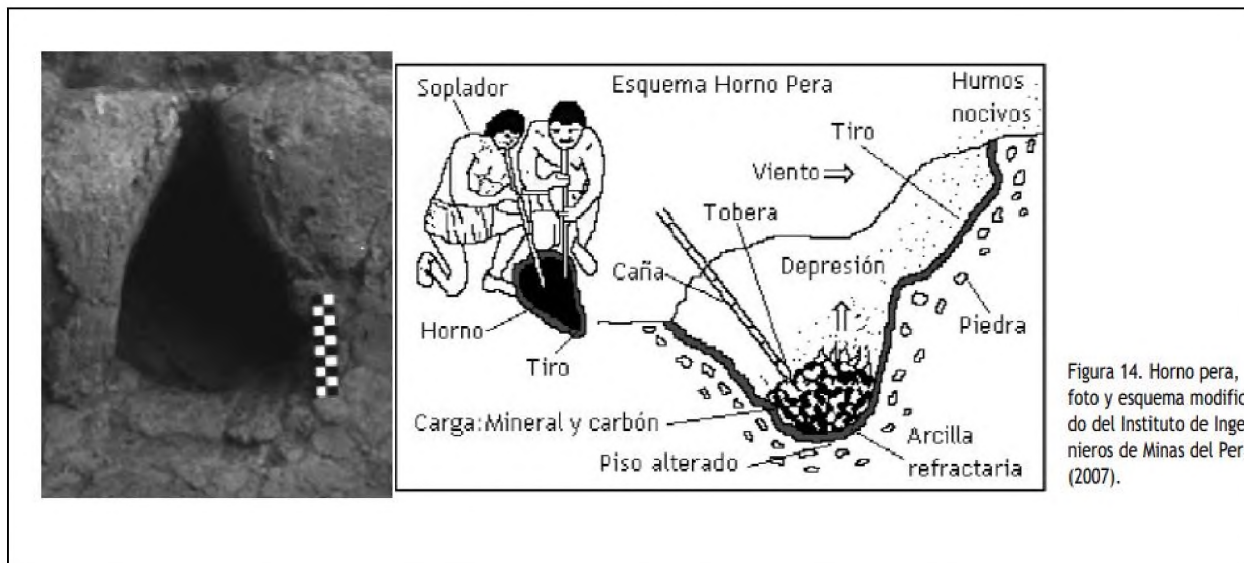
Imagen 9 Horno de reducción en Timma



Fuente: Horno de fundición primaria de cobre del calcolítico en Timma, en Rohenberg 1996: 115

En América, se han documentado hornos de solera en forma de pera en Batán Grande, en la costa norte de Perú. El investigador Izumi Shimada registró hornos atribuidos a la cultura Sicán, que datan entre 1100 y 1400 d.C una cronología comparable a la de Jicalán. Las dimensiones aproximadas en promedio eran de 30 cm de longitud, 25 cm de altura y 25 cm de profundidad, con una capacidad de carga estimada entre 1,5 y 3 litros. Se ha demostrado que este tipo de horno (Imagen 10) podía alcanzar temperaturas de entre 1000 y 1100 °C. Su diseño estaba orientado para aprovechar la dirección del viento, lo que facilitaba su funcionamiento. En ausencia de viento, se requería la intervención de hasta cuatro personas soplando a través de cañutos. Estos instrumentos permiten aumentar la temperatura de la combustión al dirigir el aire de forma más eficiente hacia el combustible, facilitando así la fusión de metales como el cobre. Los cañutos pueden estar hechos de materiales diversos, como cañas naturales o tubos de cerámica, y son un componente esencial en la tecnología metalúrgica prehispánica. Su uso está documentado en varios contextos arqueológicos, donde se han encontrado evidencias de su aplicación en la producción de metales (Tylecote 1992:22). Es importante señalar que, hasta la fecha, no se han registrado en Mesoamérica hornos de este tipo asociados con la reducción de metales.

Imagen 10 Horno en forma de Pera.



Fuente: Horno pera, foto y esquema modificado del Instituto de Ingenieros de Minas del Perú (2007:16). De Nigris (2009:25).

Hornos con Cámara Exterior

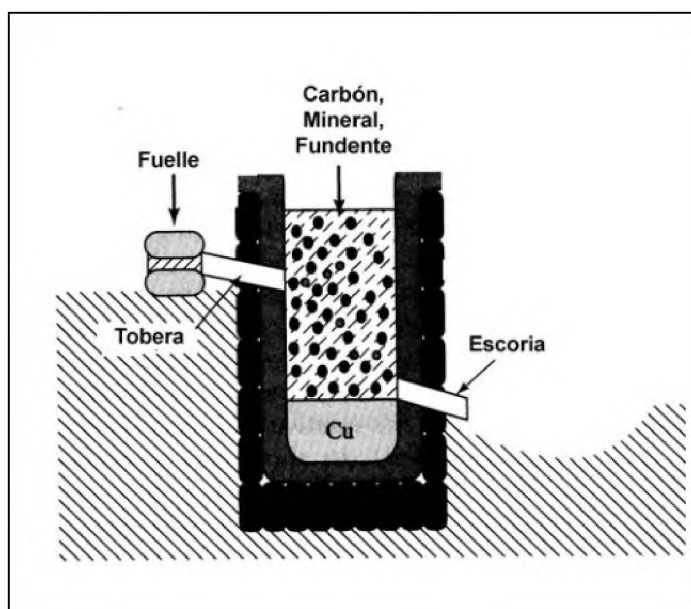
Los hornos de reducción con cámara exterior representan una etapa clave en la evolución tecnológica de los hornos metalúrgicos. La parte superior de estos hornos presentaba diversas formas y alturas, tales como troncocónica, abovedada o circular con chimenea. En general, se caracterizan por su pequeño diámetro y fondo excavado. Así también, estructuras más avanzadas incorporan elementos como el tiro forzado y canales diseñados para el sangrado de escorias, lo que las hacía más eficientes. Dichas mejoras tecnológicas permitieron un aumento en la eficiencia de la producción, como lo demuestra la recuperación de lingotes-torta y escorias de sangrado, procesos que requieren temperaturas superiores a 1,150 °C (Ramos 1996).

El funcionamiento del horno se basaba en la diferencia de densidad entre el cobre y la escoria. Debido a su mayor densidad, el cobre se acumulaba en el fondo del horno, mientras que la escoria permanecía flotando en la superficie. Al concluir el proceso de fundición, la escoria era retirada mediante un orificio de drenaje. Posteriormente, una vez que el horno se enfriaba, el cobre solidificado se extraía del fondo, lo que en ocasiones requería el desmantelamiento parcial de la estructura superior (Ramos 1996). En términos generales, los hornos de este tipo, al poseer una

estructura vertical elevada sobre el suelo, presentaban una mayor capacidad de carga en comparación con modelos más antiguos (Castel et al. 2008)

Entre los ejemplares más antiguos de este tipo de hornos (Imagen 11), se han encontrado estructuras que datan del 2000 a.C. en Soukna, cerca de Suez, durante el Imperio Medio de Egipto. Estos hornos, según las investigaciones, tenían aproximadamente 1,20 metros de altura y contaban con un sistema de ventilación natural (Castel et al. 2008).

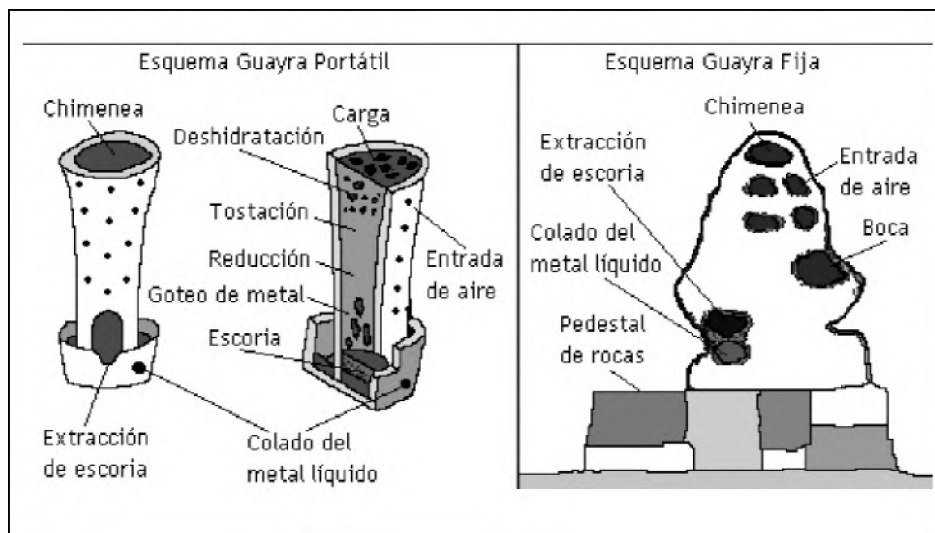
Imagen 11 horno de sangrado



Fuente: Posible horno de sangrado. *Los materiales, la tecnología la humanidad*. Instituto Sobato Galvele, José R. 2016:8.

En los Andes, este tipo de hornos ha sido identificado en Quillay, Catamarca, Argentina. Se trata de un horno de cuba abovedado que Raffino et al. (1996) denomina "huayra incaica"(Imagen 12) datados en para los años (1480-1535 d.C.). Este horno, construido con adobe, tenía una altura aproximada de 2,20 metros, un diámetro de 1 metro y paredes con un espesor de 0,1 metros. Además, utilizaba un sistema de ventilación natural para facilitar el proceso de combustión. En contraste, en Mesoamérica no se han encontrado estructuras similares destinadas a la producción de cobre u otros metales.

Imagen 12 Horno tipo Huayra



Fuente: Esquema guayra por- tátil mod.ficado de Grinberg y Palacios (1992); y esquema de guayra fija mod.ficado de De Nigris (2009:25).

1.3.5. Productos resultantes de la reducción del cobre.

El proceso de reducción del cobre ocurre dentro del horno o crisol, donde se introduce carbón vegetal como combustible junto con mena rica en cobre. Esta reacción genera dos productos principales: el metal de cobre y la escoria. El metal, que es el objetivo del proceso, se separa de la escoria, compuesta por materiales no metálicos como residuos de mena (ganga), fundentes y restos de carbón vegetal, y que forman un nuevo material, normalmente un compuesto de silicatos y óxidos de hierro muy semejantes al mineral fayalita (Fe_2SiO_4). Debido a su mayor densidad, el cobre se acumula en el fondo del horno al final del proceso, mientras que la escoria, al ser más ligera, se sitúa sobre el metal. Según el tipo de horno, como se resumió en la sección anterior, la escoria puede eliminarse mediante un proceso de sangrado (sale ella misma del horno mediante una abertura a propósito) o de forma manual (el obrero metalúrgico la alza y la retira), cabe destacar que los distintos tipos de hornos y procesos metalúrgicos influyen en la formación de diferentes tipos de escorias, los cuales se detallarán a continuación.

1.3.5.1. Escorias

La escoria es un subproducto esencial en el proceso de reducción del cobre u otros metales, desempeña un papel fundamental. Pues, durante la reducción del mineral, la escoria aglutina cualquier material que no sea el metal, en este caso cobre, presente en la mena tales como óxidos

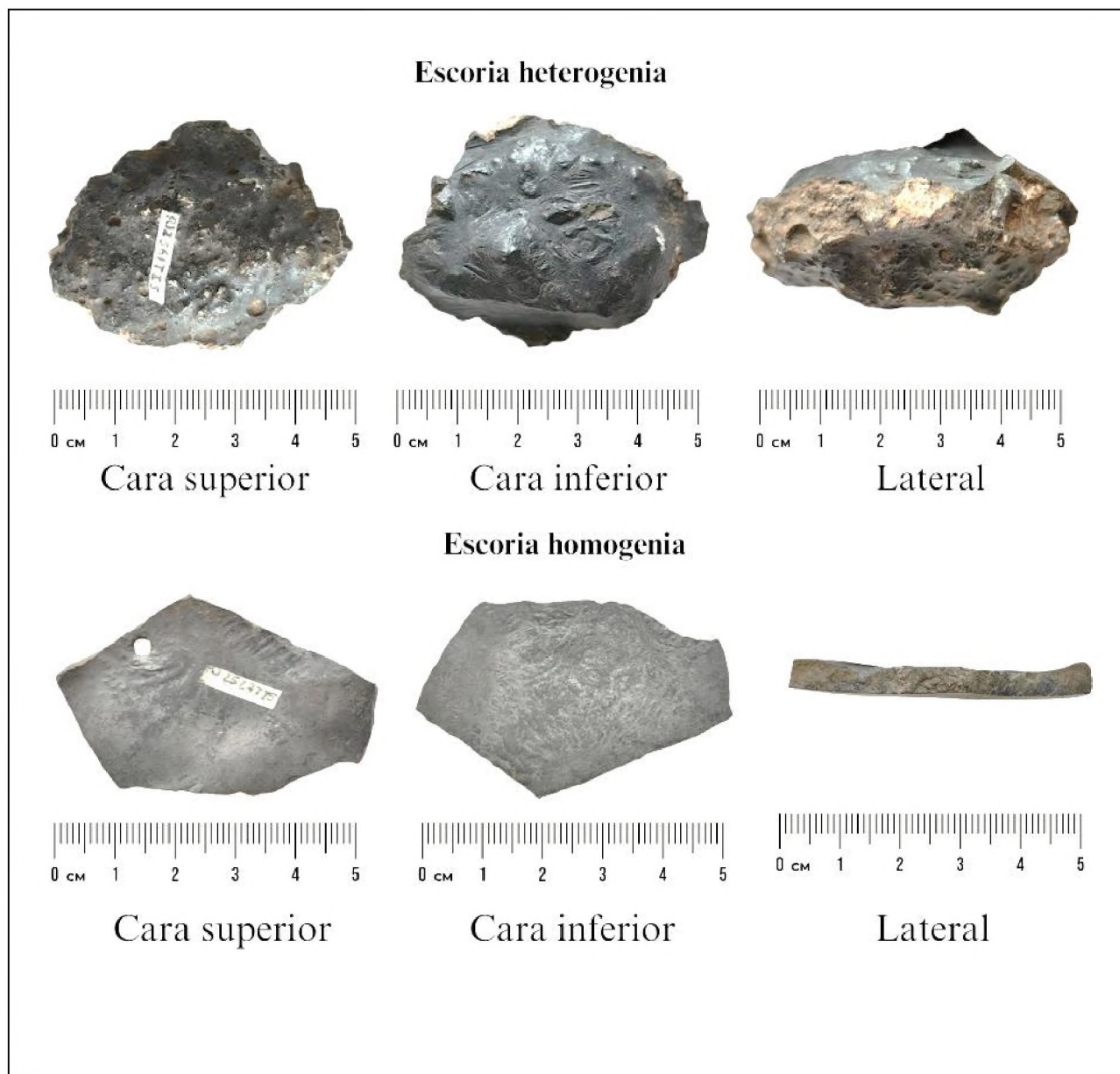
de hierro, silicatos y otros componentes cerámicos normalmente aportados por las paredes del horno, junto con posibles fundentes y el carbón vegetal, separando el metal del resto de la carga. Este producto es importante porque permite separar las impurezas del cobre metálico, que se deposita en el fondo del horno debido a su mayor densidad. Es decir, sin la formación de escoria, sería imposible separar de manera efectiva el metal de los demás componentes del mineral, lo que impediría la obtención de un metal puro y de calidad, la escoria actúa como un agente purificador que encapsula los elementos indeseados, facilitando la extracción del metal y permitiendo que el cobre se libere del mineral (Craddock 1995). De esta manera, se puede decir que la escoria si bien es un desecho en cuanto a que no tiene valor económico, es un producto (o material técnico) inherente y esencial en la cadena operativa de la metalurgia.

Tipos de escoria

Ahora bien, con respecto a la tipología de las escorias, como tal no existe una clasificación universalmente aceptada, ya que en cada estudio los investigadores han propuesto diferentes criterios de clasificación basados en sus propios casos de estudio, debido a la alta variedad existente en el diseño de estructuras, disparidad de temperaturas y atmósferas, contenido de la carga, diferente tipología de escoria generada en un mismo ciclo del horno, pero en diferentes momentos del proceso, etc. Algunos estudios las categorizan según el tipo de horno utilizado en el proceso de reducción, mientras que otros se centran en la morfología de las escorias, evaluando aspectos como su estructura y composición (Rehder 2000). Esto refleja la diversidad de métodos metalúrgicos y las distintas características que se pueden observar en los residuos generados durante el proceso.

Para este estudio de Jicalán Viejo, se han identificado de manera general dos tipos principales de escorias: las escorias heterogéneas y las escorias homogéneas (Imagen 13). Esta clasificación facilita la identificación general de las características y procesos metalúrgicos asociados a cada tipo de escoria (Tabla 1):

Imagen 13 Escoria homogénea y heterogenia



Fuente: Elaboración propia, escorias de Jicalán Viejo.

- Escoria homogénea:

Las escorias homogéneas son un tipo de residuo sólido generado en los procesos de reducción y refinado de metales, particularmente del cobre y otros metales. Se las denominan homogéneas debido a su composición relativamente uniforme y a la estructura interna que presentan, ya que se enfrían lentamente tras el proceso de reducción, permitiendo que los componentes químicos se distribuyan de manera más equitativa (Tylecote 1992). Este tipo de escoria suele generarse en

procesos metalúrgicos más controlados y optimizados, lo que permite una mejor separación del metal y los residuos no metálicos

Su composición química, que está formada principalmente por óxidos de hierro y silicatos, aunque la presencia de otros elementos dependerá del mineral procesado. En términos generales, la escoria de cobre está formada por óxidos de hierro (FeO , Fe_2O_3 , Fe_3O_4 wustita, magnetita, hematita), que pueden representar entre el 30% y el 60% de su composición, seguidos por óxidos de silicio (SiO_2) en un rango del 25% al 40%. Además, contiene cantidades menores de óxidos de calcio (CaO) y aluminio (Al_2O_3), que suelen estar presentes entre el 1% y el 10%, junto con otros compuestos como óxidos de magnesio (MgO) y azufre (SO_3) en menores proporciones. (Sánchez, 2023). Estructuralmente, suelen ser vidriosas, de colores oscuros que varían entre negro y gris, y pueden presentar burbujas o cavidades internas, pero en menor medida (Macías 1986).

- *Escorias Heterogéneas*

Las escorias heterogéneas se distinguen por su variabilidad tanto en composición como en textura, lo que refleja una falta de uniformidad en su formación. Este tipo de escoria se genera cuando el proceso de reducción no es homogéneo, lo cual puede estar relacionado con la diversidad de minerales procesados o con la tecnología empleada en la fundición. En cuanto a su composición química, exhiben elevados niveles de óxidos de cobre y hierro, características que las vinculan con las primeras fases de la reducción del cobre. Según diversos estudios, estas escorias están asociadas principalmente a las etapas iniciales del proceso metalúrgico (Hauptmann 2007).

Tabla 1 Características de escorias

Característica	Escorias Homogéneas	Escorias Heterogéneas
Textura	Compacta, baja porosidad	Porosa, con inclusiones de carbón vegetal y minerales
Eficiencia del proceso	Alta eficiencia en la extracción de metal	Baja eficiencia, con restos de minerales no fundidos
Ejemplo de estudio	Feinan, Jordania	Timna, Israel

Interpretación arqueológica	Refleja un control avanzado del proceso metalúrgico	Indicador de tecnología menos madura
Tipo de estructura	Horno	Crisol

Fuente: Elaboración propia.

1.3.6. Refinación

La refinación es el último proceso en la cadena operativa de la metalurgia dedicada a la obtención de cobre. Tiene como objetivo principal eliminar las impurezas presentes en el metal reducido, mejorando así su pureza y calidad, y generando un lingote de metal listo para ser utilizado en la manufactura de utensilios. A través de la refinación, se busca obtener metal de calidad con propiedades mecánicas y químicas óptimas para su uso (Tylecote 1986). La refinación es crucial en la producción de metales, ya que no solo mejora la calidad del producto final, sino que también puede influir en sus propiedades mecánicas, eléctricas y térmicas. Por ejemplo, en la industria del cobre, la eliminación de elementos no deseados como arsénico, bismuto y hierro puede mejorar significativamente la conductividad eléctrica y la resistencia a la corrosión del metal (Allen et al. 1970).

El método de refinación preindustrial conocido como refinación al fuego consiste en la fusión del metal en un crisol abierto, lo que permite la separación de las escorias que pueda quedar presente en el metal y quemar otros contaminantes como el azufre. Este proceso ha sido empleado desde épocas antiguas como una técnica eficaz para eliminar impurezas del cobre fundido (Bachmann 1982a). La refinación al fuego se destaca por su efectividad, permitiendo obtener un metal de mayor calidad al facilitar la eliminación de elementos no deseados que pueden comprometer las propiedades del cobre.

1.4. Metalurgia en Mesoamérica

En Mesoamérica, los objetos de metal más antiguos provienen del Occidente de México, pues a través de análisis se ha podido establecer que la producción de metales data de los años 875 d.C, (Nelson et al. 2015: 43, Maldonado 2018). De acuerdo con las investigaciones realizadas por

Dorothy Hosler (2004, 2005), se establecen dos fases en la producción de objetos metálicos en Mesoamérica, si bien las fechas ya han sido cuestionadas, la importancia de esta categorización radica en la división de las zonas por periodos. El primer periodo o fase temprana establecido hasta los años 1200 d.C., se caracteriza por el uso del cobre como metal principal para la elaboración de objetos. En este periodo se encuentra exclusivamente el área del oeste de México, es decir los actuales Estados de Guerrero, Michoacán, Jalisco, Colima y Nayarit (Hosler 2005:87). El segundo periodo que ubica Hosler es alrededor de los años 1250 d.C., durante este periodo la metalurgia en Occidente de Mesoamérica sufrió cambios tecnológicos como la utilización de aleaciones. En este periodo se desarrolla la metalurgia en otras regiones, como la zona Maya, el Golfo, Centro y norte de México (Castro 2019: 71).

Así, en la zona Maya, de manera específica en Mayapán, se han encontrado evidencias de actividad metalúrgica, dedicada a la fundición secundaria de metales como oro y cobre. Se han encontrado evidencias como lingotes, moldes y campanas, que pertenecen al periodo postclásico tardío (Paris 2008). Otro sitio dentro de esta área donde se han encontrado evidencia de metales es Lamanai, ubicado en Belice. Los objetos metálicos hallados en este sitio son principalmente de cobre como anillos, cascabeles y diferentes ornamentos (Imagen 14) provenientes del occidente, datan aproximadamente entre los años 950 y 1200 dC. Durante el posclásico tardío, se registra que en este sitio se fabricaban objetos con metal reciclado, tales como cascabeles, agujas, ganchos para pesca, hachas y otros objetos utilitarios. A lo largo de la zona Maya se ha encontrado evidencia del uso del metal como artefactos utilizados con las técnicas de cera perdida y martillado. No obstante, debido a la falta de una fuente local de minerales, se ha constatado el comercio que mantenían con otras áreas, para adquirir metales, especialmente en el occidente (Simmons y Shugar 2013).

Imagen 14 Objetos metálicos



Fuente: Ornamentos de ropa de metal en forma de pergamino (LA 69-9a-g) de Lamanai, Belize.

(Simmons and Shugar 2013:6)

En la zona Sureste de Mesoamérica ubicada en el actual Estado de Oaxaca, en los sitios de Monte Albán y Zaachila se han encontrado objetos de metal en contextos funerarios y de actividad de comercio. Esta tradición orfebre, centrada principalmente en el oro, data de los años 1250-1521 d.C. Durante este periodo, se confeccionaron una amplia gama de objetos, incluyendo diademas, pulseras, brazaletes y cascabeles, mediante técnicas de fundición tales como: cera perdida, la falsa filigrana, el martillado y el repujado (Carmona 2002). En esta zona no se ha encontrado evidencia arqueológica que muestre actividades de minería y fundición primaria de metales en la época prehispánica. En este sentido Edith Ortiz (2009), propone que la mayor parte del oro se obtenía de placeres, que son depósitos de arenas y gravas en los cauces de ríos y arroyos. Aunque la falta de evidencia directa en los registros arqueológicos es notable, siendo esta hipótesis respaldada por fuentes históricas.

1.4.1. Obtención de cobre en Mesoamérica:

Los estudios de la reducción de cobre en Mesoamérica se concentran mayormente en la región del Occidente de México, especialmente en los actuales estados de Guerrero y Michoacán. En otras partes de Mesoamérica, existen indicios de que el cobre fue trabajado y utilizado en la elaboración de diversos objetos, más se desconocen los procesos de reducción de este metal.

Los estudios realizados en el Valle de México, Oaxaca, la región Maya y la costa del Golfo han mostrado que se desarrolló de forma gradual a lo largo de varios siglos. Según investigaciones recientes, la producción de metales en el Occidente comenzó alrededor del 875 d.C., favorecida por la abundancia de minerales como la plata y el cobre nativo (Nelson et al. 2015; Maldonado 2018). Esto consolidó al Occidente como el eje metalúrgico, abasteciendo a otras zonas de Mesoamérica. Este desarrollo estuvo estrechamente relacionado con la estabilidad política y la centralización del poder. El Imperio Tarasco, por ejemplo, controlaba el comercio y la producción de metales preciosos, lo que permitió el avance de esta tecnología (Esquivel, P. et al. 2009)

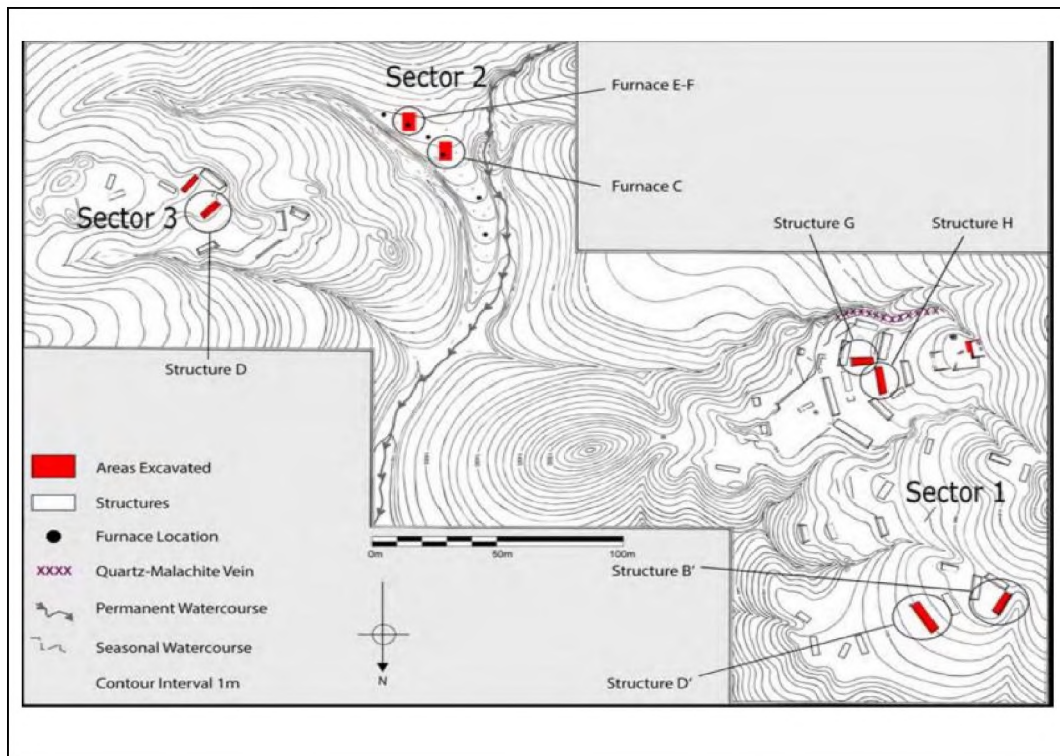
El Manchón- Guerrero

Uno de los centros de reducción investigados arqueológicamente se encuentra en el estado de Guerrero, en la Sierra Madre del Sur, en el sitio de El Manchón. Este sitio ha sido datado mediante análisis de radiocarbono, lo que ha permitido establecer dos períodos de ocupación distintos. El primero corresponde a los sectores domésticos, que se sitúan entre 1250 y 1440 d.C.; el segundo se refiere al sector dedicado a la fundición de cobre, datado entre 1630 y 1825 d.C (García y Hosler 2020).

Las excavaciones realizadas en el sitio arqueológico de El Manchón arrojan evidencia de actividad metalúrgica, pues han registrado grandes cantidades de escoria y mena de cobre; estos hallazgos sugieren una actividad intensiva en la reducción del cobre en este lugar. En particular, el sector 2 ha aportado vestigios de hornos utilizados en el proceso de reducción de cobre, así como escorias y malaquita. La presencia de estos elementos sugiere un área productiva bien desarrollada, donde se llevaron a cabo técnicas avanzadas en la obtención de cobre, que datan del periodo Colonial (García y Hosler 2020). Se identificaron siete posibles hornos de fundición y se propuso el horno cendrado de combustible circular operado manualmente como el tipo de horno utilizado en el lugar, capaz de alcanzar temperaturas de hasta 1150°C. Aunque no se menciona un número exacto

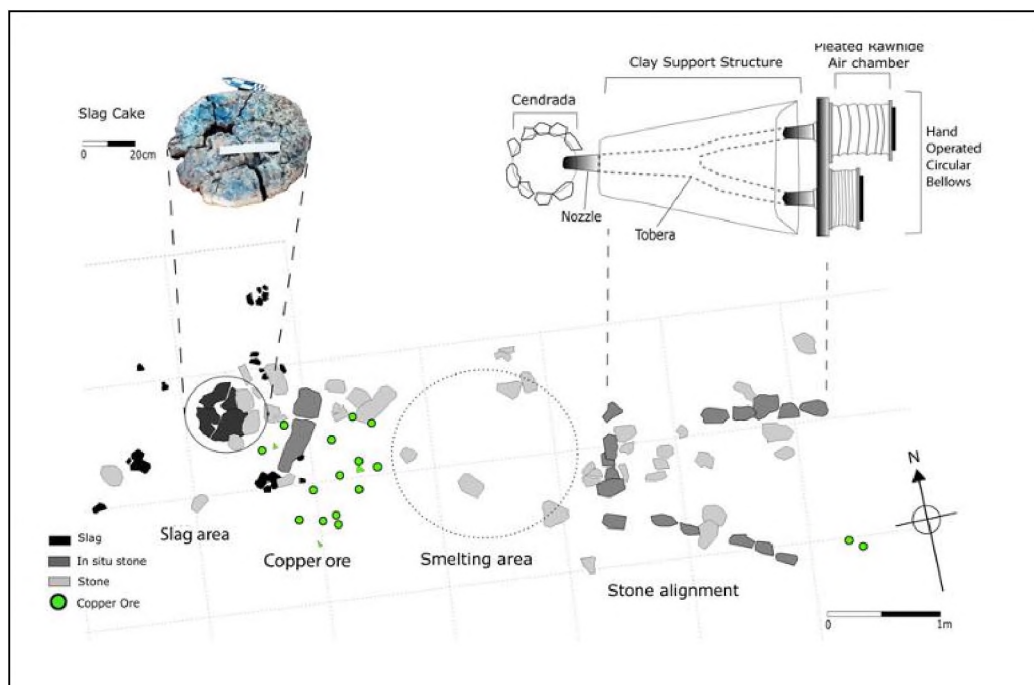
de escorias analizadas, se detalla el análisis de las muestras extraídas del Sector 2, específicamente de los hornos C y EF. Destaca un gran bloque de escoria sólida y circular, de 50 cm de diámetro y 5 cm de grosor, recuperado en el área de escorias del horno EF. Además, se observa la presencia de montículos de escoria en diversas partes del sector, particularmente en el arroyo junto al horno C (Imagen 16).

Imagen 15 Mapa de registro de actividad metalúrgica en El Manchón Guerrero.



Fuente: Mapa topográfico del sitio Barranca de las Fundiciones del Manchón que muestra los tres sectores, áreas esquemáticas excavadas y veta de cuarzo-malaquita (dibujado por Carlos Santos Rodríguez y editado por Johan García Zaldúa y Jennifer Meanwell). (Color en línea). (García y Hosler 2020: 562).

Imagen 16 Vista de planta El Manchon



Fuente: Diagrama de excavación en vista de planta del Horno EF en el Sector 2, que incluye conjuntos de piedras alineadas, una colección de mineral de cobre y una masa intacta de escoria ubicada en el área señalada como "slag area" (zona de escoria). Se ha ampliado una fotografía de la masa de escoria a una escala diferente y se ha colocado en la parte superior izquierda. La disposición geométrica de las piedras alineadas del Horno EF, junto con la ubicación y el tamaño de la masa de escoria, permitió la reconstrucción de un horno cendrada de combustible circular operado manualmente, ilustrado en vista de planta en el registro superior derecho, sobre el diagrama de excavación del Horno EF. (García y Hosler 2020: 12).

Como se mencionó en párrafos anteriores, el proceso de reducción de cobre en el sitio de El Manchón se remonta a la época colonial. Durante este período, se presume que los habitantes de la región utilizaban hornos manuales, específicamente hornos de diseño circular con fuelles, considerados innovadores para la época de ocupación española. Este diseño permitía alcanzar temperaturas adecuadas para la reducción del mineral de cobre. (García y Hosler, 2020).

El estudio también señala que los minerales utilizados en el proceso de reducción incluían cuprita y malaquita, los cuales eran extraídos de afloramientos locales. Estos minerales se cargaban en el horno junto con carbón, el combustible necesario para llevar a cabo la fundición. Otro punto importante de esta investigación es que a partir de la ubicación de las escorias se han identificado la ubicación de los hornos dentro del lugar. Además, se menciona que el uso de un sistema de combustibles manuales para alimentar el aire al horno contribuyó a alcanzar las temperaturas

necesarias. Así también, utilizaron abundantes recursos de la zona como los maderables, pinos y robles, que eran esenciales para la producción de carbón vegetal. Además, la proximidad de los depósitos de mineral de cobre proporciona evidencia adicional sobre la actividad metalúrgica en la región (García y Hosler 2020).

1.4.2. Metalurgia en Michoacán

El desarrollo de la producción metalúrgica en Michoacán presenta una historia compleja que antecede a la llegada del Estado Tarasco. Helen Pollard (1993) sostiene que los habitantes autóctonos de la región ya poseían conocimientos metalúrgicos antes de la consolidación del poder tarasco, sugiriendo que la metalurgia tarasca no fue una innovación propia, sino una continuación de una tradición técnica preexistente. Esta propuesta refuerza la idea de que la metalurgia en el Occidente de México fue el resultado de un desarrollo tecnológico continuo y no un fenómeno aislado. Según Benedict Warren (1968: 57), "los tarascos ya realizaban la fundición de metales en Tzintzuntzan mucho antes de la llegada de los españoles, lo que indica una larga tradición en la metalurgia".

La producción de cobre en esta región se distinguió por la explotación de una variedad de minerales, incluidos el cobre nativo y la reducción de minerales carbonatados como la malaquita y la azurita, óxidos como la cuprita, y sulfuros como la calcopirita (Maldonado 2018). Aunque la mayor parte de los artefactos metálicos hallados en la región contienen cobre nativo, también se han descubierto aleaciones de cobre-arsénico en lugares como Jalisco y Tomatlán. Estas aleaciones han sido interpretadas como una de las primeras experimentaciones metalúrgicas realizadas por los artesanos de la región (Hosler y García 2020).

Es fundamental destacar que la abundante presencia de minerales de cobre en la región de Michoacán fue un factor determinante en el desarrollo de la metalurgia local. La disponibilidad de estos recursos naturales facilitó la creación de talleres especializados en la extracción y procesamiento del cobre. Estos centros metalúrgicos no solo optimizaron la obtención del metal, sino que también fomentaron el perfeccionamiento de técnicas que, con el tiempo, se convirtieron en elementos clave. Dado el papel central de la minería en este contexto, es relevante abordar este tema en mayor detalle a continuación (Hosler 1988: 352; Maldonado 2013: 117)

1.4.3. El origen del proceso de reducción en Michoacán, propuesta de Dorothy Hosler sobre la Metalurgia en Mesoamérica

El estudio de la metalurgia en Mesoamérica ha generado diversas interpretaciones sobre el origen y desarrollo de las técnicas de fundición del cobre. Una de las teorías sugiere que el proceso de reducción en Michoacán fue introducido desde Sudamérica, basándose en similitudes tecnológicas entre ambas regiones. Desde el siglo XX, estudios como el de Uhle, sugieren existen nexos con las culturas de Suramérica con Centroamérica, se ha propuesto que existen similitudes en ciertas tecnologías como la metalurgia. Sin embargo, hasta el momento no se ha encontrado alguna pieza que con seguridad provenga de estas zonas.

Dorothy Hosler, en su estudio *Los sonidos y colores del poder: la metalurgia sagrada del occidente de México*, plantea una teoría central sobre la difusión de la metalurgia en Mesoamérica. Su propuesta sostiene que el desarrollo de la metalurgia en esta región puede dividirse en dos fases principales:

Primera fase (600-1200 d.C.): Durante este período, la metalurgia del cobre llegó al occidente mesoamericano a través de dos rutas tecnológicas distintas. Desde Perú y Ecuador, se transmitió el conocimiento del martillado en frío, mientras que desde Colombia y Centroamérica se introdujo la técnica de la cera perdida.

Segunda fase (1200-1300 d.C. hasta la conquista española): En esta etapa, el cambio más significativo fue la introducción de las aleaciones, especialmente la del bronce.

Hosler sustenta su propuesta en cuatro líneas principales de evidencia:

Cronología: La metalurgia se desarrolló mucho antes en América del Sur que en Mesoamérica.

Tecnología: En el occidente mesoamericano se emplearon los mismos métodos metalúrgicos que en Sudamérica, sin que haya evidencias claras de una fase previa de experimentación local.

Tipología y diseño: Los artefactos metálicos en ambas regiones presentan similitudes en sus formas y funciones.

Difusión global de la metalurgia: La metalurgia solo se desarrolló de manera independiente en un número muy reducido de regiones en el mundo, por lo que es improbable que haya surgido de manera autónoma tanto en Sudamérica como en Mesoamérica.

Según Hosler (1994:125), la transmisión de conocimientos metalúrgicos ocurrió a través de contactos marítimos entre Ecuador y el occidente de México, facilitados por los comerciantes manteño-huancavilcas. Estos navegantes viajaban en balsas y transportaban objetos metálicos obtenidos a través de redes de intercambio con los Chimú. En México, intercambiaban estos productos por conchas *Spondylus*. Hosler sugiere que estos comerciantes permanecían durante meses en Mesoamérica debido a los patrones de vientos y corrientes marinas, tiempo en el que habrían compartido conocimientos técnicos con los habitantes del occidente de México. Así, plantea que la difusión de la metalurgia fue más un intercambio de ideas que de objetos.

Una conclusión del estudio analítico de la escoria de Jicalán Viejo que se puede avanzar y se detalla en esta tesis, cuyos datos y argumentos son sustentados de forma pormenorizada en los siguientes capítulos, indica sin embargo y de manera clara que los procesos metalúrgicos de Jicalán Viejo son genuinos y se deben a invención propia.

1.4.4. Minería en Michoacán

El Occidente de México, conocido como la provincia metalífera de los metales preciosos y básicos, se distingue por la abundancia y diversidad de minerales metálicos que se encuentran en la zona. Entre los recursos minerales de esta región destacan el cobre nativo, los óxidos y sulfuros de cobre, así como minerales de plata, incluyendo la argentita y los sulfosales. Además, el oro es otro metal presente en la región, junto con el arsénico y diversos sulfuros. Estos minerales pueden clasificarse en dos grandes grupos: los óxidos y carbonatos, que se caracterizan por su fácil reducción, y los sulfuros, cuyo procesamiento es más complejo debido a su composición (Hosler 1994; Maldonado 2006). Entre ellos, el cobre fue el metal más explotado en la región, desempeñando un papel central en la metalurgia temprana de Mesoamérica. Su maleabilidad, resistencia y la relativa facilidad de su fundición, lo convirtieron en un material ideal para la manufactura de herramientas y ornamentos durante este periodo (Grinberg 1996; Hosler, 2005).

La minería en la época prehispánica jugó un papel crucial en las dinámicas sociales y económicas del Estado Tarasco, particularmente en la obtención de metales a partir de los minerales extraídos

de diversos yacimientos. Aunque no se dispone de documentos prehispánicos que corroboren directamente esta información, diversas fuentes coloniales tempranas, como el Lienzo de Jicalán, el Legajo 1204 del Archivo General de Indias y las Relaciones Geográficas, revelan que existía un conocimiento especializado sobre la ubicación de depósitos geológicos de mineral y el manejo de la actividad minera en ese periodo (Hosler 2005).

Durante el periodo prehispánico, la recolección superficial se consolidó como la técnica predominante en la extracción de minerales, principalmente por su accesibilidad. Este método consistía en la recolección directa de minerales que se encontraban expuestos en la superficie, lo que permitía su extracción sin necesidad de emplear herramientas o tecnologías complejas (Maldonado 2006). Además, los colores distintivos de ciertos minerales, como el verde de la malaquita y el azul de la azurita, que se forman como productos de la oxidación de sulfuros de cobre pudieron haber actuado como indicadores visuales clave, facilitando la localización y explotación de los depósitos minerales (Grinberg 1996; Maldonado 2006). Otra técnica identificada en estudios como el de Dora Grinberg en el sitio Churumuco es la minería a cielo abierto, este método no requiere excavaciones profundas, se basaba en la extracción de minerales cerca de la superficie terrestre (Maldonado 2006; Grinberg 1996).

Por último, otra técnica fue la minería subterránea, la cual implicaba la excavación de túneles y pozos profundos para acceder a los depósitos minerales. Los mineros prehispánicos excavaban socavones, entradas horizontales que facilitaban tanto el drenaje como el transporte de materiales (Maldonado, 2006). Evidencias en Mesoamérica de este método de extracción se encuentra en los túneles de la Sierra Gorda de Querétaro para la extracción de cinabrio, las minas de turquesa en Chalchihuites, Zacatecas, y las minas de obsidiana en la Sierra de las Navajas (Maldonado 2006).

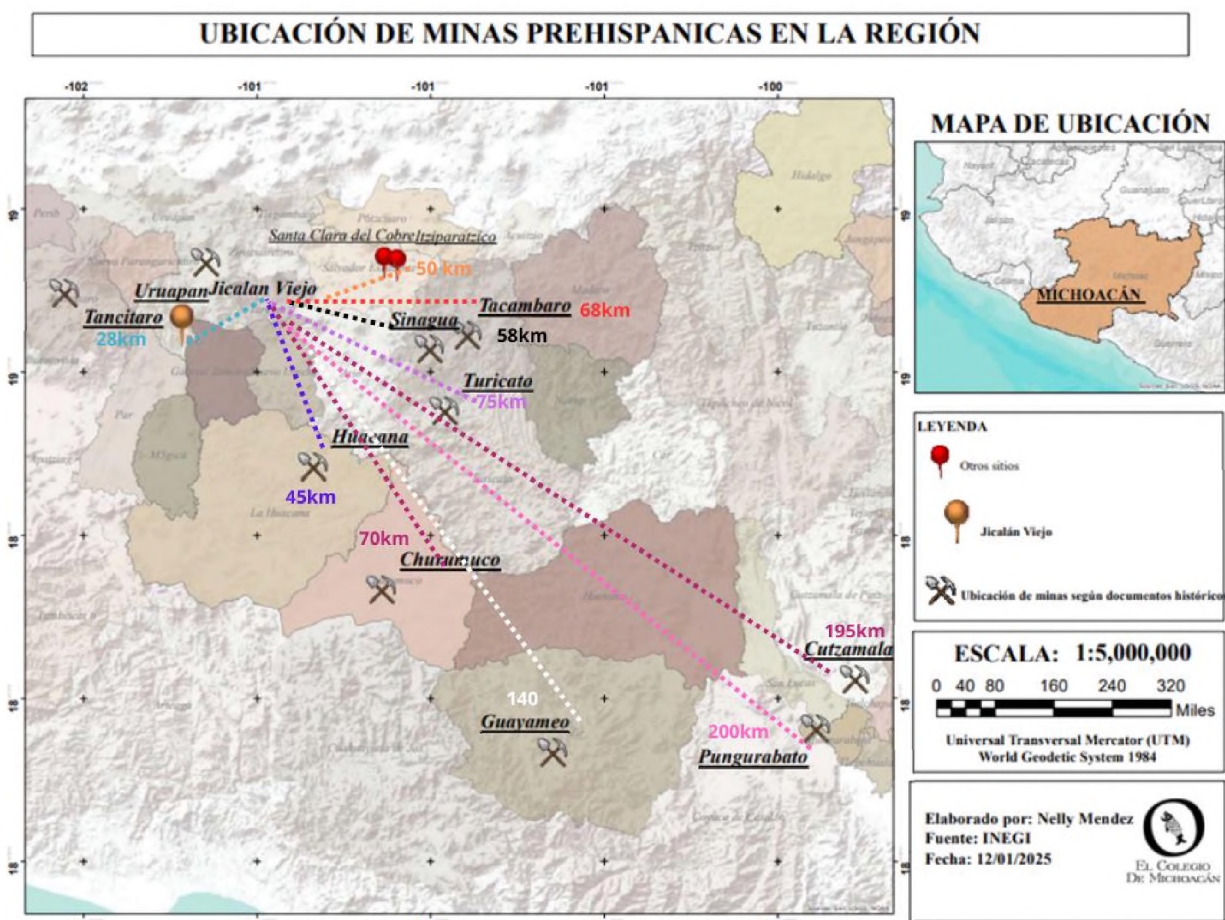
En Michoacán, a través de diversas fuentes históricas se han logrado identificar varios sitios mineros de gran relevancia. El Legajo 1204 del Archivo General de Indias (AGI, México 234) es una de las principales referencias, ya que ofrece información detallada sobre la minería en el siglo XVI, describiendo específicamente las minas de cobre en la región (Roskamp 1998: 145; Maldonado 2012: 72, Herrera 2005: 93). Según este documento (AGI, México 234, f. 47r), lugares como Churumuco, Huacana, Turicato y Sinagua ya eran explotados por los tarascos antes de la llegada de los españoles, y posteriormente fueron utilizados por los colonizadores para la extracción de cobre (Grinberg 2011: 58). Las descripciones proporcionadas indican la importancia

de estas minas tanto en la época prehispánica (Hosler 1994: 112) como en los primeros años de la colonia, cuando la explotación de cobre era una actividad económica crucial.

Además del Legajo 1204, otros documentos como el Lienzo de Jicalán y las Relaciones Geográficas del siglo XVI también mencionan sitios mineros en Michoacán. El Lienzo de Jicalán, una obra pictográfica del periodo colonial temprano (ver 1.5.2), evidencia rutas de explotación de cobre que conectaban regiones como el norte del río Balsas y Pinzandaro (Roskamp 2003: 205). Por su parte, las Relaciones Geográficas describen minas de cobre en Sinagua y Tuxpan, y aunque en algunos casos ya no estaban activas en el siglo XVI, estos documentos ofrecen una visión clara de la presencia y relevancia de la minería de cobre en Michoacán desde tiempos prehispánicos (Maldonado 2016: 89).

Es importante precisar las distancias y ubicaciones de las minas identificadas en las investigaciones previas agrupándolas según su dirección y distancia desde Jicalán. En primer lugar, hacia el Este se encuentran las minas de Tacámbaro, a 68 km, Sinagua, a 58 km, y Turicato, a 78 km. Todas estas minas se localizan relativamente cerca de Jicalán, lo que las hace accesibles para la explotación. Al Sur de Jicalán, a una distancia de 45 km, se encuentra la mina de La Huacana mientras que, al Oeste, a 28 km, se encuentra la mina de Tancítaro. Por último, en direcciones más alejadas, hacia el Suroeste, se localizan las minas de Guayameo, a 140 km y Pungurabato, a 200 km. Debido a la distancia considerable, es probable que estas minas fueran descartadas en primera instancia como fuentes viables para la explotación de recursos (Mapa 1).

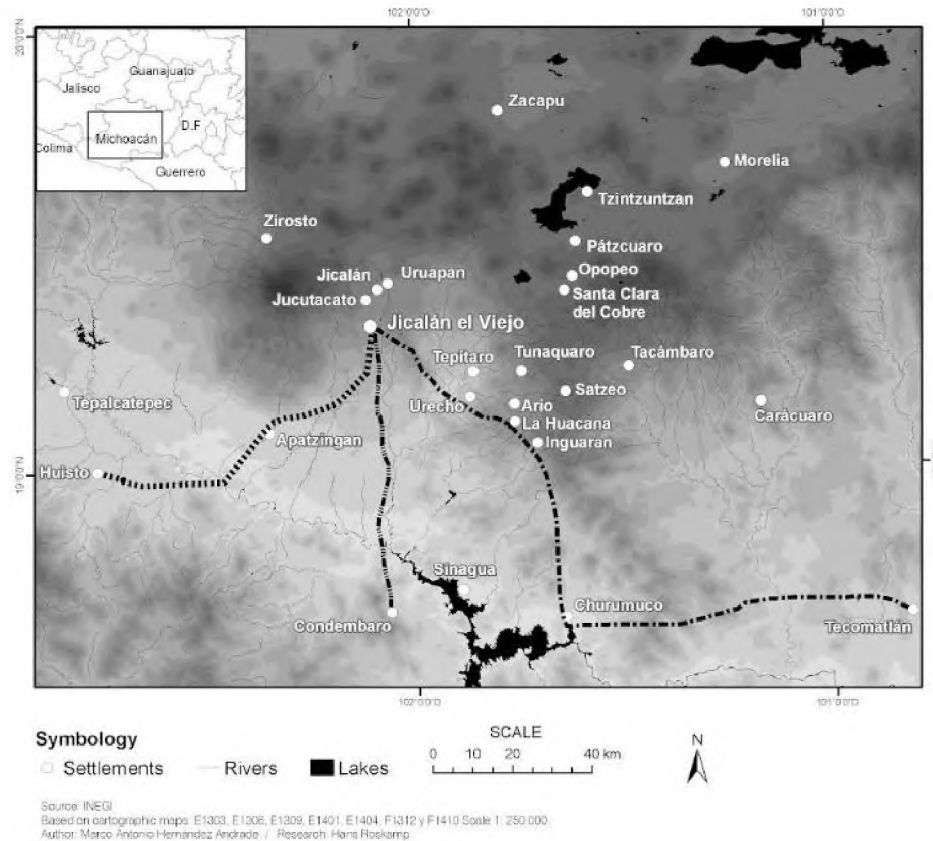
Mapa 1 Ubicación de minas prehispánicas en Michoacán



Fuente: Elaboración propia, Distancias de las minas identificadas con respecto a Jicalán y otros sitios estudiados, como Itziparatzo.

En el mapa anterior se realizó la inclusión de sitios mineros de diferentes períodos históricos, esto resalta la importancia continua de la minería en Michoacán, no sólo como un motor económico durante la colonización, sino también como una actividad que tiene sus raíces en las prácticas de extracción de los pueblos originarios. Así también se ha plasmado las rutas que se encuentran en el Lienzo de Jicalán, se trazan las 3 rutas hacia minas, explicado mejor en el apartado Fuentes históricas: Lienzo de Jicalán (1.5.2)

Mapa 2 Ruta de mina



Fuente: Mapa de las rutas mineras plasmadas en el Lienzo de Jicalán. Hans Roskamp y Marco Hernández.

1.4.4.1. Sitios de extracción de cobre en Michoacán.

Michoacán ha sido un centro significativo para la actividad metalúrgica desde épocas prehispánicas hasta la actualidad, destacándose en la reducción y manufactura de cobre. La región, rica en minerales, permitió que comunidades indígenas desarrollaran técnicas de extracción y fundición que perduraron y evolucionaron con la llegada de los colonizadores. Por ejemplo, en Pátzcuaro, se realizaron actividades de reducción de cobre que combinaban prácticas indígenas con métodos introducidos durante el periodo colonial (Hosler 1994: 112-115; Maldonado 2012: 68). Según Maldonado (2006:82), "las técnicas de fundición en esta región se adaptaron a las necesidades económicas de la época, integrando conocimientos ancestrales con innovaciones traídas por los españoles".

Otros sitios se localizan en Uruapan, donde la reducción de cobre tuvo un papel destacado, evidenciado por la existencia de instalaciones para la reducción del mineral extraído de las minas

cercanas como Churrumuco. Dora Grinberg (1996: 145) señala que "Uruapan se convirtió en un punto clave para la metalurgia del cobre, facilitando el acceso a materias primas y la producción de herramientas". Este contexto resalta la importancia de la región en la cadena productiva del cobre, no solo para el consumo local, sino también para el intercambio comercial.

Tzintzuntzan, la antigua capital del imperio tarasco, es otro lugar donde se llevaron a cabo actividades de reducción de metales, incluyendo el cobre. La relevancia de Tzintzuntzan en la producción metalúrgica se debe, en parte, a su ubicación estratégica y a la presencia de recursos minerales.

La Huacana también se destaca como un sitio de extracción y reducción de cobre, donde se aprovecharon los minerales de las minas circundantes. La integración de técnicas prehispánicas y coloniales permitió que esta localidad prosperara en la producción de cobre, como se menciona en los estudios de Elinore Barrett (1987: 98), quien documentó que "La Huacana se convirtió en un centro vital para la metalurgia en Michoacán". Además, Tacámbaro y Cuanajo son ejemplos de localidades donde la reducción de cobre se integró a la economía local, facilitando la producción de herramientas y objetos decorativos. Estos lugares reflejan cómo la tradición metalúrgica se ha mantenido viva, adaptándose a los cambios culturales y tecnológicos a lo largo del tiempo (Barrett 1987:98).

Es importante destacar que, el estudio académico a la mayoría de los sitios de extracción y reducción de cobre en Michoacán se ha realizado bajo un enfoque general aproximándose de manera superficial al tema metalúrgico, en el estudio de la metalurgia michoacana es la escasa evidencia arqueológica directa de talleres de fundición. Sin embargo, se han identificado zonas en Michoacán donde se han llevado a cabo investigaciones relacionadas con este tema, específicamente a través del estudio de escorias, que, como se explicó anteriormente (1.3.5), son los residuos resultantes de los procesos de fundición del cobre. A continuación, se detallarán estas áreas de estudio, las cuales ofrecen una perspectiva valiosa sobre las técnicas y prácticas metalúrgicas empleadas en la región durante épocas prehispánicas y coloniales:

Itziparátzico

Itziparátzico es una localidad situada en el municipio de Salvador Escalante, en el estado de Michoacán, México. Este pueblo se encuentra cerca de Santa Clara del Cobre, una región

reconocida por su rica tradición metalúrgica que se remonta a la época prehispánica. Itziparátzico ha sido objeto de numerosos estudios arqueológicos, especialmente en relación con la producción de cobre durante los periodos prehispánico y colonial. La localidad es de particular interés debido a su cercanía con sitios arqueológicos que han proporcionado importantes hallazgos sobre las prácticas metalúrgicas en la región.

En este contexto, Blanca Maldonado (2006) llevó a cabo un estudio en Itziparátzico con el objetivo de localizar y mapear evidencia de metalurgia, realizar excavaciones de prueba, analizar muestras para determinar su composición y desarrollar un modelo de producción metalúrgica tarasca. Su investigación incluyó un análisis etnohistórico exhaustivo y la revisión de prácticas metalúrgicas contemporáneas. Los estudios preliminares identificaron montículos y evidencias metalúrgicas. La investigación combinó técnicas de prospección de superficie con herramientas geoespaciales para identificar y mapear concentraciones discretas de escorias en el sitio de Itziparátzico, Michoacán. Este abordaje permitió delimitar con precisión las áreas específicas de actividad productiva asociadas a la metalurgia prehispánica.

Las excavaciones estratigráficas controladas realizadas en los contextos identificados proporcionaron muestras in situ de escorias y otros materiales asociados. Se seleccionaron cuidadosamente 2.1 kg de muestras representativas que fueron sometidas a análisis científicos avanzados, incluyendo microscopía óptica, microscopía electrónica de barrido con espectroscopía de energía dispersiva (SEM/EDS) y fluorescencia de rayos X (XRF). Estos análisis revelaron información sobre los procesos tecnológicos empleados. Para analizar las muestras de escoria, se realizaron estudios de microestructura y composición química en diecinueve muestras, utilizando técnicas como microscopía óptica, espectrometría de fluorescencia de rayos X (XRF) y microscopía electrónica de barrido con espectrometría de rayos X dispersiva por energía (SEM/EDS). Se identificaron dos tipos principales de escoria: las escorias grumosas (lumpy), que presentan superficies irregulares y porosas, y las escorias planas (platy), que cuentan con superficies más lisas y menos porosidad (Maldonado 2018). El objetivo principal de este análisis era determinar la naturaleza del material, el tipo de mineral procesado, la temperatura del horno y la eficiencia del proceso de fundición.

Las escorias grumosas mostraron una alta concentración de silicatos (cuarzos) no alterados, mientras que las escorias planas presentaron una composición más homogénea. El mineral

procesado identificado en las escorias fue la calcopirita (CuFeS_2) (Maldonado, 2018). Las muestras de escoria de Itziparátzico se clasificaron claramente como escoria de fundición de cobre, evidenciada por la presencia de calcopirita no reactiva y partículas de cobre. La composición de la escoria, dominada por fayalita, sugiere que la temperatura de fundición alcanzó aproximadamente $1100\text{ }^\circ\text{C}$ bajo condiciones reductoras (Maldonado 2018).

El control de las condiciones fisicoquímicas de la fundición preindustrial dependía de la cantidad de carbón utilizado y del aire insuflado. La composición de los productos minerales en la escoria refleja las condiciones redox, donde el uso de aire humano para la combustión genera un ambiente oxidante debido a la disminución de oxígeno y el aumento de CO_2 . La escoria presenta dos tipos: las escorias grumosas y las planas, que indican etapas diferentes del proceso extractivo. Las escorias grumosas son anteriores y contienen materiales no alterados térmicamente, mientras que las escorias planas representan un estado más avanzado, con menos material que no ha participado en la. La presencia de escorias planas indica que el proceso se realizó en un horno y no en un crisol, ya que su fluidez sugiere condiciones de alta temperatura y una atmósfera controlada (Maldonado 2018).

Los resultados arqueométricos demostraron un dominio avanzado de la pirometalurgia del cobre por parte de los metalurgistas tarascos. Los datos indican el uso predominante de mineral sulfurado (calcopirita), temperaturas de trabajo de aproximadamente 1100°C y condiciones reductoras eficientes, evidenciadas por la formación de fayalita. La presencia de prills de cobre metálico confirmó la naturaleza de los procesos de fundición realizados en el sitio. La investigación logró integrar exitosamente datos arqueológicos de contexto con evidencia arqueométrica cuantitativa y fuentes etnohistóricas sobre la organización productiva. Este abordaje interdisciplinario permitió superar las limitaciones impuestas por la ausencia de estructuras horno conservadas, estableciendo un nuevo paradigma metodológico para el estudio de la metalurgia antigua a través del análisis sistemático de sus desechos de producción. Los hallazgos aportan valiosa información para redefinir nuestro entendimiento sobre el grado de especialización artesanal alcanzado en el Imperio Tarasco.

Santa Clara del Cobre

Santa Clara del Cobre, ubicada en el municipio de Salvador Escalante (Michoacán), es reconocida por su tradición metalúrgica, cuya continuidad desde la época prehispánica hasta la actualidad la convierte en un caso excepcional en México (Mapa 2: Ruta de mina). Desde el punto de vista histórico, Santa Clara no constituye un yacimiento arqueológico en sí mismo, sino una congregación colonial establecida por frailes españoles como parte de las políticas de reducción de pueblos indígenas implementadas tras la Conquista (García Martínez 2010). Su población se conformó principalmente mediante el traslado forzado de los habitantes del asentamiento prehispánico de Itziparátzico junto con otros núcleos menores de la región, proceso documentado en las fuentes del siglo XVI (Hernández Díaz 2015;112). Esta reorganización espacial, característica del sistema de congregaciones novohispanas, respondía a un doble propósito: facilitar el control administrativo de la población y promover su evangelización (Smith 2018;103).

En este contexto, José Luis Punzo llevó a cabo investigaciones sobre las escorias encontradas en Santa Clara del Cobre, empleando técnicas de arqueomagnetismo. Estos estudios han proporcionado información sobre la cronología de la actividad metalúrgica en la región, permitiendo datar dicha actividad desde el periodo prehispánico hasta el siglo XVIII. Los sitios arqueológicos en la zona se clasifican en dos grupos: el primer grupo incluye lugares con elementos prehispánicos asociados al periodo Tarasco tardío, datados entre 1395 y 1691 d.C., como Itziparátzico, Tipitarillo y Cuitzitan. Por otro lado, el segundo grupo abarca asentamientos como Iramuco y Paso del Muerto, donde se han identificado escorias, aunque estos sitios carecen de evidencia prehispánica. Las dataciones en estos últimos podrían no coincidir con el contexto arqueológico, posiblemente debido a anomalías magnéticas locales (Punzo Díaz et al., 2015).

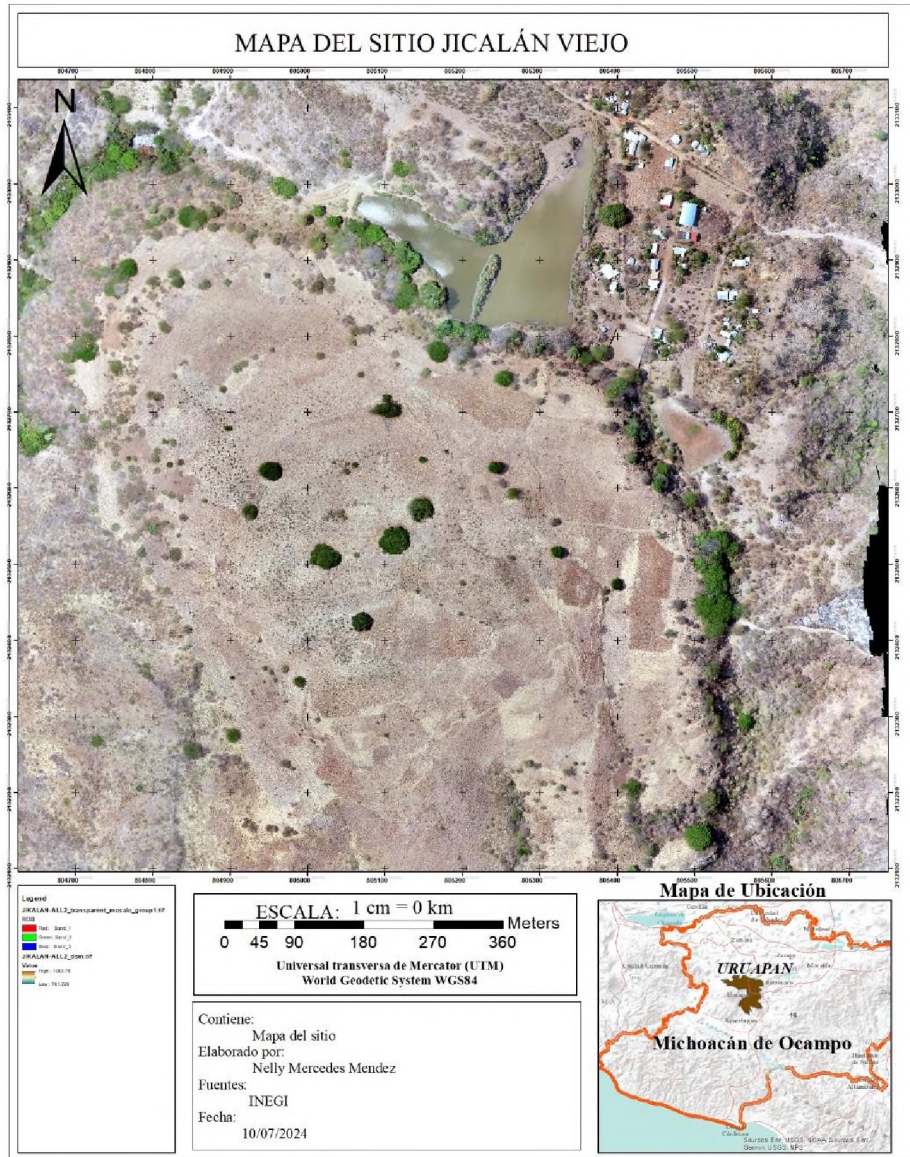
1.5. Metalurgia en Jicalán Viejo

Jicalán Viejo, se encuentra ubicado en el municipio de Uruapan, Michoacán, en la región hidrológica de Balsas, a unos 1075 metros sobre el nivel del mar, y es conocido por su relevancia arqueológica y su papel en la metalurgia prehispánica y colonial. Jicalán presenta una característica particular: se localiza sobre una meseta, lo que confiere al terreno una inclinación predominantemente plana. Esta disposición geográfica no solo facilita la construcción y el desarrollo de infraestructuras, sino que también influye en la organización del espacio circundante. La extensión aproximada de este sitio es de dos hectáreas, lo que permite llevar a cabo diversas

actividades, incluidas las agrícolas. Adyacente a la ubicación, se encuentra una laguna y, como se puede observar en el mapa, las casas del actual Jicalán están situadas al noreste del sitio (INEGI 2020).

El sitio presenta la existencia de antiguos centros de reducción de cobre, evidenciado por la presencia de escorias y restos de hornos. Estos recursos minerales, junto con la abundancia de agua proveniente de fuentes cercanas, como ríos y lagos, resultaban esenciales para las complejas operaciones de metalurgia, las cuales requieren grandes cantidades de agua para la reducción del mineral. La clave en el proceso metalúrgico era la disponibilidad de madera, utilizada en grandes cantidades para alimentar los hornos de fundición. La vegetación original del área, según estudios de polen, incluía especies como Moraceae y Ficus, típicas de bosques tropicales. Sin embargo, puede ser que la deforestación intensiva, impulsada por la producción metalúrgica y la expansión agrícola, alteró significativamente el paisaje. Actualmente, el área está dominada por vegetación secundaria como Asteraceae y Poaceae, lo que refleja la transformación ambiental ocasionada por las actividades humanas a lo largo de siglos (Corona et al. 2023).

Mapa 1 Mapa del Sitio Jicalán Viejo



Fuente: Elaboración propia

1.5.1. Contexto Histórico

El sitio de Jicalán Viejo posee una rica historia que lo vincula tanto con las primeras etapas de la colonización española como con la tradición metalúrgica prehispánica. La primera mención de Jicalán data de 1524 en un reporte de Antonio de Carvajal, donde se describe el poblado de

"Chicaya", situado a cuatro leguas al este de Uruapan, con aproximadamente sesenta casas. Esta referencia inicial es clave para entender el poblamiento y las actividades económicas que se desarrollaron en el área desde tiempos prehispánicos, reflejando así la continuidad de prácticas culturales y económicas en la región (Punzo et al. 2022; Warren 1968; Roskamp 2001).

La actividad metalúrgica en Jicalán Viejo fue documentada entre 1548 y 1550 en la *Suma de visitas de pueblos de la Nueva España*. En este registro, se menciona que el poblado contaba con 43 casas y una población de 131 personas, que debían entregar a su encomendero, Francisco Villegas, seis cargas de cobre cada 80 días. Esto equivale a 24 cargas anuales, totalizando aproximadamente 950 kg de cobre al año (García, 2019). El cálculo de los 950 kg se basa en la medida "carga", una unidad de peso común en la época colonial, que equivalía a unos 39-40 kg. Este volumen no solo destaca la importancia del cobre en la economía local, sino también su contribución a la economía colonial más amplia. Además del cobre, el sitio proporcionaba otros tributos, como mantas, manteles y pañuelos, lo que refleja la diversidad del sistema tributario impuesto a las comunidades indígenas en ese período (Roskamp, 2001).

En el contexto legal, en 1565, los habitantes de Jicalán Viejo se enfrentaron a los de Urecho por la explotación de minas de cobre y matiz. El litigio, que se resolvió a favor de Jicalán, evidencia la relevancia de los recursos minerales para la comunidad, así como los complejos sistemas de propiedad y explotación de la época (Roskamp, 2001). Un elemento clave en la historia de Jicalán Viejo es el *Lienzo de Jicalán*, un documento pictográfico utilizado en esta disputa legal. Este lienzo narra aspectos míticos y cotidianos de los Xiuhquiltecas, los primeros pobladores de la región. A través de sus 38 escenas, se detalla la migración de los Xiuhquiltecas desde la costa de Veracruz hacia el centro de México y, finalmente, su asentamiento en Jicalán. Una de las escenas más significativas muestra a dos personas trabajando en la metalurgia, lo que resalta la prominencia de esta actividad en la vida económica y cultural de los habitantes (Roskamp, 2013).

A partir de 1609, los habitantes comenzaron a desplazarse del lugar, un fenómeno que aún no se ha comprendido completamente. Las razones detrás de este desplazamiento siguen siendo objeto de investigación, y podrían estar relacionadas con factores económicos, sociales o ambientales, así como con la llegada de la colonización y los cambios en las dinámicas de poder en la región. Este vacío en la comprensión invita a futuras investigaciones que busquen esclarecer las circunstancias que llevaron a la migración de la población de Jicalán Viejo y su impacto en la historia local.

Imagen 17 Lienzo de Jicalán



Fuente: Anon, Lienzo de Jucutacato o Lienzo de Jicalán.
<https://pueblosoriginarios.com/meso/occidente/purepecha/jucutacato.html>

1.5.2. Fuentes históricas: Lienzo de Jicalán

El Lienzo de Jicalán, realizado en la segunda mitad del siglo XVI, es un tejido de algodón que mide 2.63 metros de largo por 2.03 metros de ancho. Narra la migración de los nahuas de Xiuhquilan (Jicalán) hacia Michoacán, donde fundaron su cacicazgo. La copia de Nicolás León se encuentra en el Museo Regional de Michoacán, y el original está en la Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística. Su análisis, realizado por el profesor Hans Roskamp, proporciona un contexto más amplio sobre los conflictos territoriales entre los pueblos nahuas y tarascos en torno a la explotación minera. De acuerdo con la interpretación de Hans Roskamp, el lienzo de Jicalán representa tres rutas que conectan distintos puntos en la región de Tierra Caliente. La primera de

estas rutas se dirige hacia el río Balsas, finalizando en el municipio de Huetamo, situado al sureste de Jicalán. La segunda ruta sigue el curso del río Marqués, concluyendo en la actual presa del Infiernillo. Por último, la tercera ruta recorre la región de Pinzándaro, a orillas del río Tepalcatepec (Roskamp y Retiz 2011). A lo largo del lienzo, los recuadros muestran escenas en las que personas participan en diversas actividades, destacándose ceremonias, oficios y símbolos. Este enfoque iconográfico sugiere la posibilidad de identificar antiguas minas de extracción de minerales en la época prehispánica.

En la primera ruta (Mapa 2), el recorrido inicia en Tamaqua, actualmente conocida como Tamácuaro, donde tres figuras humanas parecen dirigirse hacia un montículo, lo que podría indicar la extracción de minerales. Sin embargo, no se han localizado minas prehispánicas en esta área. Posteriormente, la ruta avanza hacia Xucupan, hoy Quiroga, donde se observan figuras danzantes mirando hacia el cerro. Otro sitio representado es "aan", aún no identificado, seguido por Vacana (La Huacana), donde se visualiza a una persona sentada y dos de pie alrededor de un templo. A pesar de que este último recuadro no sugiere la exploración de minas, sí se han identificado minas que fueron explotadas durante la época colonial. Tepulan, otro sitio en el lienzo ilustra el hallazgo de minerales, con personas supervisadas por líderes xihuhquiltteca, lo que refuerza la relevancia de la actividad minera en la zona, aunque la ubicación actual de Tepulan permanece incierta (Roskamp 2001).

La segunda ruta (

Mapa 2), más corta, sigue el río Cupatitzio hasta llegar a la presa del Infiernillo, donde se encuentran depósitos mineros. Esta ruta lleva a Cundembaro, que Hans Roskamp identifica con el cerro del mismo nombre, ubicado al suroeste de la presa. En esta ruta, el primer punto tras salir de Jicalán es Puruatio, representado con dos personas caminando en un paisaje montañoso. Luego, se encuentra Xicaluahcan, donde se evidencia la extracción de minerales, acompañado de una glosa que menciona "minas". Después, los recuadros incluyen lugares como Temexio y Xucultlan, mostrando la exploración de cerros. Finalmente, el recorrido culmina en Cundembaro (Roskamp 2001; Punzo et al. 2022).

La tercera ruta (

Mapa 2), iniciando en Tsichahpeto, un lugar no identificado, muestra a tres personas dirigiéndose hacia un cerro, sugiriendo la coexistencia de la minería y la agricultura como actividades de la comunidad. Aunque la identificación de los sitios mencionados aún requiere investigaciones, se sugiere que Apupato pudo haber sido un importante lugar de extracción de minerales, dada su proximidad a Jicalán y la evidencia histórica que vincula esta mina con la producción de cobre durante la época colonial.

Dentro del enfoque de estudio del lienzo de Jicalán, se encuentra un cuadro que hace referencia a la reducción de cobre en el sitio. Este recuadro no solo representa la actividad metalúrgica, sino que también ilustra las prácticas y técnicas empleadas por los habitantes en la obtención del metal. En particular, se observa a dos personas sentadas, soplando cañutos que dirigen aire hacia un crisol, un método tradicional utilizado para alcanzar las altas temperaturas necesarias en el proceso de reducción (Roskamp 2024).

1.6. Resumen de los trabajos arqueológicos y sus conclusiones

62

metalúrgica desarrollada en Jicalán Viejo, particularmente en la producción y refinamiento de cobre.

El trabajo de estos investigadores ha permitido avanzar en la comprensión de los procesos de extracción y reducción del cobre, así como en la organización social y económica que sustentaba estas actividades en la región. Estos estudios han involucrado tanto excavaciones arqueológicas como análisis de residuos metalúrgicos, como el análisis científico de las escorias, que evidencian la tecnología utilizada. En particular, se han utilizado técnicas como la fluorescencia de rayos X (XRF) y la microscopía electrónica de barrido (SEM/EDS) para caracterizar los materiales metalúrgicos y entender mejor los procesos llevados a cabo en el sitio.

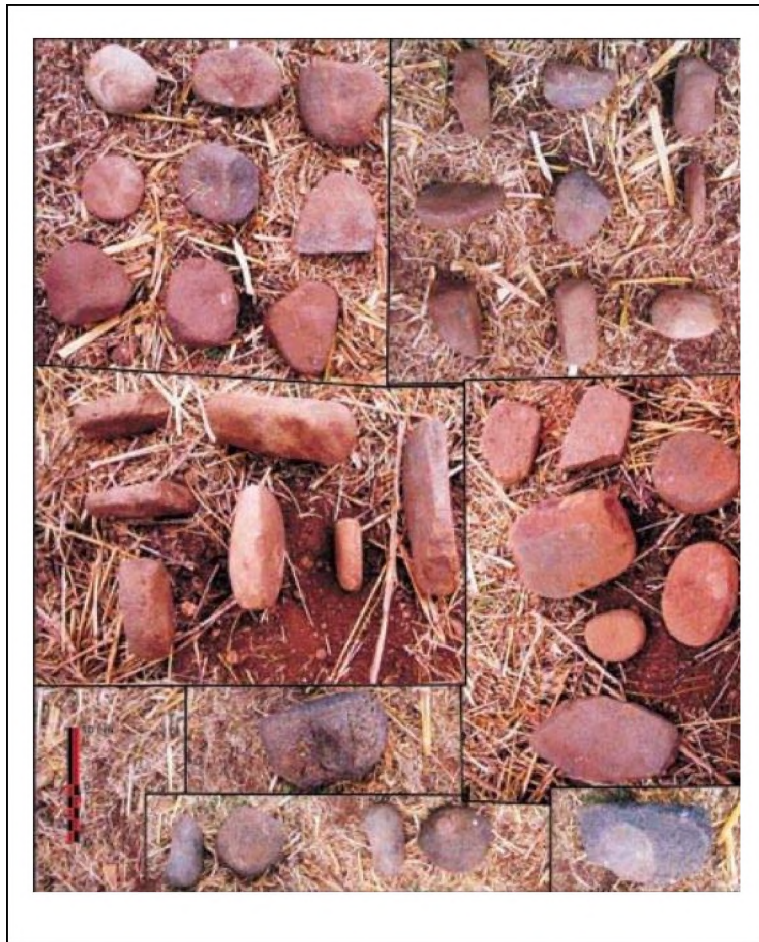
A continuación, se mencionan algunos de los estudios y sus principales contribuciones realizadas en el sitio de Jicalán Viejo:

El estudio titulado Estudio interdisciplinario de un sitio de fundición de cobre en el occidente de México: el caso de Jicalán Viejo, Michoacán realizado por Hans Roskamp y Mario Retiz en el año 2013 describe la importancia arqueológica del sitio de Jicalán Viejo, conocido desde el siglo XIX. Inicialmente mencionado en documentos históricos, atrajo la atención de investigadores como Francisco Franco y Eduardo Ruíz, quienes dejaron descripciones detalladas de las estructuras, incluyendo pirámides y otros restos. El sitio ha sido afectado por saqueos y deterioro debido a la agricultura y la erosión. Los autores mencionan que, en 2003, un estudio arqueológico en Jicalán Viejo identificó varios restos arquitectónicos, entre los que destacan una pirámide de 22 x 22 metros, posiblemente dedicada a Tezcatlipoca, junto con complejos ceremoniales y áreas habitacionales. Los hallazgos incluyeron utensilios de piedra, cerámica, y escoria de cobre, lo que refuerza la importancia del sitio en la producción de este metal. Estos descubrimientos se complementan con la relevancia cultural del lugar, evidenciada en leyendas locales y estudios comparativos de su deterioro, documentados mediante fotografías aéreas y observaciones de campo (Roskamp y Retiz 2013).

Roskamp y Retiz (2013;14) describen que, entre los artefactos encontrados (Imagen 19), destacan piedras redondas con orificios que probablemente se utilizaron en la reducción de cobre o en la creación de objetos pintados. Algunos objetos, clasificados inicialmente como utensilios domésticos, pudieron haberse reutilizado para actividades metalúrgicas, como un metate que aparentemente servía como molde para fabricar hachas o lingotes. También se encontraron restos

de obsidiana, como pequeños núcleos, hojas prismáticas y cabezas de flecha, así como cerámica monocroma y malacates de barro. Las grandes cantidades de escoria localizadas, especialmente en las zonas más altas del sitio, sugieren que Jicalán Viejo fue un centro clave en el procesamiento del cobre, con técnicas de reducción sofisticadas similares a las de Santa Clara del Cobre (Roskamp y Retiz 2013).

Imagen 19 artefactos líticos en Jicalán Viejo



Fuente: artefactos líticos encontrados en superficie en el sitio Jicalán Viejo. (Hans Roskamp 2005:15)

En este sentido, la ubicación estratégica de Jicalán Viejo, situada entre la Tierra Caliente y la Sierra Tarasca, ofrecía una ventaja tanto en protección natural como en acceso a mercados cercanos como Uruapan y Pátzcuaro (Cita). Se cree que el sitio estuvo habitado desde el Posclásico Tardío hasta el siglo XVII, y que su población tributaba tanto al Estado tarasco como a los encomenderos españoles. Sin embargo, con la centralización de la metalurgia en Santa Clara del Cobre durante

la Colonia, la producción en Jicalán disminuyó, marcando un declive en su relevancia metalúrgica, aunque la tradición precolombina se mantuvo activa hasta esa época. El texto concluye que el panorama arqueológico y cultural de Jicalán Viejo pone de relieve su papel no solo como un centro de producción metalúrgica, sino también como un sitio de significación histórica y cultural en la región (Cita).

Otro de los estudios en el cual se han investigado las escorias del sitio Jicalán es *Tarascan Copper Metallurgy: A multiapproach perspective*, realizado por Blanca Maldonado en el año 2018. En el cual, si bien se centra en el caso del sitio Itziparatzico, se hace un estudio comparativo con Jicalán, pues de las 19 escorias analizadas dieciséis muestras provienen de niveles estratigráficos excavados en Itziparatzico, y tres de Jicalán Viejo. Estas muestras fueron analizadas con microscopía óptica, microscopía electrónica de barrido (SEM/EDS) y fluorescencia de rayos X (XRF) en el Laboratorio Wolfson de Ciencia Arqueológica de la University College London.

El análisis incluyó preparación de muestras mediante cortes y montajes en resina, y luego fueron pulidas y recubiertas con carbono para asegurar su conductividad. Las muestras también fueron pulverizadas y prensadas en pellets para el análisis de composición química por XRF, utilizando calibraciones específicas para escorias ricas en hierro. El texto concluye que los análisis de laboratorio respaldan la hipótesis derivada del trabajo de campo de que los procesos de reducción se llevaron a cabo en hornos diseñados para generar condiciones reductoras durante el proceso de reducción de minerales de cobre. Este estudio representa el primer análisis exhaustivo de escorias en un contexto mesoamericano. Los resultados indican similitudes entre los minerales utilizados en los procesos de fundición de Jicalán Viejo e Itziparatzico. Además, se mencionan hallazgos recientes de escorias en otros sitios de Michoacán, Guerrero y el área Maya (Maldonado 2018).

La tesis de Investigación publicada en el año 2023 por Andrés Sánchez, se centró en el análisis científico de escorias recolectadas en superficie en el sitio de Jicalán Viejo, como parte del proyecto "Preindustrial Mining and Metallurgy in Mexico." Utilizando métodos como Fluorescencia de Rayos X (XRF), Microscopía Electrónica de Barrido (SEM/EDS) y Microscopía Óptica (MO), el estudio permitió explorar las técnicas de reducción del cobre prehispánicas y coloniales. Así, los datos obtenidos caracterizaron las tecnologías empleadas en la producción de cobre en este contexto. Los resultados enriquecen el conocimiento sobre la metalurgia prehispánica en Occidente de México, esperando que futuras investigaciones amplíen este panorama.

El análisis arqueometalúrgico de las escorias del sitio de Jicalán Viejo ha proporcionado pruebas significativas que respaldan la hipótesis de que en este lugar se llevó a cabo un proceso de reducción de sulfuros de cobre mediante hornos de sangrado, operando en una atmósfera reductora y manteniendo temperaturas elevadas y estables, entre 1100 y 1200°C, lo que permitió la exitosa reducción del cobre. El estudio revela la presencia de olivinos y fayalita, junto con gránulos de cobre en las escorias (Sánchez 2023; 201).

Además, los resultados obtenidos sugieren que las menas de cobre utilizadas en este proceso a menudo estaban mezcladas con sulfuros de arsénico, posiblemente provenientes de la ruta oriental descrita en el Lienzo de Jicalán. Se identificaron dos etapas en el proceso de reducción: una primera etapa destinada a la eliminación de silicatos y otra más avanzada, vinculada tanto a la obtención de mata sulfídica, esto es cobre y azufre separado de la ganga, como al refinado de cobre metálico (Sánchez 2023).

El análisis macroscópico y microscópico de las escorias sugiere una clara organización en las actividades metalúrgicas, con una baja variabilidad entre los diferentes grupos de escorias. Esto coincide con la teoría de la tecnología, que interpreta la repetición de resultados deseados, como la producción de mata y cobre fundido, como el resultado de decisiones conscientes tomadas por los metalurgistas locales (Sánchez 2023).

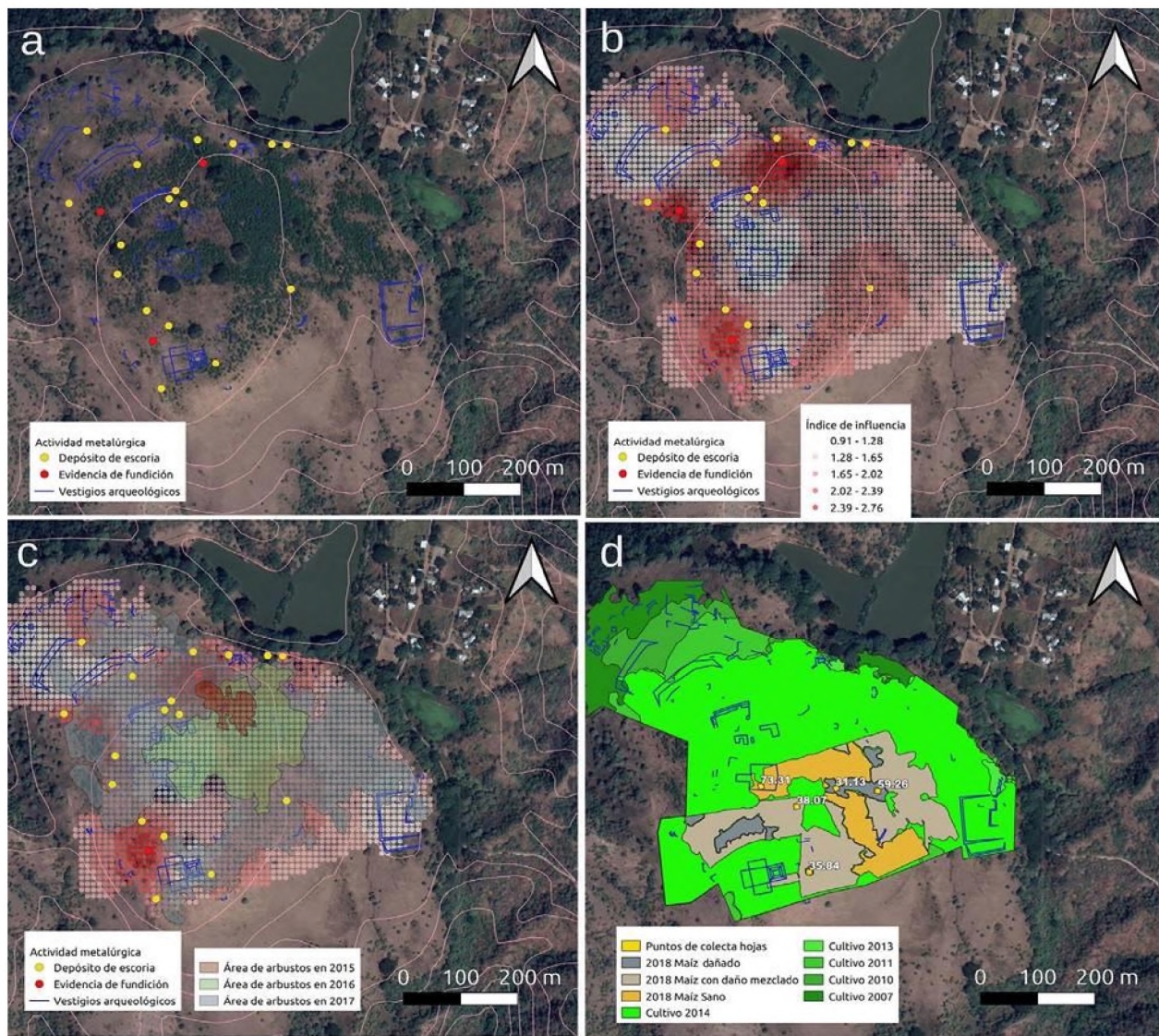
José Luis Punzo y sus colegas (2022), llevaron a cabo un análisis de imágenes de Google Earth® de 2007 a 2014, delimitando áreas cultivadas y de vegetación arbustiva. En 2018, se clasificó el estado del maíz en cuatro categorías y se empleó un dron para obtener ortofotografías. Se relacionó el estado de la vegetación con vestigios arqueológicos mediante un modelo de interpolación. Se realizaron muestreos de hojas de maíz para cuantificar cobre utilizando fluorescencia de rayos X.

El estudio examina los cambios en el área cultivada en una zona arqueológica de Jicalán entre 2007 y 2018, observando una disminución de la superficie cultivada de 25.7 hectáreas en 2007 a 7.4 hectáreas en 2018. Esta reducción se relaciona con el abandono del cultivo en la parte norte del sitio, donde se encuentran más vestigios arqueológicos. Entre 2015 y 2017, la vegetación arbustiva experimentó una notable expansión, cubriendo áreas con baja y media influencia de vestigios arqueológicos. En 2018, el cultivo de maíz mostró heterogeneidad en el estado de las plantas, con concentraciones de cobre en las hojas que variaron entre 31 y 73 µg/g superando el

umbral de 11 $\mu\text{g/g}$, a partir del cual se pueden presentar efectos tóxicos en la planta, como menor crecimiento y acumulación de biomasa. Se identificó un valor anómalamente alto cerca de la capilla, en una zona de baja influencia arqueológica, lo que sugiere la posible presencia de vestigios aún no documentados. El estudio evidencia que, a pesar de que la actividad metalúrgica cesó hace más de cuatro siglos, los residuos de cobre aún persisten en el suelo y son absorbidos por las plantas, lo que indica una contaminación de larga duración (Ozuna et al. 2022)

Este análisis proporciona una descripción más completa del sitio arqueológico y propone un modelo predictivo sobre las áreas de actividad metalúrgica, destacando la importancia de estudiar la relación entre los vestigios arqueológicos y el entorno natural para comprender mejor las prácticas de los antiguos habitantes de la región. Además, la imagen que se presenta sobre las concentraciones de escoria en este estudio se visualiza que coinciden con las concentraciones encontradas en el año 2021 (Ozuna et al. 2022).

Imagen 20 Cambio en el área cultivada Jicalán Viejo.



Fuente: Cambio en el área cultivada, en la zona arqueológica de Jicalán Viejo, a lo largo de los años. En Osuna-Vallejo et al. 2022: Fig. 2.

Por otra parte, es necesario mencionar que hay diferentes investigaciones en este sitio que si bien no han sido publicadas se han trabajado para ser expuestas en diferentes lugares académicos. Tales como el estudio *Vestigios de producción de cobre preindustrial en Jicalán Viejo, Michoacán, México* en el CLASMAC del 2023, realizado por Blanca Maldonado, Andrés Sánchez, Luis Velázquez, Berenice Pedroza, David Larreina, Mario Rétiz, Fernando May y Hans Roskamp, esta investigación demostró la producción primaria de cobre en el sitio. Los análisis de escorias revelaron procesos realizados entre 1100-1200°C en atmósferas reductoras, identificando fases

sulfuradas, fayalita y posible procesamiento de minerales arsenicales. El estudio destacó el uso de un sistema autofundente que facilitó la reducción del cobre, aunque con ciertas dificultades para controlar los niveles de oxígeno. La presencia de "píldoras" de cobre con 96% de pureza confirmó la efectividad de estos métodos metalúrgicos preindustriales.

En este mismo sentido la *Fundición preindustrial de cobre en el oeste de México: una reconstrucción tecnológica*, presentada en ISA en el año 2024, desarrollada por Blanca Maldonado, Luis Velázquez, Berenice Pedroza, David Larreina y Fernando May, este trabajo se presentó mediante un póster con análisis detallados de las escorias. Utilizando técnicas como SEM-EDS, los investigadores identificaron estructuras complejas con alto contenido de hierro (12.56% en peso) y evidencias claras de reacciones redox. El estudio mostró partículas multicapa y matrices vitreas que indican un proceso metalúrgico realizado en múltiples etapas. Estos hallazgos corroboran el avanzado conocimiento técnico de los antiguos metalurgistas para controlar altas temperaturas y complejas reacciones químicas en la producción de cobre.

1.7. Planteamiento de la investigación

Problemática

A pesar de los estudios arqueológicos previos en Jicalán Viejo, particularmente aquellos centrados en el análisis de escorias de cobre, no se ha realizado una caracterización exhaustiva de su morfología. Esta falta de estudios detallados sobre la variabilidad morfológica y composicional de las escorias ha limitado la comprensión de los procesos tecnológicos y las áreas de producción metalúrgica en el sitio. Además, el conocimiento sobre la organización espacial de las actividades metalúrgicas y las tecnologías empleadas en las distintas fases de la cadena operativa sigue siendo limitado.

La investigación plantea la necesidad de abordar esta carencia mediante un análisis morfológico detallado de las escorias, con el objetivo de identificar patrones tecnológicos y operativos que permitan interpretar mejor las áreas de producción metalúrgica en Jicalán Viejo. Esto contribuiría a una comprensión más completa de los procesos de reducción de cobre en los contextos prehispánicos y coloniales tempranos, así como de las implicaciones socioeconómicas y culturales de dicha actividad en la región.

Justificación

Aunque se han llevado a cabo estudios previos sobre las escorias de cobre en Jicalán Viejo, no se ha realizado una caracterización exhaustiva de su morfología. Este vacío muestra la necesidad de un análisis detallado de las formas de las escorias, para comprender las dinámicas de los procesos de reducción del cobre y los espacios destinados a la producción metalúrgica. La caracterización precisa de las escorias permitirá no solo ayudar a interpretar los métodos tecnológicos, sino también localizar y definir las áreas específicas de actividad productiva dentro del sitio.

Al abordar esta necesidad, el presente estudio tiene como objetivo proporcionar un análisis interpretativo detallado, que permita identificar las áreas de producción y ofrecer una visión más completa de la organización espacial y tecnológica en Jicalán Viejo durante los periodos prehispánico y colonial. Esto permitirá avanzar en el conocimiento de las prácticas metalúrgicas en el Occidente de México y su evolución a lo largo del tiempo. El sitio en estudio no ha sido excavado, lo que limita el conocimiento sobre la disposición y características de los hornos utilizados en el proceso metalúrgico. La falta de evidencia directa impide determinar con precisión su estructura, funcionamiento y ubicación exacta. Ante esta incertidumbre, una aproximación basada en el análisis morfológico de los materiales presentes en la superficie ofrece una alternativa metodológica para inferir información relevante sobre los procesos de reducción. La identificación de escorias puede contribuir a la reconstrucción del paisaje tecnológico del sitio. De este modo, el estudio proporciona una base para futuras investigaciones arqueológicas más detalladas y permite ampliar el entendimiento de las dinámicas de producción y uso del metal en el contexto prehispánico.

Pregunta de investigación

¿De qué forma puede el análisis de las escorias de cobre recolectadas en la superficie del sitio Jicalán Viejo aportar al entendimiento de la organización, las prácticas tecnológicas y los métodos utilizados en las distintas fases de la cadena operativa de producción metalúrgica?

Objetivos

Objetivo general:

Analizar los contextos de producción metalúrgica en Jicalán Viejo a partir de la variabilidad morfológica de las escorias de cobre recuperadas durante la prospección arqueológica, así como de sus registros de ubicación.

Objetivos específicos:

1. Caracterizar y establecer tipologías de las escorias de cobre encontradas en diversos contextos del sitio.
2. Analizar la distribución de áreas de actividad en función de la variabilidad de las escorias de cobre, determinando en lo posible las áreas especializadas en la producción metalúrgica.
3. Contribuir a contextualizar los orígenes de la metalurgia en Jicalán Viejo.

Hipótesis

Se plantea que el análisis de las escorias de cobre recolectadas en la superficie del sitio Jicalán Viejo permitirá caracterizar de manera detallada la organización, las prácticas metalúrgicas y las tecnologías empleadas en las distintas fases de la cadena operativa de producción, proporcionando una comprensión más profunda de los procesos productivos prehispánicos y coloniales en la región.

2. CAPITULO 2.

El presente estudio se basa en el enfoque de la cadena operativa, una herramienta teórica que permite analizar de manera sistemática las distintas fases del proceso metalúrgico, desde la obtención de la materia prima hasta el producto final. Este enfoque resulta clave para comprender la organización de la producción en Jicalán Viejo, ya que se puede identificar las técnicas empleadas, los conocimientos metalúrgicos aplicados y la distribución espacial de las actividades dentro del sitio. A través de este marco, se busca reconstruir las dinámicas de producción y su relación con los contextos sociales y económicos prehispánicos y coloniales.

2.1. Desarrollo del concepto de cadena operativa

En relación con lo expuesto previamente, la cadena operativa constituye una propuesta que integra de manera clara y coherente los principios sobre los cuales se fundamenta la investigación para el estudio de las escorias en el sitio arqueológico de Jicalán Viejo. Este enfoque resulta particularmente relevante ya que, a través de la cadena operativa, se articulan de manera conjunta aspectos descriptivos, analíticos e interpretativos, lo que permite reconstruir y visualizar los patrones formales y las variaciones presentes en la cultura material a lo largo de todo el proceso.

El enfoque descriptivo se sustenta en la recopilación y análisis de los datos obtenidos en la fase inicial del proyecto, lo que permite documentar de manera objetiva las características observables de los materiales arqueológicos. La dimensión analítica se refiere al examen detallado de las diversas fases que conforman el proceso de obtención del metal, considerando cada etapa como parte de un sistema interrelacionado. Finalmente, el enfoque interpretativo va más allá de la simple observación de los procesos, ya que busca plantear hipótesis sobre las técnicas que podrían haber influido en la ejecución de las actividades relacionadas con la producción del cobre, permitiendo una comprensión de los factores que determinan las decisiones tecnológicas y los métodos utilizados. De esta manera, la cadena operativa no solo facilita la identificación de los procesos materiales, sino que también ofrece una perspectiva amplia sobre los condicionantes sociales y ambientales que subyacen en el proceso de obtención del metal (Martín-Torres 2002).

Al hablar de la cadena operativa, es necesario hacer referencia al origen de este concepto en el contexto de estudio de la industria lítica, aunque para su aplicación en el estudio del material cerámico no se ha hecho una transposición directa del término tal como se utiliza en sus primeras aplicaciones, en las cuales se empleaba principalmente como una herramienta descriptiva desde la perspectiva de la Arqueología Histórico-Cultural (Léroi-Gourhan, 1965). En el año de 1950, André Léroi-Gourham empezó a generar una propuesta y a trabajar el concepto de cadena operativa. De esta forma planteó que la relación entre el individuo y la sociedad era un eje fundamental para estudiar cada etapa en el proceso de intervención de los materiales (Léroi-Gourhan 1971).

El concepto de cadena operativa según Léroi-Gourhan se encuentra centralmente en su enfoque sobre la tecnología prehistórica y la relación entre los gestos humanos y los objetos materiales. En su obra "Le geste et la parole" (1965), Léroi-Gourhan introduce el concepto de cadena operativa como una forma de describir cómo las técnicas se organizan en secuencias y se interrelacionan con

las estructuras sociales y culturales en las sociedades prehistóricas. Según Leroi-Gourhan (1965), una cadena operativa es una secuencia de acciones técnicas que involucra una serie de gestos y herramientas organizadas de manera estructural, similar a una "sintaxis" que confiere tanto fijeza como flexibilidad a las operaciones. Este concepto enfatiza que el proceso de fabricación o producción no es un simple conjunto de acciones individuales aisladas, sino que se configura como un proceso integral, donde cada acción está interconectada con las otras dentro de un sistema más amplio.

Leroi-Gourhan (1965), subraya que las cadenas operativas son tecnologías que no solo involucran la producción de artefactos, sino también las condiciones sociales y culturales en las que esas tecnologías se desarrollan. En su visión, las herramientas y los gestos técnicos no son meramente productos de la habilidad humana, sino que están profundamente influenciados por las estructuras sociales que las marcan. La cadena operativa, entonces, no solo es una descripción de cómo se produce un objeto, sino que proporciona también una visión de las relaciones entre los individuos, sus herramientas y los entornos socioculturales en los que interactúan.

Una de las características clave de la cadena operativa es que trasciende lo puramente técnico. Al integrar tanto los aspectos materiales como los sociales, permite comprender cómo los gestos y las decisiones de los individuos se inscriben dentro de un marco cultural y cómo las herramientas, más que simples medios de trabajo, son extensiones del cuerpo humano. Este enfoque destaca la idea de que el material cultural (como las herramientas) y los gestos técnicos se encuentran en un constante proceso de adaptación y modificación de acuerdo con las necesidades sociales y funcionales de cada sociedad, y no son debidas únicamente derivadas de la tecnología.

Posteriormente, también se adoptó como una herramienta analítica, especialmente desde un enfoque funcionalista (Binford, 1989). Según Lewis Binford (1989), el concepto de cadena operativa se refiere a un enfoque metodológico utilizado para estudiar los procesos tecnológicos a lo largo de su desarrollo, con el objetivo de comprender cómo los humanos, en diferentes contextos culturales, interactúan con los materiales para producir artefactos. Binford, aplica este concepto dentro de un enfoque arqueológico funcionalista, que se enfoca en la relación entre las herramientas y las necesidades sociales y económicas de las sociedades prehistóricas. Para él, las cadenas operativas son fundamentales para entender cómo las decisiones humanas están

interrelacionadas con los recursos disponibles y las estrategias adaptativas utilizadas por las sociedades.

Argumenta que la cadena operativa incluye todas las fases de la producción de un objeto, desde la extracción y procesamiento de los materiales hasta la fabricación, el uso y finalmente el descarte del artefacto. Este proceso involucra tanto gestos técnicos como decisiones sociales que determinan los métodos de producción y el tipo de herramientas utilizadas. Estas decisiones están profundamente influenciadas por las necesidades funcionales y las estructuras sociales de la comunidad. Según Binford (1989), “las decisiones tecnológicas no solo reflejan la eficiencia en el uso de los recursos, sino que también están vinculadas a las estructuras sociales y las estrategias de adaptación del grupo” (Binford 1989: 35).

En este sentido, la cadena operativa permite a los arqueólogos reconstruir no solo los procesos materiales de fabricación, sino también las dinámicas sociales que influyen en esas decisiones. Binford señala que “las cadenas operativas son un medio para analizar la relación entre las acciones individuales y las estructuras colectivas dentro de una sociedad” (Binford 1989: 45). Así, el análisis de las cadenas operativas no sólo revela las etapas tecnológicas, sino también las dinámicas sociales que las sustentan, como la organización del trabajo, la distribución de recursos y las relaciones de poder dentro de la comunidad.

Sin embargo, en los últimos tiempos, el concepto ha adquirido un mayor potencial interpretativo, especialmente en el ámbito de la Antropología de la Tecnología (Lemonnier, 1986, 1991; Gosselin, 1992), donde se ha profundizado en su capacidad para ofrecer interpretaciones más amplias y complejas. Luego, Jean-Pierre Lemonnier (1986) uno de los principales intérpretes de Mauss y Leroi-Gourhan, describe a la cadena operativa como una interacción de cinco elementos separados, es decir la materia, energía, objetos, gestos en secuencia y conocimiento. El concepto de cadena operativa según Lemonnier, se desarrolla dentro del marco de la Antropología de la Tecnología, en la que se hace un énfasis en cómo las acciones humanas se organizan para producir, utilizar y transformar los objetos materiales. Para Lemonnier (1991), la cadena operativa es una herramienta que permite entender las relaciones entre los gestos técnicos, los actores involucrados y los entornos sociales y culturales en los que esas acciones tienen lugar.

Lemonnier destaca que la cadena operativa no se limita únicamente a un análisis de las fases técnicas del proceso, sino que, al igual que en la concepción de Leroi-Gourhan, implica un enfoque holístico que incluye las interacciones sociales y las decisiones que guían cada fase del proceso. En su visión, la cadena operativa se configura como una secuencia de acciones y decisiones que están interconectadas y que forman una red compleja de relaciones entre los distintos actores sociales y sus respectivas condiciones de trabajo (Lemonnier 1991).

A diferencia de otros enfoques más estructuralistas, Lemonnier no ve la cadena operativa simplemente como una secuencia lineal de pasos, sino que la describe como un sistema dinámico y flexible que involucra tanto la gestualidad técnica como las relaciones sociales que informan esas acciones. Según Lemonnier (1991), “las técnicas y las decisiones sociales no están separadas, sino que constituyen un sistema dinámico en el que se articula el conocimiento técnico con las condiciones sociales en que se desarrollan” (Lemonnier 1991: 74).

Además, Lemonnier subraya la importancia de la variabilidad en las cadenas operativas, ya que estos no son procesos rígidos ni unificados, sino que pueden ser adaptados en función de los contextos específicos de las sociedades, sus necesidades y recursos. La flexibilidad de las cadenas operativas, según Lemonnier (1991), “permite a las sociedades adaptarse a nuevas circunstancias, modificando las técnicas y el uso de los materiales en función de cambios sociales y ambientales” (Lemonnier 1991: 83).

2.2. Componentes de la cadena operativa

La cadena operativa se compone de varios elementos esenciales que permiten analizar los procesos desde un enfoque técnico y social. El primer componente son las entradas o insumos, que incluyen los recursos, materiales y conocimientos necesarios para iniciar el proceso. Según Leroi-Gourhan (1993), estas entradas representan los elementos básicos que se transformarán a lo largo de la cadena mediante gestos y herramientas organizadas en una secuencia lógica. Estas entradas pueden abarcar materias primas, herramientas específicas o habilidades técnicas requeridas para obtener un producto final.

El segundo componente son los procesos, entendidos como las acciones técnicas o actividades realizadas sobre las entradas para convertirlas en resultados. Estas acciones están organizadas de manera secuencial y pueden ser interdependientes, dependiendo de las herramientas, técnicas y

habilidades disponibles. En palabras de Françoise Audouze (2002: 287), cada acción individual se inserta en una estructura más compleja, donde las interacciones entre las etapas son esenciales para garantizar la coherencia del proceso. Cada etapa del proceso implica decisiones clave que determinan el éxito o la eficiencia del resultado (Cresswell 2003;13).

Un tercer componente importante son las herramientas y técnicas empleadas en cada etapa del proceso. Las herramientas facilitan la ejecución de las tareas, mientras que las técnicas son los métodos utilizados para manipular tanto las herramientas como los materiales. Ambos aspectos son fundamentales para garantizar que las acciones sean efectivas y se logren los resultados esperados. Como señala Leroi-Gourhan (1993), las herramientas y los gestos técnicos se organizan dentro de una "sintaxis" que permite tanto flexibilidad como precisión en el proceso.

Los resultados o productos constituyen el siguiente componente. Estos pueden ser tanto tangibles, como objetos manufacturados, como intangibles, como conocimientos adquiridos o cambios en un sistema o contexto. Este componente permite evaluar el impacto y los logros obtenidos al término de la cadena operativa, constituyendo el objetivo principal del proceso (Cresswell 2003;14).

La retroalimentación es otro elemento esencial en la cadena operativa, ya que permite evaluar los resultados obtenidos y generar información para realizar ajustes y mejoras en futuras implementaciones. Este componente asegura la optimización del proceso y la corrección de posibles errores o ineficiencias. Según Cresswell (2003;13), la retroalimentación no solo se refiere a la evaluación técnica, sino también a la revisión de las decisiones sociales y técnicas que influyen en la cadena.

En enfoques contemporáneos, como el de Robert Cresswell (2003:14), se incluye la estructura social como un componente clave. Este aspecto se refiere a las dinámicas sociales y las decisiones tomadas por los agentes involucrados, las cuales influyen en las acciones realizadas dentro del proceso. La toma de decisiones, en este sentido, forma una "arquitectura de relaciones" que conecta a los participantes con las etapas de la cadena operativa y con el entorno en el que se desarrolla.

Finalmente, el contexto o entorno juega un papel crucial al influir en la ejecución de la cadena operativa. Factores externos, como el contexto social, político, económico y ambiental, condicionan la elección de las herramientas, las técnicas utilizadas y las decisiones tomadas

durante el proceso. Este componente aporta una perspectiva integral que vincula las acciones técnicas con las realidades sociales y culturales, como lo señala Audouze (2002: 287), quien resalta la importancia de situar las cadenas operadas.

En este estudio, se pretende analizar la cadena operativa de reducción de cobre (ver Figura 2), el proceso inicia con la extracción del mineral, que constituye la obtención de la materia prima a transformar. En un segundo paso, se procede al beneficiado de la mena, que implica la selección y trituración del mineral según sus características. El tercer paso consiste en el tostado, donde se somete el mineral a altas temperaturas en una atmósfera rica en oxígeno para alterar sus propiedades físicas y químicas. Luego, en la cuarta fase, se realiza la reducción primaria o procesamiento de la mena al introducir el mineral en un horno junto con carbón vegetal. Este paso tiene como objetivo eliminar impurezas, lo que permite continuar separando la mena de la ganga y lograr la separación del metal de la escoria. En ocasiones, cuando esta separación no es exitosa, se lleva a cabo una refinación de la materia, con el fin de obtener un lingote de cobre más puro y libre de impurezas. Finalmente, la última fase se refiere al manejo de los desechos o el abandono, que comprende la gestión de los residuos generados a lo largo de toda la actividad.

Figura 2 Cadena Operativa de la Reducción de cobre.

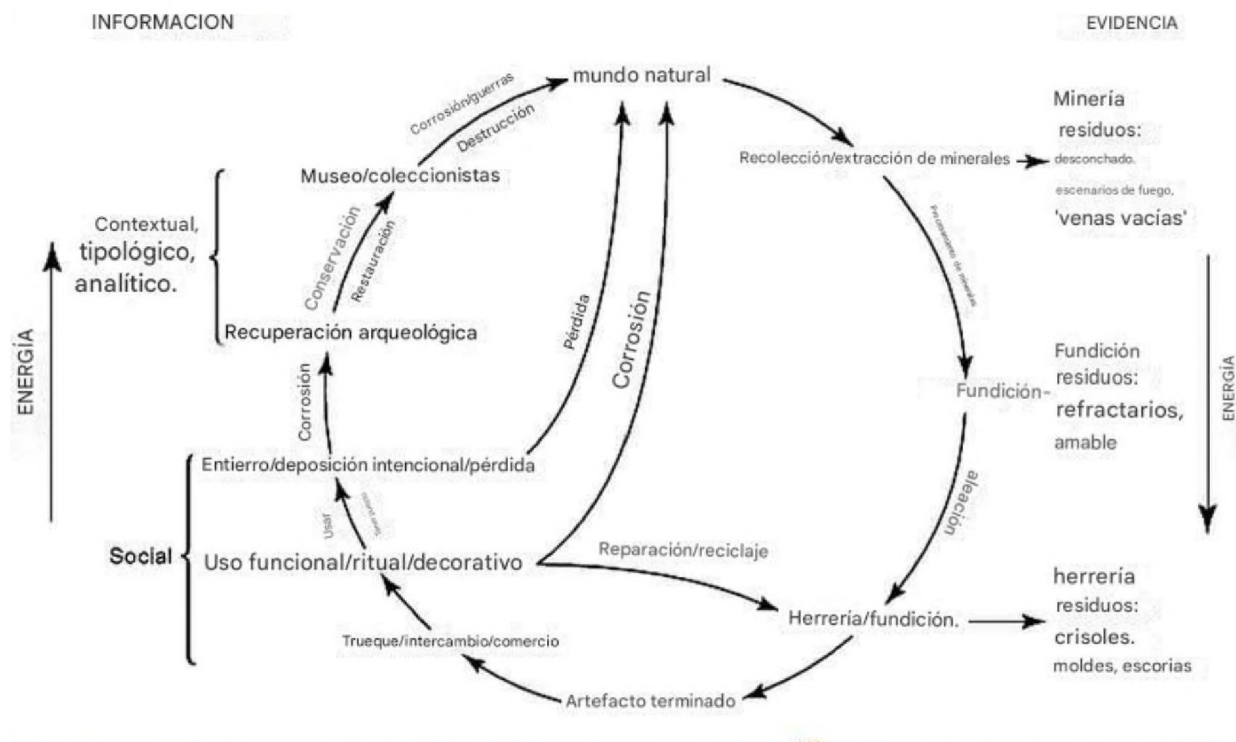


Fuente: Elaboración propia. Interpretación de la cadena operativa de Jicalán Viejo.

Cadena operativa

La Cadena operativa es un método teórico, particularmente adecuado para analizar los fenómenos técnicos y el proceso de transformación de la materia prima (Sellet 1993). De esta manera, el estudio y análisis de materiales arqueológicos, desde una perspectiva tecnológica, propone una diferenciación entre materias primas, técnicas y métodos de elaboración (Soressi y Geneste 2011). Este proceso se lleva a cabo mediante la caracterización de las piezas a partir de los atributos técnicos que resultan de su intervención, un ejemplo son las evidencias que deja el proceso de la reducción de minerales para obtener metales, en este caso las herramientas y desechos como la escoria permiten a los arqueólogos ver las tradiciones tecnológicas de sociedades.

Imagen 21 Cadena operativa



Fuente: Marco conceptual de la cadena operativa. Modelo teórico de la cadena operativa aplicado a la producción y el trabajo del cobre (según Ottaway 2001, fig. 1). Traducida al español.

Esta caracterización también se genera a través de la descripción de características morfológicas, atributos y definir un uso de cada objeto, con la finalidad de explicar los patrones de intervención durante el proceso de manufactura de diferentes materiales. Esta técnica también permite

identificar algunos comportamientos y decisiones tomadas por los artesanos al momento de la transformación de la materia prima (Larreina-García et al. 2017). Lo enriquecedor de esta disciplina, es que no solo implica el estudio del conocimiento y los procesos que realizaban los artesanos, sino que también posibilita el análisis de la conexión integral entre la mente, el cuerpo y el entorno social y material, lo cual ha permitido alejarse del determinismo tecnológico.

Otros autores que han retomado el concepto de *Chaine opératoire*, como Colin Renfrew (2008), mencionan sobre el uso de este modelo que “Estos procesos, y los residuos que de ellos se derivan, pueden dejar unas huellas en el registro material que, en teoría, permiten ser identificadas y recuperadas por la arqueología” (Renfrew 2008: 151). Así, se puede entender un modelo que estudia los procesos por los cuales las personas seleccionan, manipulan y transforman materias primas hasta convertirlas en productos culturales con una utilidad determinada. En esta misma línea, Marcos Martín-Torres (2002) menciona que, se comprende como el análisis y reconocimiento de cada etapa tecnológica de un objeto en relación con el medio ambiente, las tradiciones técnicas, sociales y culturales del grupo, que ofrece información sobre el individuo y la sociedad.

Cresswell (2003) amplía esta perspectiva al detallar que cada etapa de la cadena operativa incluye descriptores, elementos, acciones y resultados. Este autor subraya que la cadena operativa no debe limitarse al análisis descriptivo, sino que debe integrar los gestos técnicos y las estructuras sociales asociadas. Esto permite una comparación entre la realidad percibida y una realidad objetiva, logrando un enfoque más profundo y holístico (Cresswell 2003, p. 13).

3. CAPITULO 3

3.1. Marco Metodológico

De acuerdo con los objetivos planteados, esta investigación pretende estudiar y analizar las áreas de actividad en diferentes contextos del sitio arqueológico Jicalán Viejo, mediante el análisis de escorias de cobre recolectadas en superficie. En vinculación con el marco teórico, el marco metodológico de esta investigación se fundamenta en la Cadena Operativa (CAPITULO 2.), abordada desde su aspecto técnico, a través de un enfoque interdisciplinario que combina métodos arqueológicos, geoestadísticos y sistemas de información geográfica (SIG), combinando datos tanto cuantitativos como cualitativos. Desde el punto de vista cuantitativo, el análisis estadístico y el análisis espacial se realiza utilizando SIG en particular, el software ArcMap y el procesamiento de datos en hojas de cálculo Excel. Esta herramienta permite procesar y visualizar datos arqueológicos de manera precisa y detallada, facilitando la identificación de patrones y tendencias en la distribución de las escorias. Por otro lado, el enfoque cualitativo se fundamenta en una exhaustiva revisión documental que contextualiza y enriquece la interpretación de los datos cuantitativos, aportando una dimensión histórica y cultural a los hallazgos.

La investigación pretende responder a preguntas clave sobre la existencia de áreas especializadas para la reducción de cobre. Además, de acuerdo con los objetivos de esta investigación, se adopta un enfoque correlacional. Este tipo de investigación permite analizar y encontrar explicaciones mediante el estudio de relaciones entre variables. En este caso, se pretende establecer en el sitio arqueológico una relación entre la variabilidad tecnológica de las escorias de cobre con diferentes tareas de producción desarrolladas en áreas específicas. Esta correlación ayudará a entender cómo las diferentes etapas del proceso tecnológico de reducción se distribuyen espacialmente y qué implicaciones tienen para la organización social y económica de la comunidad estudiada.

3.2. Tipo de investigación: Importancia del estudio de las escorias.

Los estudios arqueológicos relacionados con la metalurgia se han centrado principalmente en describir el proceso de obtención de cobre a partir de la reducción de minerales, esto es abarcando todo el proceso desde la mena (mineral) hasta el lingote de cobre. En este proceso los restos o residuos de materiales que son evidencia del proceso de reducción denominadas escorias, son fuente de información arqueológica, puesto que son inherentes al proceso, no puede producirse la

reducción sin que se generen escorias (Bachmann 1982) además de contar con las ventajas de ser muy abundantes en volumen (normalmente se cuentan por varios centenares de kilos) y de preservarse mejor que otras evidencias, como pueden ser las estructuras de hornos, depósitos de materia prima (v.g. mineral, carbón), etc.

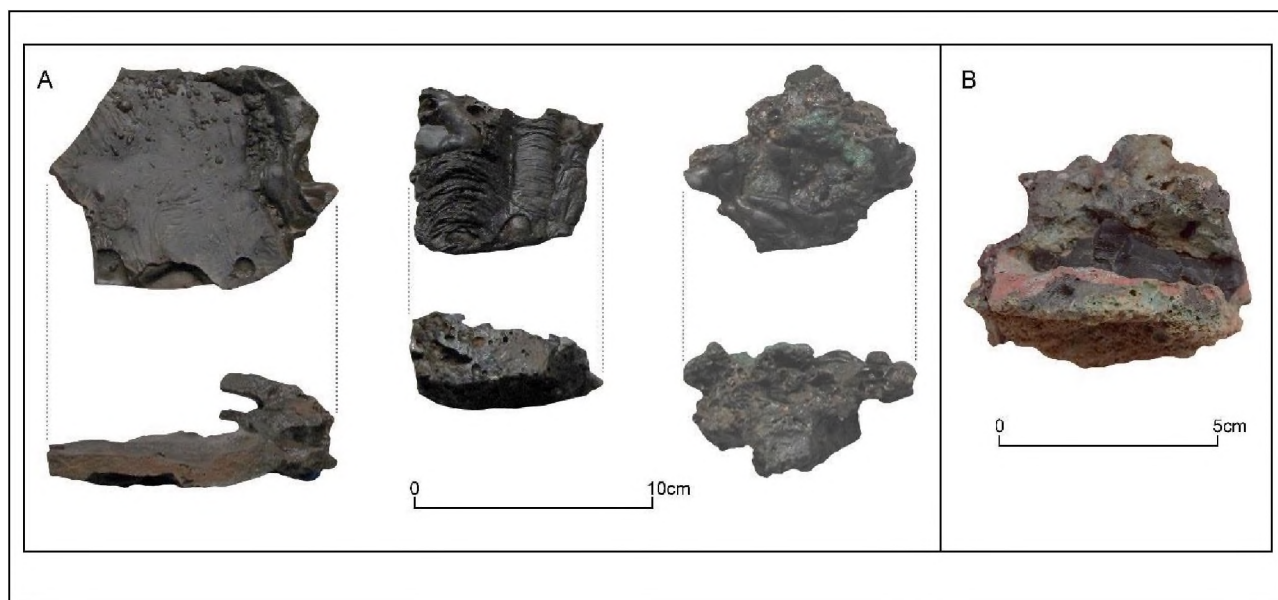
El estudio arqueológico de las escorias de cobre prehispánicas, pueden realizarse a través de diversas técnicas y metodologías: v.g. estudios geoquímicos, microscópicos, macroscópicos y mineralógicos, todos los cuales permiten obtener datos detallados sobre aspectos clave del proceso de producción de cobre, abarcando todo el proceso metalúrgico. Como señala Reitmaier-Naef (2019), estos estudios nos permiten recopilar información sobre la materia prima utilizada, la composición de la carga, la temperatura a la que se llevó a cabo el proceso, la atmósfera dentro del horno, el tipo de metal obtenido e incluso sobre la eficiencia, cuánto metal se reduce por cantidad de mena, etc.

Por ejemplo, el análisis mineralógico de las escorias nos brinda la posibilidad de identificar los minerales presentes en estas, lo que puede conectar con los posibles depósitos mineros de donde provienen. En la misma línea, el análisis químico nos proporciona la composición química de las escorias, lo que es fundamental para comprender la “receta” empleada por los metalúrgicos para generar escoria y separarla del metal; esto es, cuánta mena, carbón vegetal, posibles fundentes y aportaciones de las paredes de horno eran necesarias en cada ciclo de la reducción. Otras técnicas como la Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) en conjunto con análisis de fases (ED/XRF) examinan la estructura interna de las escorias para describir la microestructura y mineralogía, lo que facilita la comprensión de las condiciones de temperatura y presión en que se formaron (Addis et al. 2017: 985). En resumen, el estudio de la escoria es extremadamente informativo del proceso tecnológico que la generó, permitiendo reconstruir no solamente el proceso tecnológico en sí sino profundizar en aspectos económicos y sociales de la sociedad que lo llevó a cabo, v.g. organización y escala de la producción (Ottaway 1991).

Esta investigación, se centra específicamente en un aspecto menos tenido en cuenta en la arqueometalurgia, esto es el análisis tipológico y morfológico de las escorias y explorar una posible asociación morfológica con distribución espacial en el sitio de Jicalán Viejo, que puedan corresponder a diferentes etapas del proceso de reducción de cobre. El análisis morfológico de las escorias de reducción, dentro de los estudios arqueológicos, permiten obtener una aproximación

sobre el grado de viscosidad de las escorias; esto es, si estaban más cerca de una escoria líquida que separaba bien del metal o una escoria más pastosa o rocosa que atrapaba mucho metal. Así también, de acuerdo con las categorías establecidas, la forma de las escorias permite interpretar a la etapa a la que pertenecían. Otro beneficio adicional que puede aportar este tipo de estudio es identificar huellas de las herramientas utilizadas, puesto que en algunas escorias quedan impregnadas la forma de algunas pinzas y cerbatanas (Reitmaier-Naef 2019).

Imagen 22 Tipos de escoria



Fuente: Tipos de escorias y huellas. A) escorias planas B) escoria torta con huellas (Cruz et al. 2021) La muestra A-1 presenta una notable microporosidad en la parte superior derecha, lo que sugiere un proceso de enfriamiento rápido o una posible interacción con gases durante la fundición. Este patrón es relevante, ya que indica condiciones particulares en la metalurgia del sitio. Además, se observa una textura heterogénea con inclusiones dispersas, lo que puede estar relacionado con la variabilidad en la composición de la materia prima utilizada. La presencia de estructuras dendríticas en algunas áreas sugiere que el enfriamiento no fue uniforme, lo que podría aportar información sobre la tecnología empleada en la reducción del mineral.

3.3. Análisis tipológico y morfológico de escorias de cobre

El análisis morfológico es fundamental para diferenciar entre los distintos tipos de escorias, permite describir las características macroscópicas, es decir su forma, fluidez, color, inclusiones, entre otros. Dichos aspectos son esenciales en la caracterización, pues permiten diferenciar entre las diferentes etapas del proceso de reducción desarrolladas en un lugar específico, aportando datos sobre la organización interna de la metalurgia en Jicalán.

En los estudios implicados sobre este tema de manera general, por su forma se han establecido dos tipos de escorias(Imagen 23), la primera denominada torta de escoria, la cual en su cara inferior muestra mucha porosidad, su superficie presenta muchas irregularidades y protuberancias, así como signos de fluidez, también como un signo representativo posee un color metálico (Reitmaier-Naef 2019). Mientras que, la parte superior de esta es aplanada, con alta porosidad y viscosidad. Este tipo de escoria presenta numerosas inclusiones y grandes 10mm cavidades de las burbujas de gas. Por otra parte, otro tipo de escoria que se suele encontrar es la denominada escoria laminar, tiene forma de tableta, sus superficies son homogéneas pues tanto la parte superior como inferior son lisas, tiene burbujas de gas, no suelen presentar inclusiones y son evidentes los signos de fluidez en su estructura.

Escoria tipo torta



Escoria tipo laminar



Fuente: Elaboración propia. A) escoria tipo torta, color metálico. B) Escoria tipo laminar

Estudios similares a esta investigación se han realizado en diferentes partes del mundo, pues como ya se mencionó el análisis tipológico y morfológico sirve como primera base para los estudios sobre arqueometalurgia. Específicamente, esta tesis toma como fuente metodológica principal el análisis realizado por Leandra Reitmaier-Naef (2019) sobre escorias de cobre reducido a partir de menas sulfídicas durante el Bronce Final Europeo en Oberalhalbstein (Suiza), en donde a través de este método se obtuvo una diferenciación entre tres tipos de escorias: escoria de torta, escoria laminar y escoria masiva. Para su categorización y análisis en este estudio se tomaron en cuenta indicadores como el peso, la superficie y forma de las escorias.

Este estudio demuestra que un análisis morfológico contribuye ampliamente a diferenciar etapas dentro de un mismo proceso tecnológico y a identificar posibles áreas de actividad que se establecen en un área determinada. Así, por ejemplo, los resultados determinan que las escorias de torta se formaron y enfriaron dentro de un horno de fundición y estas no se retiraron hasta que finalizó el proceso. Sin embargo, las huellas de herramientas encontradas en otros dos tipos sugieren que fueron levantadas cuando estaban parcialmente solidificados, lo que sugiere un paso diferente del mismo proceso de reducción (Reitmaier-Naef 2019).

En el estudio de escorias de cobre extraído de menas sulfídicas en Lucerna (Italia) (Addis et al, 2016) a diferencia del ejemplo anterior, utiliza un análisis morfológico preliminar antes de proceder a los análisis de laboratorio. Identifica tres tipos principales de escorias: planas, gruesas y masivas. Los resultados del estudio indican que los diferentes tipos de escorias son consecuencia de las velocidades de enfriamiento. En el primer paso del proceso, conocido como tostado, los minerales se calientan con el objetivo de producir la mata. Posteriormente, este mineral se calienta a temperaturas superiores a 1200°C en un horno, lo cual da lugar a la formación de escorias gruesas. La caracterización de las escorias masivas revela una mayor fluidez en su estructura, indicativa de un segundo paso del proceso metalúrgico. Por otro lado, las escorias planas son el resultado de una separación eficiente entre la escoria, la mata y el cobre, se consideran parte de un tercer paso del proceso (Addis et al. 2016).

La importancia de este estudio radica en que, a través del análisis morfológico, se muestra una distribución espacial de las escorias, lo que refleja la ubicación y la naturaleza de las actividades metalúrgicas. Además, el estudio destaca la relevancia del análisis morfológico al señalar que, a pesar de los esfuerzos analíticos, persiste la ambigüedad en la reconstrucción del proceso de

reducción, con algunos autores favoreciendo un proceso de un solo paso y otros un proceso de múltiples pasos. Esta ambigüedad resalta la necesidad de una combinación de estudios morfológicos y analíticos detallados para desarrollar una comprensión más precisa de los procesos metalúrgicos prehistóricos

3.3.1. Terminología

Un elemento a tener en cuenta es la terminología, pues aún no se ha establecido una terminología unificada referida a un tipo específico de escoria, en cada estudio se han denominado de acuerdo con su criterio y características. A continuación, se presenta una tabla (Tabla 2) que ilustra la terminología empleada para clasificar los tipos de escoria. Se pone especial énfasis en dos categorías principales: la primera es la escoria gruesa, porosa y heterogénea, y la segunda es la escoria laminada, fina y homogénea. Así, la escoria de tipo torta ha sido denominada escoria gruesa, globular, grumosa e irregular, resaltando su aspecto morfológico. Asimismo, se la ha denominado escoria de combustión, haciendo referencia a la fase del proceso metalúrgico en la que se origina. De manera similar sucede con la escoria laminar, ha sido nombrada placa, fina y plana según su apariencia morfológica y se atribuye tanto a la fase de reducción como a la de refinado.

Adicionalmente, se incluye una columna que recoge otros tipos de escorias identificadas en diversos estudios.

Tabla 2 Clasificación de escorias de cobre extraído de menas sulfídicas.

<i>Sitio</i>	<i>Escoria gruesa, porosa y heterogénea</i>	<i>Escoria laminada, fina y homogénea</i>	<i>Particularidades</i>	<i>Referencia</i>
Oberalbsstein, Suiza	Torta	Placa	Masiva	(Reitmaier-naef 2019)
Transacqua y Segonzano, Trentino, Italia	Gruesa	Plana	Masiva	(Addis et al. 2017)
Jicalán Viejo, México	Globular	Laminar	Mixta- flujo	(Sánchez 2021)
Ramaditas, Quebrada de Guatacondo, Provincia de Iquique, Chile		De fundición		(Graffam et al. 1995)
Itziparátzico, México	Grumosa	Laminar		(Maldonado 2018)
Ampurias, España	Irregular			(Renzi et al 2008)
La puna de Jujuy, Argentina	De combustión	De fundición	Desechos metálicos	(Angiorama et al. 2015)

Fuente: Elaboración propia

La terminología empleada en este estudio responde a la necesidad de establecer una clasificación clara y funcional de las escorias halladas en Jicalán Viejo, basada en sus características físicas y en la revisión de literatura especializada. Dado que la nomenclatura en el estudio de la metalurgia no es completamente uniforme, se ha optado por emplear términos descriptivos que permitan diferenciar las variantes identificadas en el contexto arqueológico analizado.

En este sentido, se utiliza el término "Torta" para referirse a las escorias de textura heterogénea, estructura gruesa y superficie porosa. Esta denominación se fundamenta en la morfología particular de estos residuos y en su similitud con desechos metalúrgicos documentados en otras investigaciones. Además, el término resulta útil para su identificación en campo y facilita la comparación con materiales previamente estudiados en diferentes contextos.

Por otro lado, se establece la categoría "escorias laminares" para describir aquellas escorias que presentan una estructura fina y homogénea, con una morfología que recuerda a una lámina. Esta clasificación no solo obedece a criterios descriptivos, sino que también permite establecer

relaciones con otros estudios sobre escorias metalúrgicas, en los cuales se han identificado residuos con características similares.

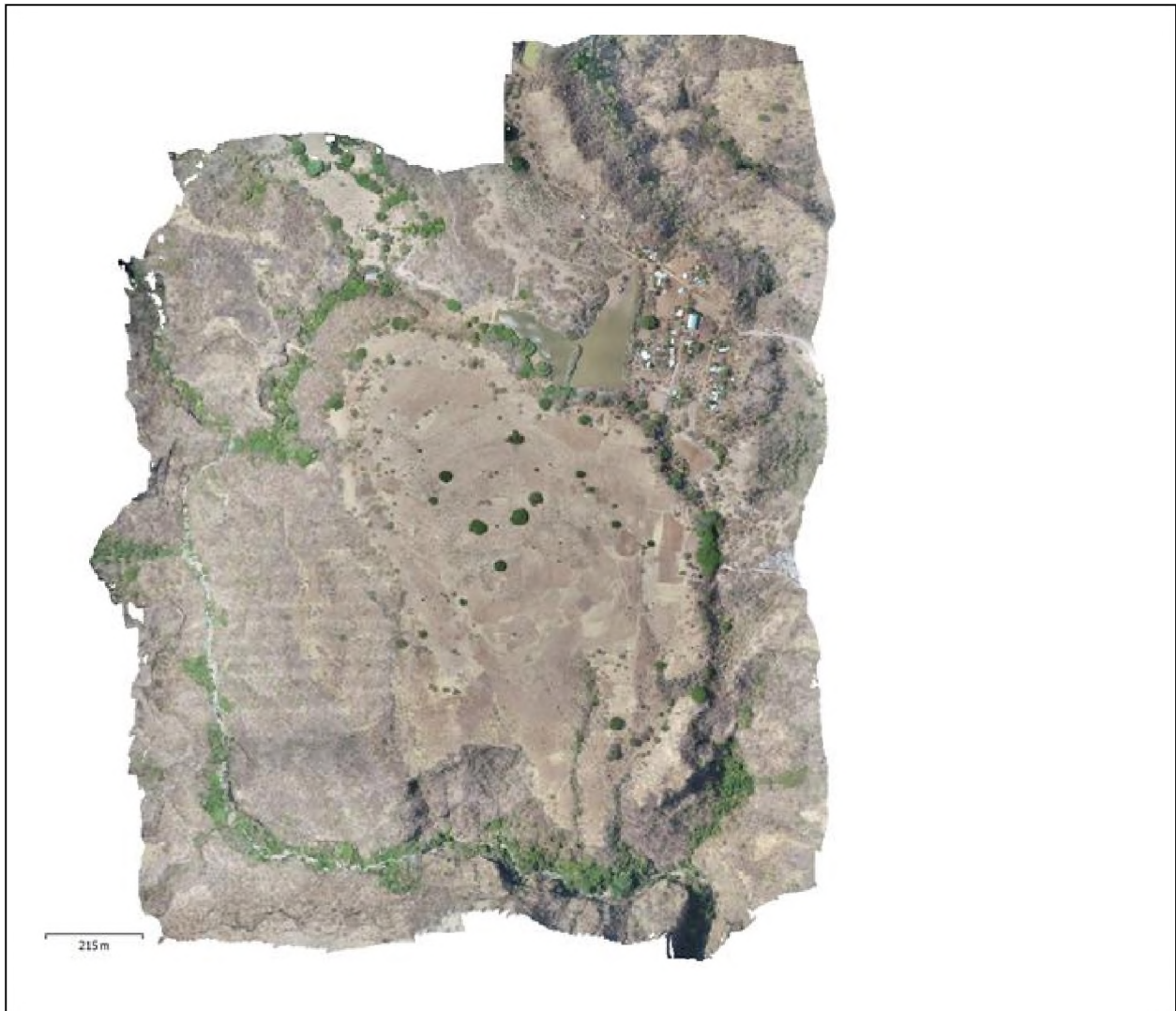
3.4. Toma de muestras en campo

La presente investigación se centra en el análisis de las muestras de escorias recolectadas durante el año 2022, en el marco de la primera fase del proyecto "Preindustrial Mining and Metallurgy in Mexico: Research on Copper Smelting in Michoacán". Durante esta actividad, se lograron recolectar un total de 2.523 muestras de escoria, distribuidas en 10 contextos diferentes. Es necesario mencionar que antes de la recolección de estas muestras se realizaron varios estudios preliminares, los cuales se describen a continuación.

- Mapeo del Complejo Arqueológico de Jicalán Viejo

En el año 2021, se llevó a cabo el mapeo del complejo arqueológico de Jicalán Viejo con el objetivo de elaborar una cartografía base de alta resolución del sitio. Este proceso comenzó con un levantamiento fotogramétrico con dron, generando una nube de puntos a partir de la alineación de fotografías aéreas. El resultado fue un Modelo Digital del Terreno (MDT), que permitió apreciar los detalles del terreno con alta resolución. A partir de este MDT, se desarrolló un Modelo Digital de Superficie, que incluye las alturas y la morfología de la vegetación y edificaciones. Además, se generó una ortofoto que facilita la identificación de objetos sobre el terreno con un diámetro mínimo de 5 cm. Finalmente, se obtuvo un Mapa Base combinando el MDT con modelos de sombreados y superposición de curvas de nivel (Maldonado, 2023).

Imagen 24 Ortofoto de Jicalán Viejo

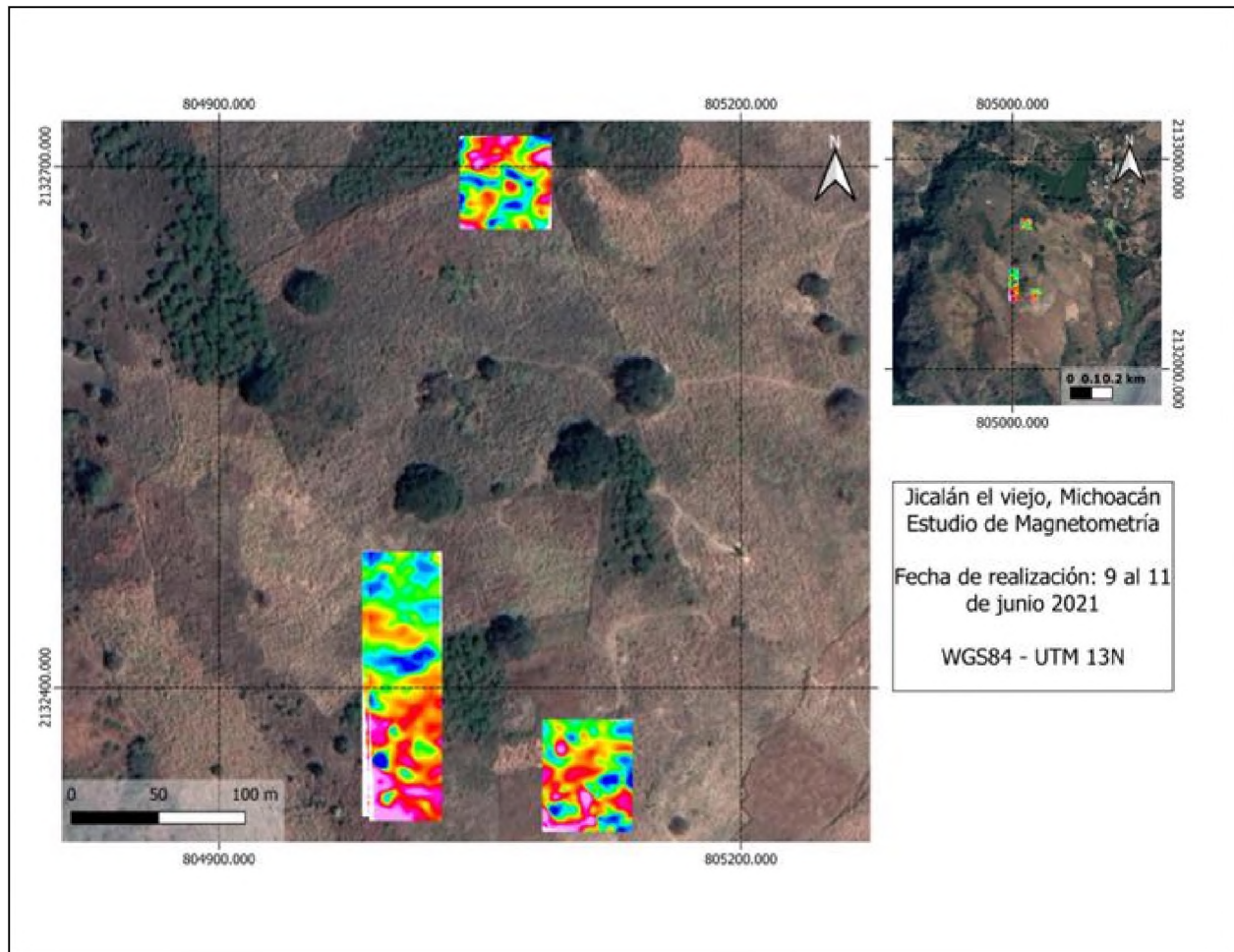


Fuente: (Corona y Retiz 2021) Imagen de la ortofoto de Jicalán Viejo.

- Prospección Geofísica del Complejo Arqueológico

En el mismo año, se llevó a cabo una prospección geofísica con el objetivo de localizar, mediante anomalías magnéticas en gradiente vertical, sitios de interés para estudios posteriores en Jicalán Viejo. Se utilizó la técnica de resistividad eléctrica para detectar anomalías magnéticas y rasgos estructurales asociados a actividades antrópicas, complementada por un levantamiento magnetométrico en tres áreas del sitio (Maldonado, 2023).

Imagen 25 Levantamiento Magnometrico



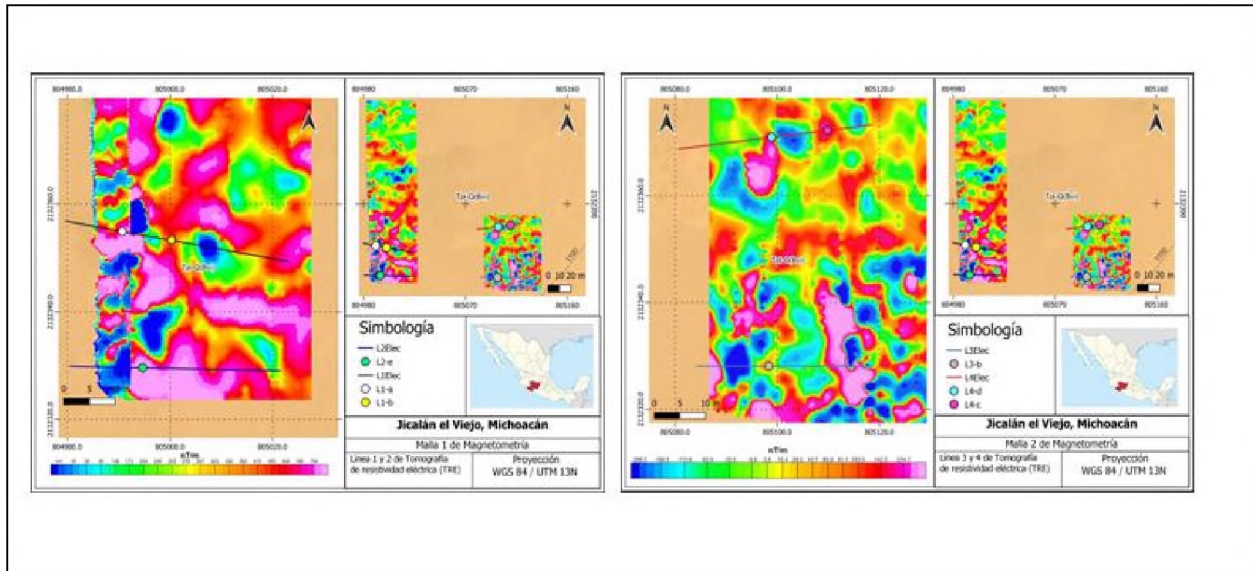
Fuente: Localización de las tres áreas del levantamiento magnetométrico en el sitio arqueológico de Jicalán Viejo. (Corona y Retiz 2021)

- Estudios de Magnetometría, Tomografía de Resistividad Eléctrica y Polarización Inducida

En el año 2022, se realizaron estudios de magnetometría, tomografía de resistividad eléctrica y polarización inducida para estimar la ubicación de estructuras en el área de estudio. Aunque la vegetación densa dificultó el cubrimiento total del área proyectada, se trabajó en áreas con registros de concentraciones de escoria. Los resultados de estos estudios revelaron rasgos arqueológicos importantes, incluyendo alineamientos de estructuras que sugieren la presencia de un recinto orientado norte-sur y este-oeste, con dimensiones aproximadas de 20 m por 15 m. También se

identificaron elementos con alto gradiente de magnetización, que coinciden con la posible ubicación de un horno prehispánico (Maldonado, 2023).

Imagen 26 Levantamiento Magnometrico



Fuente: Mallas 1 y 2 de magnetometría utilizando la técnica de gradiente vertical (GV), mostrando los 4 perfiles o líneas de TRE y PI. (Maldonado et al 2023) Los datos obtenidos a través de la magnetometría se presentan en un mapa de gradientes de intensidad magnética, donde los distintos colores representan variaciones en la susceptibilidad magnética del subsuelo. En este mapa, las áreas en tonos azules indican valores bajos de magnetismo, lo que sugiere la presencia de suelos sin alteraciones térmicas significativas. En contraste, los tonos rojos y naranjas representan zonas con alta susceptibilidad magnética, lo que puede estar asociado a procesos de combustión o acumulación de residuos metalúrgicos

- Recolección de las escorias en superficie

La recolección de muestras en superficie en el sitio de Jicalán Viejo se realizó del 11 al 13 de abril de 2022, este levantamiento se realizó en concordancia con los datos obtenidos del Mapa Base, el levantamiento magnetométrico y la prospección previa realizada en el año 2003. Durante esta actividad, participaron cinco investigadores: la Dra. Blanca Estela Maldonado Álvarez, directora del proyecto; el Dr. David Larreina García del equipo de arqueología del Museo de la Minería del País Vasco; Mario Rétiz, colaborador del COLMICH; Berenice Pedraza, estudiante de la ENAH; y Andrés Sánchez, egresado del COLMICH (Sánchez 2023). Es importante señalar que no participé en esta fase del estudio. La información presentada aquí ha sido retomada de investigaciones previas y se utilizará como base para mis análisis posteriores.

Para el levantamiento de muestras se abarcó un área de 1.6 km², correspondiente a la totalidad del sitio registrado. Sin embargo, no se realizó una recolección total de muestras en superficie, se estableció un método adecuado para la recolección de escorias y otros materiales. Primero se dividió el sitio en 10 contextos, basándose en las evidencias, concentraciones y análisis previos. El método para recuperar la evidencia arqueológica consistió en trazar líneas rectas en cada contexto, separados cada uno de una distancia oportuna, recogiendo la escoria que se encontrara mientras se realizaba el recorrido (*ídem*).

Los contextos descritos a continuación provienen de la tesis de maestría defendida por Andrés Sánchez en el año 2023. Estos contextos han sido denominados en relación con las características distintivas que los identifican y se detallan a continuación:

Imagen 27 Ubicación de Contextos del sitio



Fuente: Imagen de mapa de concentraciones y estructuras identificadas en el sitio Jicalán Viejo
(Sánchez 2023)

- Contexto 1-Transecto:

El contexto, denominado "Transecto", se ubica al sureste del sitio, en la parte más alta, aproximadamente a 450 metros en línea recta del caserío de Jicalán Viejo, colinda al oeste con un gran montículo de aproximadamente 22 mts. x 25 mts. x 5 mts. de altura. El área aproximada de este contexto es de 9,100 m² y se caracteriza por presentar dos tipos de superficie: una zona llana en el centro-norte, actualmente utilizada para el cultivo de maíz, y una zona sur con pendiente, esta se encuentra cercada con alambre de púas y actualmente está destinada al pastoreo de ganado.

En este contexto se trazaron 5 líneas de recolección con dirección norte-sur, cada una de estas líneas estuvo separada a una distancia de 3,8 m. Se observó que la concentración de escorias disminuye a medida que uno se aleja del montículo en cualquier dirección. Esto se confirmó al contabilizar las escorias recolectadas: las primeras dos bolsas, ubicadas más cerca del montículo, contenían un total de 104 escorias, mientras que las dos bolsas de los transectos más al este contenían un total de 50 escorias. Además, se encontraron nueve fragmentos de cerámica adherida a escorias, lo que sugiere la presencia de hornos y/o crisoles. Asimismo, se hallaron materiales líticos y cerámicos en una proporción significativa, los cuales fueron registrados y fotografiados antes de ser depositados nuevamente en el lugar donde fueron encontrados.

- Contexto 2: Concentración

Este contexto se caracteriza por ser pequeño, pues el área abarca aproximadamente 10 m², aquí se visualiza una gran concentración de escoria con 241 escorias recolectadas en total. También se encontraron fragmentos de cerámica con diferentes características: una se encuentra adornada con pequeños agujeros, otra estaba decorada de color naranja, otras tienen evidencia de quemado y otra tiene evidencia de escoria pegada, aunque no se ha determinado si se trata de un crisol. Asimismo, se observaron algunos pedazos de navajillas prismáticas de obsidiana.

- Contexto 3: concentración I

Este contexto está ubicado a pocos metros al oeste del contexto de Concentración y al sureste del montículo. El tamaño de esta área es de aproximadamente 10 m², y es donde mayor concentración de escoria se identificó. Además, se visualizó que en esa área había un cambio de textura en lo

profundo del suelo arado, ya que cambiaba a una textura compacta y dura, la cual tenía un área aproximada de 1.5 m².

- Contexto 4: Contexto de Concentración II

El contexto se encuentra ubicado en la parte suroeste del sitio, aproximadamente a 70 metros en línea recta desde el montículo. Cubre un área de aproximadamente 340 m², limitando hacia el sur y el oeste con terrenos en declive. Para facilitar la ubicación en el sitio, se destaca la presencia de un gran árbol de la especie de las parotas y un poste de cableado contemporáneo hacia el norte. Este contexto se caracteriza por una alta concentración de escorias, la cual es claramente marcada, ya que las escorias desaparecen abruptamente al salir de la zona, que tiene una dimensión aproximada de 20 metros de diámetro. Además de las escorias, se encontraron navajillas prismáticas, que no fueron recolectadas sino registradas y fotografiadas.

- Contexto 5: Montículo Pequeño

Este contexto se ubica al sur del contexto denominado Concentración II que colinda con pendientes inclinadas, al oeste se ubica un montículo pequeño que cubre una superficie aproximada de 2,24 m², lugar del que fueron recolectadas las escorias y un fragmento de mineral de color verdeazulado. En esta zona se perciben fuertes corrientes de aire, sin embargo, no mostraron una corriente continua sino más bien intermitente.

- Contexto 6 Colección Colonial Concentración I, II y III

En esta prospección fueron reconocidas tres concentraciones, de aproximadamente 10 m² cada una, las cuales fueron descritas en las prospecciones realizadas en el año 2003. Esta zona se consideró dentro del área colonial del sitio debido a la cercanía con la iglesia y su atrio que se sitúa en el centro del asentamiento. Además, fueron identificados otros materiales como fragmentos de cerámica quemados, soportes de cerámica, piedras pómez, trozos de navajillas prismática, lascas de obsidiana y una piedra redondeada y plana.

- Contexto 7: Periferia-Camino

Este contexto, es un trayecto o camino que va desde el contexto denominado concentración Parota hasta la puerta de alambre que da el acceso a la zona de Transectos. Esta área tiene una extensión

aproximada de 325 m², las cuales fueron recorridas para la recolección de escorias, la cuales estaban esparcidas en todo el camino, aquí no se observaron aglomeraciones.

- Contexto 8: Noroeste del Montículo

Este contexto se encuentra al noroeste del montículo y suroeste de la iglesia y del atrio, es una zona que se encuentra cercada con un alambrado, tiene un área aproximada de 1,485 m². Durante la recolección se identificó una pequeña área con mucha escoria, ubicada al centro de esta zona. Además, se identificaron artefactos líticos redondos, cilíndricos y otras con superficie lisa y plana. También se pudo observar materiales cerámicos en los que se pueden ver evidencia de uso de fuego, otras se caracterizan por ser muy porosas y otras son cóncavas convexas. Por último, se observaron también fragmentos de navajillas de obsidiana.

- Contexto 9: Ladera Laguna I

Este contexto se ubica en la parte noreste de la meseta, el terreno se caracteriza por una pendiente desde la cual se puede ver una laguna hacia el norte, y está atravesado por un camino contemporáneo que desciende hacia el poblado actual. Esta zona de concentración es la más visible de todo el sitio, ya que presenta una gran cantidad de desechos de reducción en un área de aproximadamente 64 m² (9 metros de diámetro). Es notable el cambio de color del terreno, de tonos pardos a un grisáceo. El contexto de la Ladera Laguna I se distingue por la presencia de escorias de considerable grosor y tamaño, aparentemente los ejemplares mejor conservados. A pesar de esto, los fragmentos están dispersos, siendo el mayor una torta de escoria (cake) con dimensiones superiores a 6 cm de diámetro y más de 2 cm de grosor, que contiene inclusiones de lo que parece ser cuarzo.

- Ladera Laguna II

Este contexto se encuentra ubicado al oeste del contexto de Ladera Laguna I y al noreste de los contextos de Concentración Colonial I, II y III. Para este contexto, se abarcó un área de aproximadamente 2,886 m² debido a la escasa presencia de escoria. En este contexto se recuperó un fragmento de un posible mineral de cobre de color verdeazulado y un trozo de cerámica con incrustación de escoria, sugiriendo ser una pared de horno. Además, se encontró una cantidad

reducida de escoria. Cabe destacar que en este contexto también se distinguieron otras evidencias arqueológicas, en concreto un petrograbado.

- **Contexto 10: Concentración Parota**

Este contexto denominado Concentración Parota, se encuentra colindando al oeste con el atrio de la iglesia colonial y un poste de cableado contemporáneo, y al suroeste con el contexto de Periferia-Camino. En este sitio se trazó un área de 846 m² en donde fueron recolectadas las escorias, se pudo observar que la mayor cantidad de escoria se ubicó en la parte sureste de la parota, y a medida que se avanzaba en otras direcciones, la cantidad de material disminuye.

Tabla 3 Tabla de conteo total de escorias

<i>Contexto</i>	<i># Bolsa</i>	<i>Total, conteo por bolsa</i>	<i>total</i>
1	1	23	163
	2	29	
	3	24	
	4	28	
	5	59	
2	6	162	241
	7	50	
	8	29	
3	9	28	113
	10	50	
	11	35	
4	12	132	246
	13	44	
	14	70	
5	15	104	104
6	16	87	334
	17	98	
	18	85	
	19	64	
7	20	17	17
8	21	27	27
9	22	81	214
	23	6	
	24	95	
	25	25	
	26	7	
10	27	306	483

	28	177	
Total		1942	1942

Fuente: Elaboración propia

3.4.1. Selección de las muestras para la investigación

En esta investigación se emplearon dos tipos de selección de muestras para el análisis de las escorias recolectadas. El primer enfoque consistió en un muestreo exhaustivo, donde se estudió el 100%, es decir el total de 1942 escorias. Este método permitió establecer una distinción morfológica completa de todas las escorias, en esta etapa todas las muestras fueron clasificadas en un tipo determinado según sus características. Esta etapa inicial de análisis morfológico proporcionó una base detallada para la comprensión de la distribución y variabilidad de las escorias en el sitio.

Para el primer análisis, en el cual se examinó el 100% de las escorias recolectadas en los 10 contextos, se establecieron indicadores clave de peso y cantidad para cada bolsa de escorias previamente clasificadas de acuerdo con su tipo, entre escorias de torta, laminares y mixtas. Primero, se registró la información en la cantidad, en este paso se contabilizó el número total de escorias, luego se procedió al registro del peso de cada bolsa en kilogramos. De esta manera, se obtuvo tanto el peso total como el número total de escorias para cada bolsa de acuerdo con su tipo, permitiendo la clasificación de las muestras recolectadas.

De esta manera se construyó una base de datos, utilizando una hoja de cálculo de Excel. La estructura de esta tabla se establece de la siguiente manera:

La tabla presenta los datos de escorias recolectadas en diversas bolsas, con la siguiente clasificación: "Mixtas", "Laminar" y "Tortas". Para cada contexto, se registran las cantidades (conteo) y los pesos correspondientes de cada tipo de escoria. En la columna "Mixtas" se detallan las cantidades y pesos de las escorias mixtas, en la columna "Laminar" se indican las escorias laminares, y en la columna "Tortas", las escorias correspondientes a este tipo.

Cada bolsa tiene un número de piezas, junto con su peso total en kilogramos para cada tipo de escoria. Por ejemplo, en la Bolsa 1, se encuentran 9 piezas de escorias mixtas con un peso de 0,09 kg, 14 piezas de escorias laminares con un peso de 0,59 kg, y 23 piezas de tortas con un peso de

0,68 kg. A lo largo de la tabla, se observa que las cantidades y pesos varían considerablemente entre las distintas bolsas, con algunas como la Bolsa 5, que presentan una gran cantidad de escorias, en particular tortas, con un peso de 10,116 kg.

Al final de la tabla, se encuentra el total de escorias para cada tipo, así como el conteo y el peso totales de todas las bolsas, sumando un total de 1,942 piezas y un peso total de 373,186 kg.

Tabla 4 Tabla de registro de muestras según peso y número

Contexto	Bolsa	Conteo						Total, Conteo	Total, Peso Kg
		Mixtas	Peso Mixtas	Laminaras	Peso Kg	Tortas	Peso Kg		
1	1	0	0	9	0,09	14	0,59	23	0,68
	2	0	0	18	0,185	11	0,224	29	0,409
	3	0	0	8	0,08	16	0,38	24	0,46
	4	0	0	18	0,248	10	0,26	28	0,508
	5	0	0	20	0,8156	39	0,196	59	10,116
2	6	0	0	135	1,538	27	0,68	162	2,218
	7	0	0	39	0,41	11	0,36	50	0,77
	8	0	0	21	0,215	8	0,241	29	0,456
3	9	0	0	21	0,217	7	0,15	28	0,367
	10	0	0	43	0,624	7	0,125	50	0,749
	11	22	0,267	8	0,034	5	0,216	35	0,517
4	12	64	1,18	3	0,01	65	2,483	132	3,673
	13	23	0,455	0	0	21	1,267	44	1,722
	14	22	0,253	0	0	48	1,77	70	2,023
5	15	14	0,185	10	0,056	80	1,711	104	1,952
6	16	9	0,217	48	0,357	30	0,611	87	1,185
	17			73	0,476	25	0,332	98	0,808
	18	21	0,342	22	0,24	42	1,459	85	2,041
	19	22	0,308	21	0,165	21	0,514	64	0,987
7	20	6	0,057	0	0	11	0,138	17	0,195
8	21	0	0	6	0,028	21	0,648	27	0,676
9	22	45	1,545	0	0	36	1,679	81	3,224
	23	0	0	0	0	6	0,252	6	0,252
	24	32	0,969	0	0	63	2,591	95	3,56
	25	15	0,349	0	0	10	0,608	25	0,957
	26	0	0	6	0,05	1	0,018	7	0,068
10	27	92	1,372	130	0,882	84	1,9	306	4,154
	28	75	0,6	53	0,294	49	0,802	177	1,696
Total								1942	34,004

Fuente: Elaboración propia

En un segundo paso se realizó una selección de muestras de estudio. Este muestreo se realizó eligiendo escorias que presentaran características diagnósticas o particularidades específicas como marcas en superficie, tonos diferentes de color, lo que permitió un examen más profundo de sus características morfológicas. En este método, se excluyeron las escorias que medían menos de 2 cm, también aquellas que no mostraban particularidades destacables y las que tenían características similares a las ya registradas. El muestreo intencionado abarcó aproximadamente el 30% del total de las escorias recolectadas.

Tabla 5 Porcentaje y cantidad de escorias analizadas

Contexto	Bolsa	Analizadas Mixtas	Analizadas De Laminas	Analizadas De Tortas	Total, De Analizadas	% De Análisis Del Total Por Cada Bolsa
1	1		3	4	7	30
	2		4	4	8	28
	3		3	6	9	38
	4		6	5	11	39
	5		6	6	12	20
2	6		9	5	14	9
	7		6	5	11	22
	8		6	5	11	38
3	9	7		3	10	36
	10		9	3	12	24
	11	5	2	3	10	29
4	12	9	3	8	20	15
	13	6		5	11	25
	14	5		8	13	19
5	15	4	2	7	13	13
6	16	5	4	5	14	16
	17		6	4	10	10
	18	4	4	6	14	16
	19	4	4	5	13	20
7	20	4		5	9	53
8	21		2	5	7	26
9	22	6		6	12	15
	23			3	3	50
	24	7		7	14	15
	25	4		4	8	32

	26		3	1	4	57
10	27	6	7	8	21	7
	28	8	6	5	19	11
Total					320	16

Fuente: Elaboración Propia

Se registraron los datos en una hoja de cálculo de Excel, las escorias seleccionadas durante el muestreo intencional. Para esto, se establecieron categorías de análisis o indicadores que fueron las siguientes:

- **Ubicación de contexto y bolsa:** Primero, se ubicaron las escorias en el contexto que fue recolectado y en la bolsa donde fueron asignadas. Cada escoria fue asignada a un código único que permite una identificación precisa. Este código facilita la trazabilidad y asegura que cada muestra pueda ser referenciada de manera exacta en futuros análisis.
- **Tipo de escoria:** Se registró el tipo de escoria analizada. Las categorías incluyeron torta, laminar o mixta. Así, a la escoria de tipo torta pudo ser identificada por ser gruesa, porosa, la mayoría de estas tiene grandes inclusiones de cuarzo visibles en sus superficies y fracturas. Mientras que, la escoria laminar se caracteriza por tener signos de fluidez, delgada, con superficies lisas. Por último, las escorias mixtas combinan características de ambas; muestran zonas de fluidez y áreas porosas, lo que refleja una variabilidad en su formación y en el proceso de enfriamiento durante la fundición.
- **Forma:** Aquí se describió la forma de cada escoria, categorizándolas como tabletas (planas y regulares) o amorfas (irregulares). Este registro ayuda a identificar patrones en la morfología de las escorias y su proceso de formación.
- **Huellas:** Se anotó si las escorias presentaban huellas de herramientas u otros elementos en su superficie, en el caso de existir, se procedió a medir y describir estas marcas para entender mejor el uso y tratamiento de las escorias.
- **Porosidad:** La porosidad de las escorias se evaluó y se clasificó en tres rangos: alto, medio y bajo. Este análisis permite inferir aspectos relacionados con las condiciones de formación y enfriamiento de las escorias.

- **Magnetismo:** Utilizando un imán, se midió la respuesta magnética de las escorias, clasificándose como alta, media o baja. Esta clasificación se basó en la fuerza de atracción del imán: si el imán se adhería de inmediato, se considera alta; si la atracción era moderada, media; y si era débil, baja.
- **Fractura:** Se registró si las escorias estaban completas o fragmentadas. Este indicador es importante para entender el estado de preservación de las muestras.
- **Diámetro:** En las escorias de tipo borde, se calculó el posible diámetro de un ejemplar completo. Este dato es crucial para estimar el tamaño de los contenedores o hornos en los que se realizó el proceso de reducción del mineral.
- **Color:** Se registró el color de cada escoria, en el supuesto de que pudieran existir patrones o vínculo entre el tipo de escoria y su color.
- **Inclusiones:** Se documentó si las escorias tienen inclusiones, registrándose como sí o no. Las inclusiones pueden proporcionar información sobre los materiales presentes durante la formación de las escorias.
- **Observaciones:** Se incluyó un campo de observaciones para anotar cualquier particularidad que no estuviera cubierta por los demás indicadores.

Tabla 6 Tabla de registro de escorias analizadas

Análisis de escorias Jicalán Viejo													
Contex.	Balsa	Código	Tipo	Forma	Superfi.	Descrip.	Tamaño (Cm)	Grosor Cm	Porosidad	Magnetismo	Diámetro	Color	Inclusiones
1		PJ003T1	Torta	Tableta	Irregular	Diagnostico	6 X 4	1	Media	Baja		Gris	Si
		PJ004T1	Laminar	Tableta	Lisa	Diagnostico	3x 2,5	0,4	Baja	Baja		Gris- Rojo	Si
		PJ0037T1	Torta	Amorfa	Irregular	Diagnostico	6,5x6	3	Alta	Baja		Gris	Si
		PJ0049T1	Torta	Tableta	Lisa	Diagnostico	6x5	2	Baja	Alta		Gris	Si
		PJ0641T1	Torta	Tableta	Irregular	Diagnostico	5x4	1,5	Media	Media		Gris- Rojo Verde	Si
		PJ0044T1	Laminar	Tableta	Lisa	Borde	3,5x 3	0,5	Baja	Alta		Gris	No
		PJ0037T1	Laminar	Tableta	Lisa	Borde	3,5x2,5	0,5	Media	Media		Gris	No
		PJ0079T1	Torta	Gota	Lisa- Irregular	Diagnostico	2,5x1,5	1	Media	Alta		Gris	No
		PJ0002T1	Torta	Tableta	Irregular	Diagnostico	4x3	2	Alta	Baja		Gris	Si
		PJ0078T1	Torta	Amorfa	Irregular	Diagnostico	1,5x2,5	1,5	Media	Media		Gris	Si
2		PJ0081T1	Torta	Tableta	Irregular	Diagnostico	3x3,5	1	Media	Baja		Gris	Si
		PJ0094T1	Laminar	Tableta	Lisa	Borde	3,5x4	0,5	Baja	Alta	14	Gris	No
		PJ0098T1	Laminar	Tableta	Lisa	Diagnostico	2,5x5	0,5	Media	Media		Gris	No
		PJ0092T1	Laminar	Tableta	Lisa- Irregular	Diagnostico	2,5x3,5	0,5	Baja	Alta		Gris	No
		PJ0086T1	Laminar	Tableta	Lisa	Borde	2,5x3	0,4	Alta	Media		Gris	No
		PJ0116T1	Torta	Tableta	Irregular	Borde	4x2,5	1	Alta	Baja	13	Gris	No
		PJ0109T1	Torta	Tableta	Irregular	Diagnostico	5x6	2	Alta	Media		Gris	Si
		PJ0104T1	Torta	Amorfa	Irregular	Diagnostico	3x4	1	Alta	Baja		Gris	Si
		PJ0118T1	Torta	Tableta	Irregular	Borde	2,5x3	1	Media	Media	12	Gris	Si
		PJ0119T1	Torta	Tableta	Irregular	Diagnostico	3x2,5	1	Media	Media		Ocre	Si
3		PJ0106T1	Torta	Amorfa	Irregular	Diagnostico	2x2	2	Alta	Alta		Gris	No

Fuente: Elaboración propia

3.4.2. Revisión documental

Esta técnica de recopilación de información permite indagar e identificar las investigaciones anteriores, las personas que están trabajando en la línea de conocimiento y las discusiones que surgen en torno al tema, es decir sobre el estudio de las escorias para reconstruir los procesos tecnológicos de la reducción de cobre. Así, es posible delinear el objeto de estudio, elaborar premisas, e identificar autores para establecer una base teórica (Bernate 2021). Esta herramienta sirve para generar relaciones entre trabajos, observar metodologías de abordaje y establecer semejanzas y diferencias entre los trabajos. Es decir, la revisión documental permite configurar el estado del arte en la investigación.

En este sentido, la revisión documental ayuda a crear una base del conocimiento y comprensión del área. Además, se trabajará desde la consulta de información indirecta de estudios etnohistóricos que permitieron establecer un contexto sobre el sitio y la metalurgia de la región. También se consultaron artículos de estudios previos del área de estudio con el fin de determinar el aporte de esta investigación, con particular atención al documento histórico del Lienzo de Jicalán, para insertar los datos generados durante el estudio dentro del contexto histórico del Jicalán, así como con otras fuentes históricas como la Relación de Michoacán o las Relaciones Geográficas de Michoacán, entre otros acervos.

3.5. Gestión y análisis de datos: Análisis estadístico y distribución espacial

3.5.1. Análisis estadístico

El análisis estadístico de los datos registrados en la fase anterior se llevó a cabo utilizando una combinación de técnicas descriptivas y exploratorias. Primero, se calcularon porcentajes y promedios para cada ítem. Además, se aplicaron análisis de correlación para determinar las relaciones entre diversas variables, como el tipo de escoria y su color, inclusiones, la porosidad y el magnetismo. A partir de este paso, se crearon tablas comparativas detallando la cantidad de escorias correspondientes a cada criterio. Este enfoque permitió identificar los tipos de escorias presentes en el sitio. Aunque inicialmente se habían definido dos tipos de escorias claramente diferenciadas, al contrastar con características de la superficie y otras particularidades, se identificó la necesidad de crear una tercera categoría, denominada "mixta".

Para el análisis estadístico detallado, se emplearon técnicas estadísticas descriptivas y exploratorias con el objetivo de cuantificar y comprender mejor los datos recolectados. Se calcularon promedios y totales en todos los ítems registrados. Estos análisis proporcionaron una base de datos para la interpretación y desarrollo de la investigación. Luego se procedió a la creación de gráficos estadísticos, que han facilitado la visualización y el detalle de las tendencias y relaciones entre las variables. Por otra parte, es necesario mencionar que, con el análisis de estos datos se procedió a la creación de una tabla de contenidos necesarios para el desarrollo de mapas, que ayudarán a una mejor interpretación en el área.

3.5.2. Sistemas de información geográfica (SIG)

Los sistemas de información geográfica (SIG) han demostrado ser una herramienta valiosa en los estudios arqueológicos, ya que permiten realizar análisis espaciales y ayudan a establecer marcos cronológicos, facilitando la interpretación de diversos procesos sociales reflejados en restos materiales. El enfoque de los SIG en la investigación arqueológica promueve la multidisciplinariedad, ya que es necesario incluir otras áreas del conocimiento como la geoestadística, los modelos de interacción espacial, la informática, y la cartografía digital, entre otros (Trujillo, 2023:11).

La creación de mapas en arqueología es un proceso creativo que permite a los arqueólogos experimentar y comprender el espacio que estudian. La elaboración de estas representaciones no es un acto simple, sino que involucra procesos complejos como la proyección de datos sobre mapas, que deben ser procesados e identificados. Este enfoque ha ampliado el panorama de interpretación y ha enriquecido el conocimiento sobre las estructuras sociales de diversas sociedades (Haciguzeller 2017).

En esta investigación, se ha procedido a elaborar mapas que representen el porcentaje de concentración de cada tipo de escoria encontrado en distintos contextos arqueológicos, con el fin de visualizar de manera clara y precisa las distribuciones de escoria en cada contexto del sitio, con la intención última de establecer asociaciones entre área y actividad tecnológica.

Para llevar a cabo este análisis, se utilizaron como base de datos las tablas previamente realizadas, las cuales contienen la información detallada de las concentraciones de escoria. Estos datos fueron procesados utilizando el software ArcMap, que permite la integración y el análisis de datos

espaciales con datos estadísticos. La creación de estos mapas no solo aporta una representación visual de los datos, sino que también puede establecer otras posibilidades de interpretación, pues al observar las concentraciones de escoria en el territorio, se pudo identificar patrones y tendencias que no fueron evidentes con las tablas de datos. Así, la identificación de áreas con alta concentración de un tipo específico de escoria podría indicar la presencia de zonas especializadas en un proceso metalúrgico particular. En contraste, la dispersión de diferentes tipos de escoria podría sugerir la coexistencia de múltiples procesos tecnológicos en el mismo espacio.

4. CAPITULO 4

4.1. Caracterización de las escorias de Jicalán Viejo

Como se ha mencionado en el capítulo de metodología, para el análisis de muestras de escorias recolectadas en el sitio arqueológico Jicalán Viejo se ha analizado el 100% del total de las escorias recolectadas en superficie en la etapa de prospección en el sitio, esto son 1942 escorias clasificadas tipológicamente. Se ha detallado el comportamiento de diversos indicadores en las escorias, incluyendo su morfología, presencia de huellas, características superficiales, tamaño, grosor, porosidad, magnetismo, color e inclusiones. En el caso específico de las escorias con bordes, se realizó una medición del tamaño en una muestra representativa. Este análisis abarcó el 16% del total de las escorias, es decir, 320 muestras procedentes de 10 contextos arqueológicos determinados en el sitio e incluyendo fotografías y descripción detallada. A través de este estudio, fue posible caracterizar de manera general los diferentes tipos de escorias y realizar una comparación entre los tres tipos identificados.

Estudios preliminares, como el de Maldonado (2018), han clasificado las escorias en función de su morfología, estableciendo dos tipos principales: ‘grumosa’ y ‘laminar’. Las escorias grumosas se caracterizan por superficies planoconvexas o irregulares, con tamaños que varían desde fragmentos del tamaño de grava hasta piezas de hasta 2 kg. A menudo presentan superficies lisas en una o ambas caras, con una porosidad siempre evidente y fracturas irregulares. En contraste, las escorias laminares suelen ser planas, con menor porosidad y signos de flujo en forma de cuerda en una o más superficies. Su grosor oscila entre 2 y 9 mm, y generalmente una de sus caras muestra un acabado metálico o vítreo, mientras que la otra presenta un brillo resinoso. Su fractura suele ser concoidal.

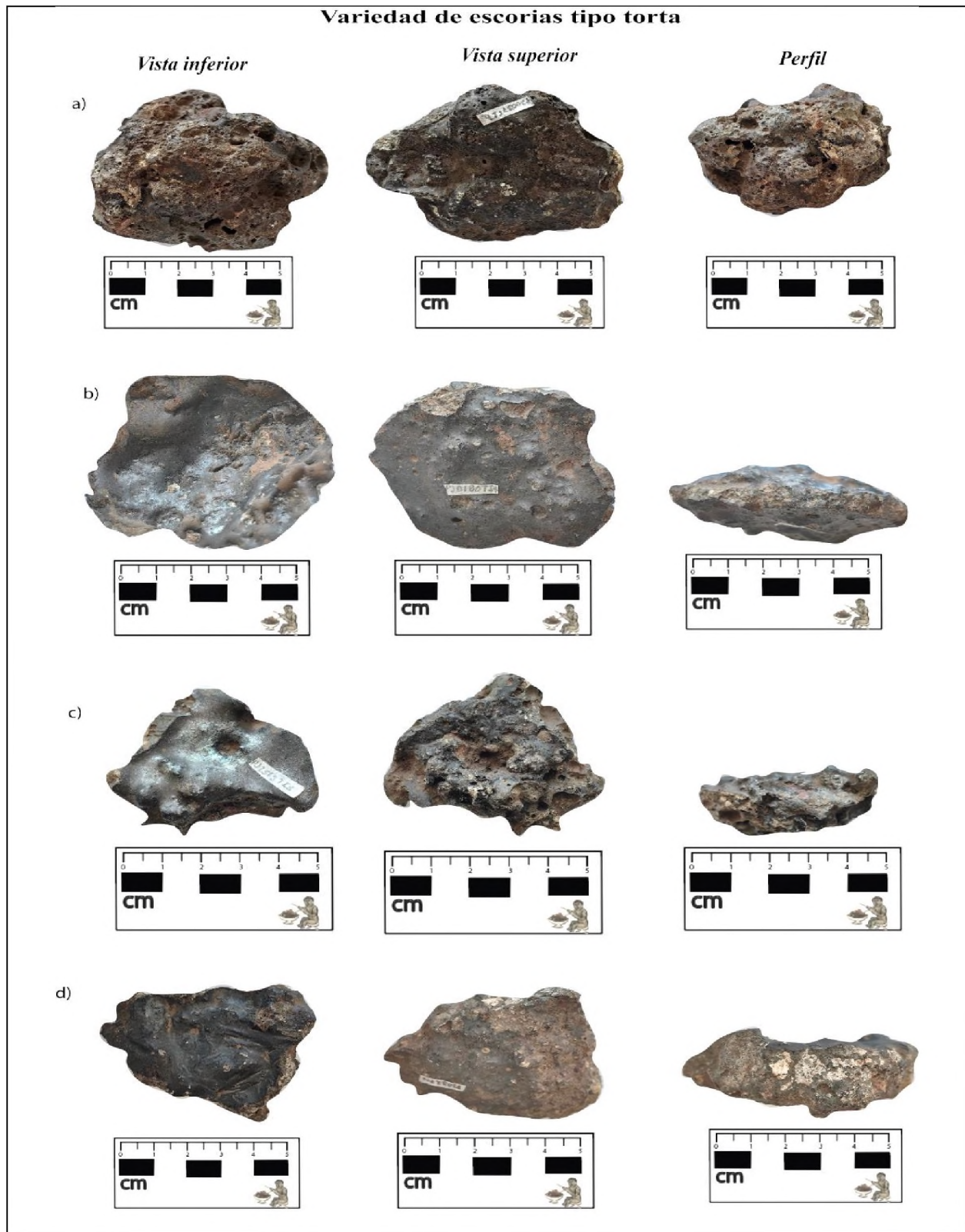
Con base en los datos recopilados hasta la fecha, el análisis a continuación detalla los patrones morfológicos observados en las escorias del sitio Jicalán Viejo. Este análisis ha permitido identificar y clasificar las escorias en tres tipos generales: escorias de tipo torta, escorias de tipo laminar y escorias de tipo mixto. Esta clasificación proporciona una comprensión sobre la variabilidad morfológica de las escorias presentes en el sitio, estos datos son evidencia de los diversos procesos metalúrgicos, tales como la reducción primaria, secundaria y el refinamiento, que se estaban llevando a cabo en el sitio.

4.2. Escoria de tipo torta

Este tipo de escoria es el más común, se caracteriza por tener una forma de tableta, mostrando dos caras generalmente bien diferenciadas (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). La superior es rugosa, con pequeñas inclusiones minerales (seguramente cuarzos, silicatos en todo caso) y notable por su abundante porosidad, presentando abundantes poros y pequeñas cavidades que sugieren burbujas de gas como resultado de reacciones químicas durante la reducción en el horno o crisol y que permiten identificar esta cara como la superior, esto es visible en la (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**a) vista superior. En cambio, la cara inferior muestra un aspecto metálico, con un color gris oscuro, y una textura líquida, lisa y compacta con abundantes abultamientos que corresponden a grandes inclusiones de cuarzo craqueladas visibles en el perfil (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**b) vista inferior. Las dimensiones de estas escorias varían, con grosores que oscilan entre 0,7 cm y 4 cm, mientras que la forma de tableta en ocasiones no es reconocible y aparece como gotas o glóbulos amorfos que se presentarán más adelante.

En cuanto al color, el predominante de las escorias gruesas es el gris, aunque se observan variaciones que incluyen manchas de color anaranjado y gris plateado. En menor frecuencia, se encuentran combinaciones como gris con verde, rojo y naranja.

Figura 1 Escorias tipo torta



Fuente: Elaboración propia, variedad de las escorias de tipo torta en Jicalán Viejo en forma, inclusiones, color, etc.

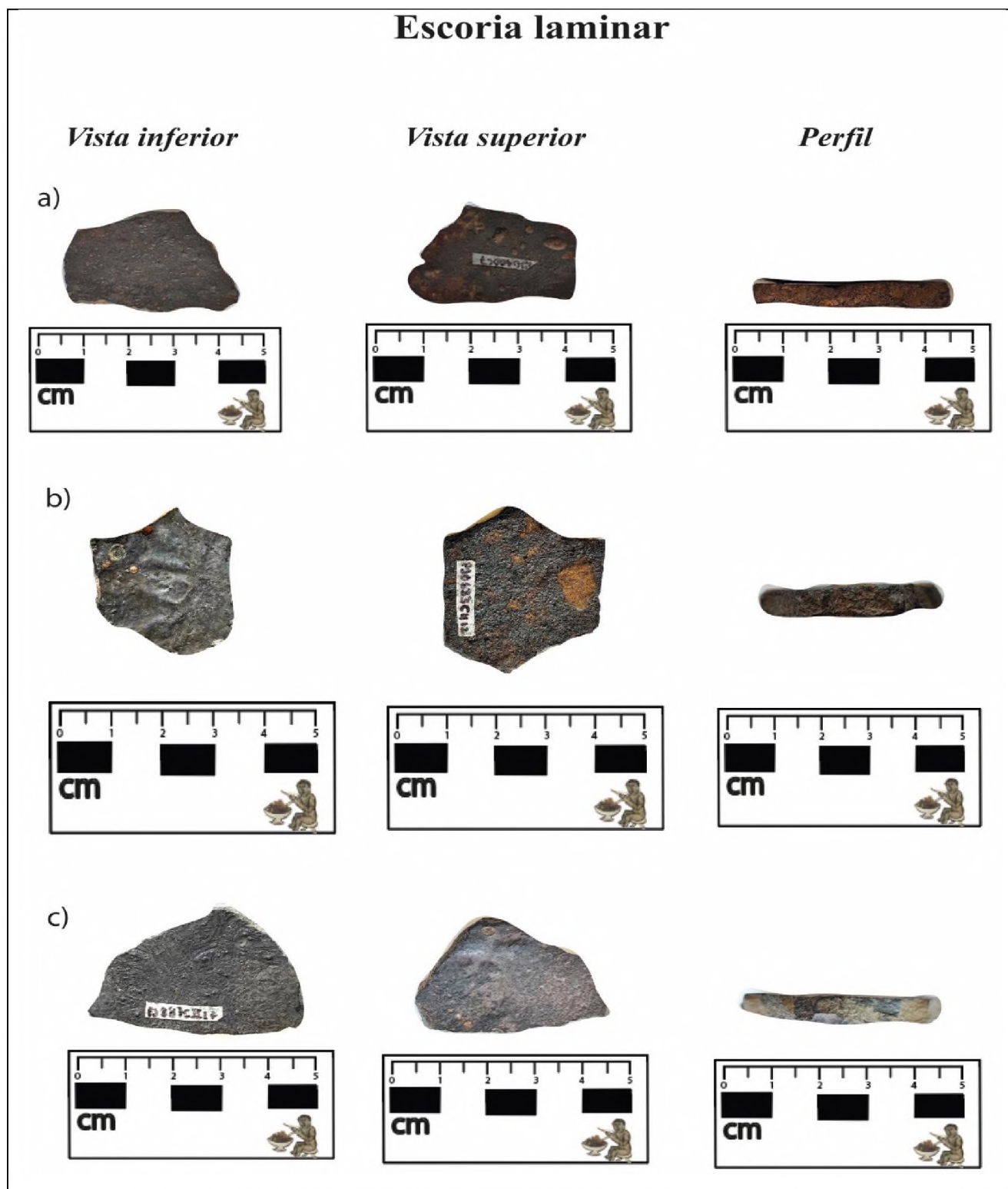
4.3. Escoria laminar

Este tipo de escoria se caracteriza por presentar signos evidentes de fluidez en ambas superficies, tanto en su interior como en su exterior, como se observa en todas las imágenes de la

Figura 2. Adopta una forma de tableta y posee superficies lisas en ambas caras. Son relativamente delgadas, con grosores que varían entre 0,3 cm y 1,2 cm. En cuanto a la porosidad, se observan pequeñas burbujas en la vista superior, y la mayoría de las muestras también presentan una porosidad abundante (

Figura 2a). El color predominante es el gris, aunque también se encuentran muestras con coloraciones marrones en menor cantidad. A diferencia de las de torta, en las escorias laminares se observan muy pocas inclusiones de minerales de cuarzo.

Figura 2: Variedad de escorias tipo laminar en Jicalán Viejo



Fuente: Elaboración propia. Diferentes aspectos de las escorias laminares

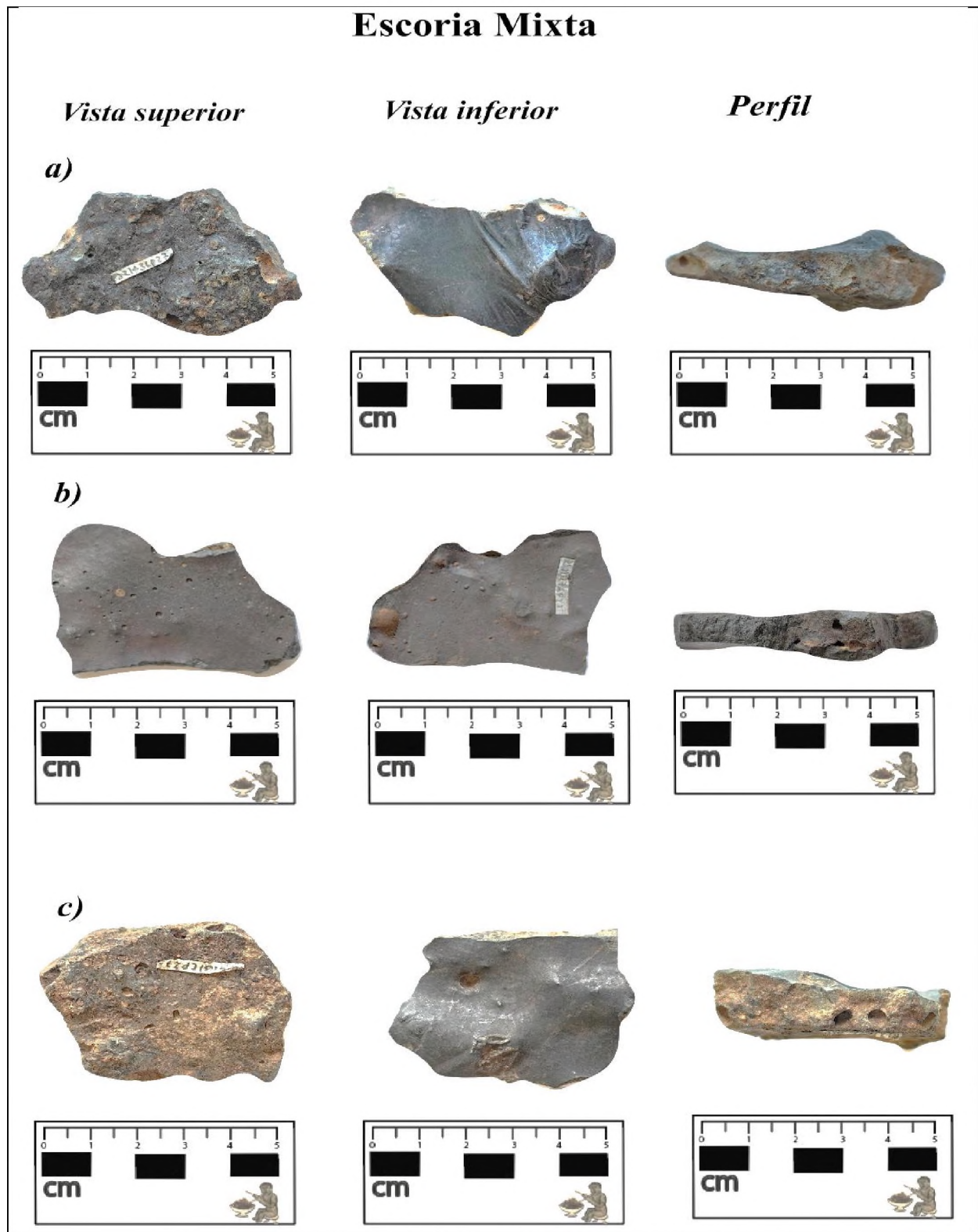
4.4. Escoria mixta

Se ha considerado pertinente de introducir una tercera clasificación ante la identificación de un tipo de escoria que muestra características que se sitúan entre los dos tipos de escoria previamente establecidos. Por consiguiente, se ha optado por denominar a este nuevo tipo como "escoria mixta". La escoria en mención se caracteriza por poseer forma de tableta, muestra en su superficie superior una cara lisa y en la superficie interior presenta pocos signos de irregularidad, esta característica se visualiza (

Figura 3 a). Los signos de fluidez son evidentes en toda su estructura como es el caso en la escoria laminar, sin embargo, también se observa una alta presencia de inclusiones de cuarzo, como es característico en la escoria de torta, (

Figura 3c). En términos de dimensiones, su grosor varía entre 0,4 y 2,5 cm, mientras que, en cuanto a su color, prevalece el gris, con un número reducido de muestras que tienen tonalidades marrones.

Figura 3: Variedad de escorias de tipo mixta



Fuente: Elaboración propia. Diferentes aspectos de las escorias mixtas.

Resumen comparativo de los tipos de escorias

<i>Aspecto</i>	<i>Torta de Escoria</i>	<i>Escoria Laminar</i>	<i>Escoria Mixta</i>
Forma	Forma de tableta. En algunos casos, pueden aparecer como gotas o glóbulos amorfos.	Forma de tableta, con contornos definidos y delgada.	Forma de tableta; presenta características intermedias entre las otras dos.
Superficie	- Cara superior: Rugosa, con abundante porosidad, pequeñas cavidades y grandes inclusiones de cuarzo visibles.	Ambas caras son lisas y muestran evidencias de fluidez; se observe un acabado que pueda incluir señales de flujo en forma de cuerda.	La superficie superior es lisa, mientras que la inferior presenta pocas irregularidades. Se evidencian signos de fluidez en toda la estructura, junto con inclusiones de cuarzo.
	- Cara inferior: Aspecto metálico, lisa, compacta, con abultamientos y fracturas con inclusiones de cuarzo craqueladas.		
Porosidad	Abundante en la cara superior, sugiriendo la formación de burbujas de gas durante la reducción.	Posee pequeñas burbujas en la vista superior, con porosidad moderada.	Porosidad intermedia, combinando características de las escorias tipo torta y laminar.
Inclusiones	Grandes inclusiones de cuarzo y silicatos, visibles en las superficies y fracturas.	Presenta muy pocas inclusiones de cuarzo.	Incluye algunas inclusiones de cuarzo, similares a las observadas en
Grosor	Varía entre 0,7 y 4 cm.	Varía entre 0,3 y 1,2 cm	Varía entre 0,4 y 2,5 cm.
Color	Predominantemente gris, con variaciones.	Predominantemente gris, aunque en menor cantidad se	Mayoritariamente gris, con algunas muestras presente

Fuente: Elaboración propia. Tabla de resumen entre los tipos de escorias.

4.5. Análisis comparativo de los indicadores morfológicos de los distintos tipos de escoria

En las siguientes secciones del capítulo, se observan y evalúan detalladamente los diferentes indicadores morfológicos de los diversos tipos de escorias con el objetivo de proporcionar un marco comparativo que permita interpretar estos indicadores en función de las condiciones tecnológicas específicas, etapas del proceso de reducción y refinación de cobre en el sitio y las técnicas empleadas, bajo las cuales se llevó a cabo el proceso metalúrgico.

4.5.1. Formas de las escorias

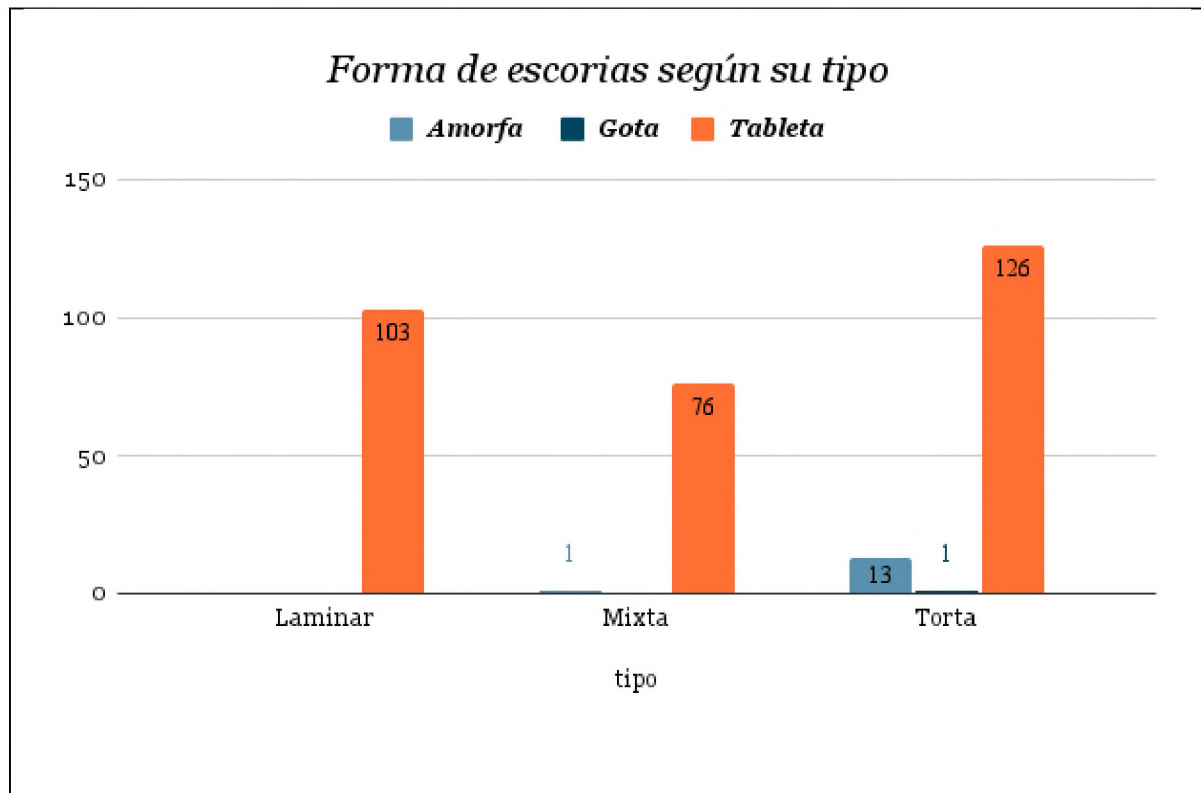
El estudio de las formas de las escorias es un indicador fundamental en el análisis del proceso de reducción del cobre, ya que estas formas reflejan las condiciones tecnológicas a las que fueron sometidas. Las escorias se solidifican rápidamente al salir del horno, y su forma final puede variar dependiendo del manejo y las técnicas utilizadas en el proceso metalúrgico, por ejemplo, pueden adoptar diferentes configuraciones si son arrastradas por el suelo, depositadas en un canal o agujero, o si permanecen dentro del horno (Ottaway 2001). *Revista de Ciencias Arqueológicas*, 28(7), 823-837. Estas variaciones morfológicas ofrecen información sobre las condiciones específicas del proceso metalúrgico.

Ahora bien, en el sitio Jicalán Viejo, la escoria de tipo torta muestra una mayor variabilidad en sus formas. La mayoría, esto son 126 especímenes son de tipo tableta, pero también existen 13 escorias amorfas y 1 única en forma de gota. En el análisis de las escorias de tipo torta amorfa se observa un elevado grado de fragmentación que dificulta la identificación precisa de su morfología original. Este fenómeno podría ser consecuencia tanto de procesos de desgaste post-deposición como de un manejo intensivo durante la reducción. La fragmentación extrema altera la estructura original de la escoria, lo cual complica la interpretación de las condiciones tecnológicas aplicadas en el proceso metalúrgico.

Por el otro lado, todas las muestras de escoria laminar, esto son los 103 especímenes tienen forma de tableta. Esto sugiere que la escoria de tipo torta es más heterogénea en su formación, con formas menos definidas que podrían estar relacionadas con condiciones de solidificación más variables o menos controladas (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). Mientras que el tipo laminar tiene una forma más regular y consistente, lo que podría estar relacionado con un proceso

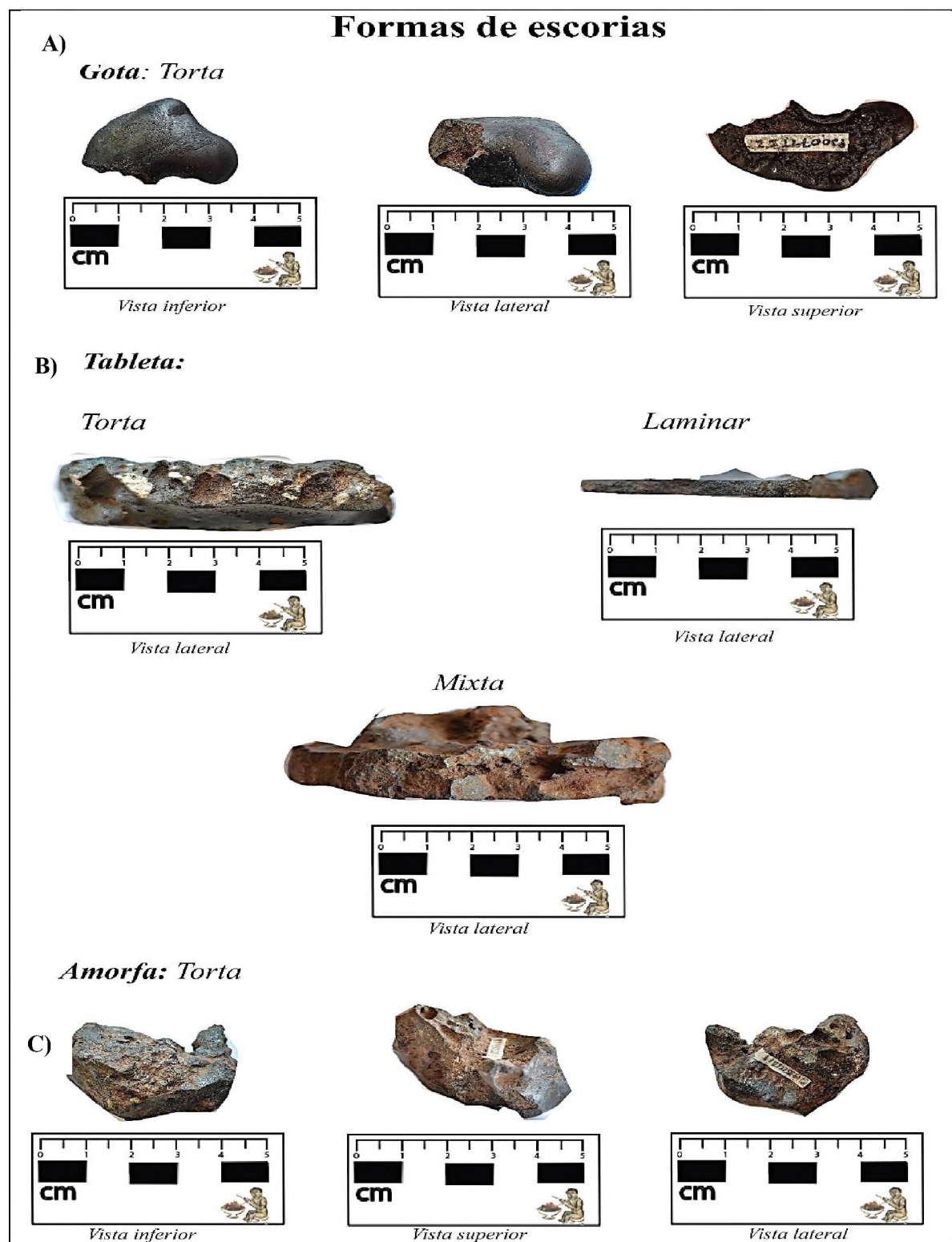
de solidificación controlado o uniforme. Lo mismo sucede con las escorias mixtas también el total de muestras, es decir 76 son de tipo tableta y solo 1 muestras de este tipo en forma amorfa (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

Gráfico 1 Cantidad de muestras de escorias de acuerdo con su tipo y forma



Fuente: Elaboración propia

Figura 4 Formas de escorias de acuerdo con su tipo



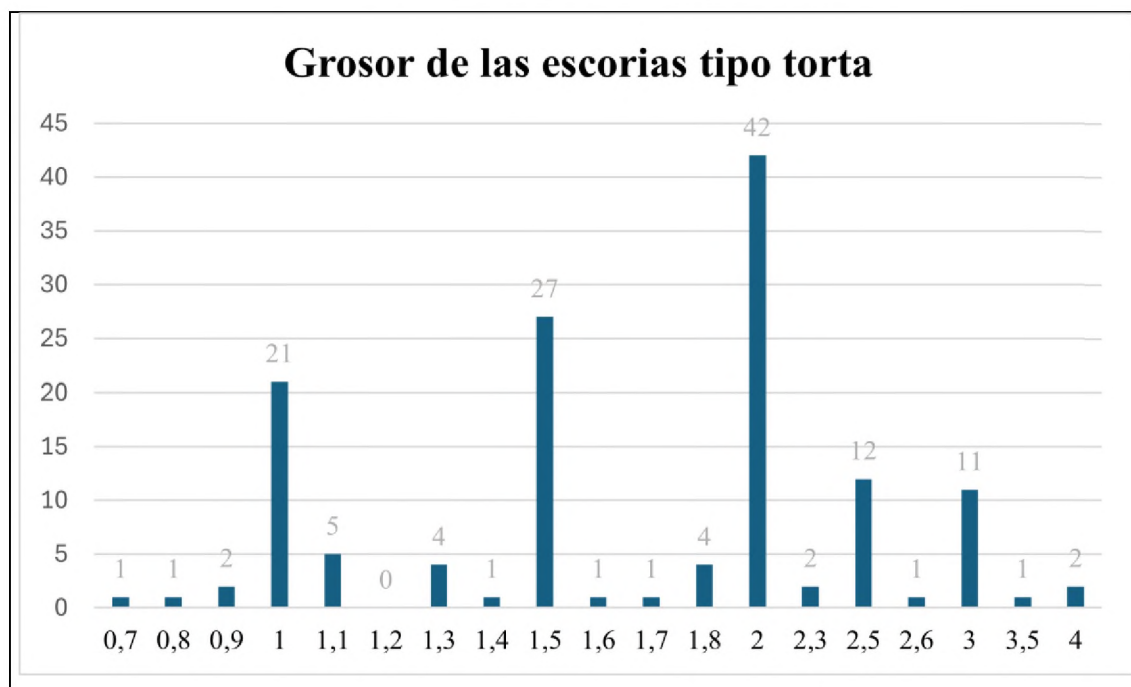
Fuente: Elaboración propia. A) Forma de gota, presente en la escoria de tipo torta. B) forma de tableta presente en las escorias de tipo torta, laminar y mixta. C) Escoria amorfa presente en las escorias de tipo torta.

4.5.2. Grosor de las escorias de acuerdo con su tipo

El análisis del grosor de las escorias es un indicador que permite la interpretación de los procesos metalúrgicos, ya que proporciona información sobre el proceso de formación de escoria y la eficiencia en la extracción del metal, en principio una escoria más gruesa y viscosa, más heterogénea e imperfecta en la reducción, atrapa más metal que una más delgada y líquida (Sugar 2003).

Las escorias de tipo torta presentan grosores que van desde 0,7 cm hasta 4 cm. La mayoría de las muestras de este tipo tiene un grosor de 2 cm. Hasta el momento, únicamente se han identificado dos muestras con un grosor máximo de 4 cm y una muestra con el grosor mínimo de 0,7 cm (Gráfico 2).

Gráfico 2 Grosor de las escorias tipo torta.

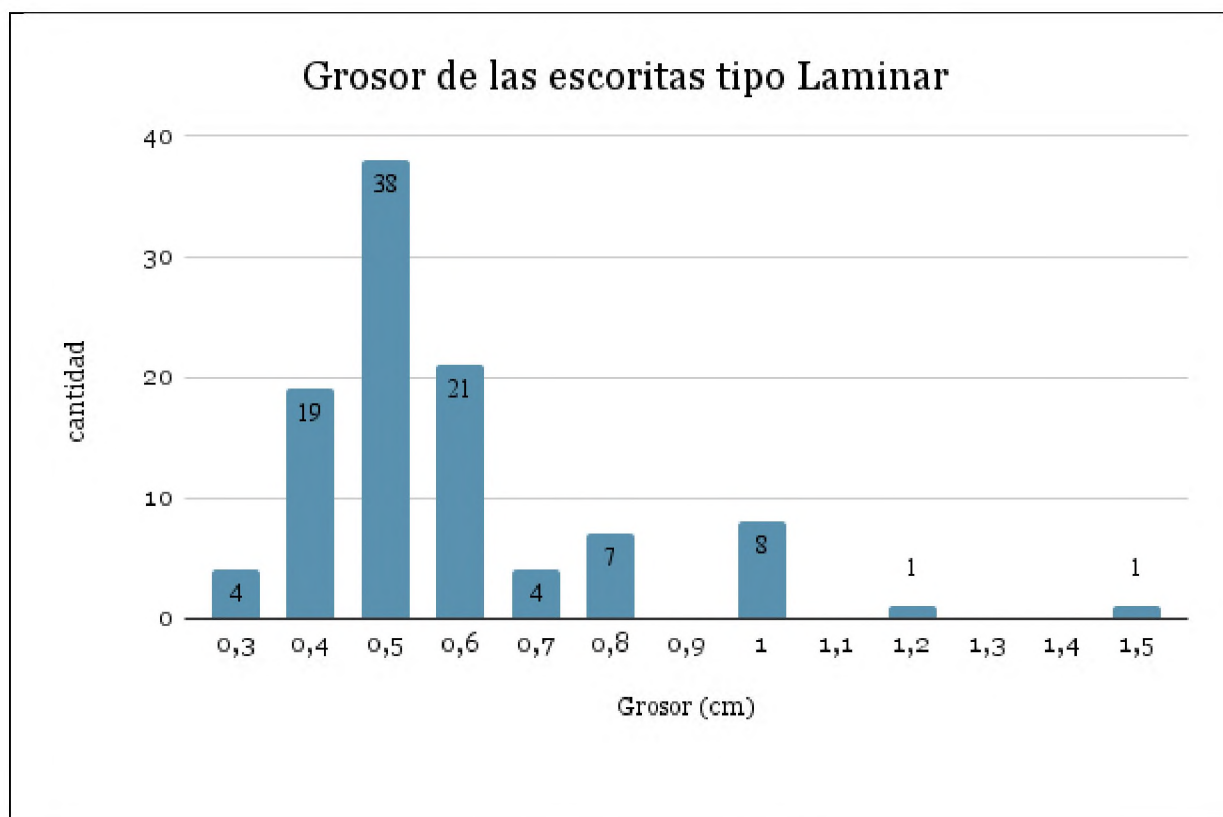


Fuente: Elaboración propia

Las escorias analizadas en el proyecto han demostrado variaciones significativas según su tipo, lo que permite establecer categorías específicas dentro de las escorias laminares. De las 103 muestras de escorias laminares analizadas, se han clasificado en tres categorías basadas en su grosor. Las escorias laminares finas, con un grosor de 0,1 a 0,4 cm, representan el 22% del total, es decir, 23

muestras. La mayoría de las escorias, un 68% (70 muestras), pertenecen a la categoría de escorias laminares delgadas, con grosores que varían entre 0,5 y 0,8 cm. Por último, las escorias laminares burdas, con grosores de 0,8 a 1,5 cm, constituyen un porcentaje menor, del 9,7% o 10 muestras.

Gráfico 3 Porcentaje de escoria laminar, según su grosor.



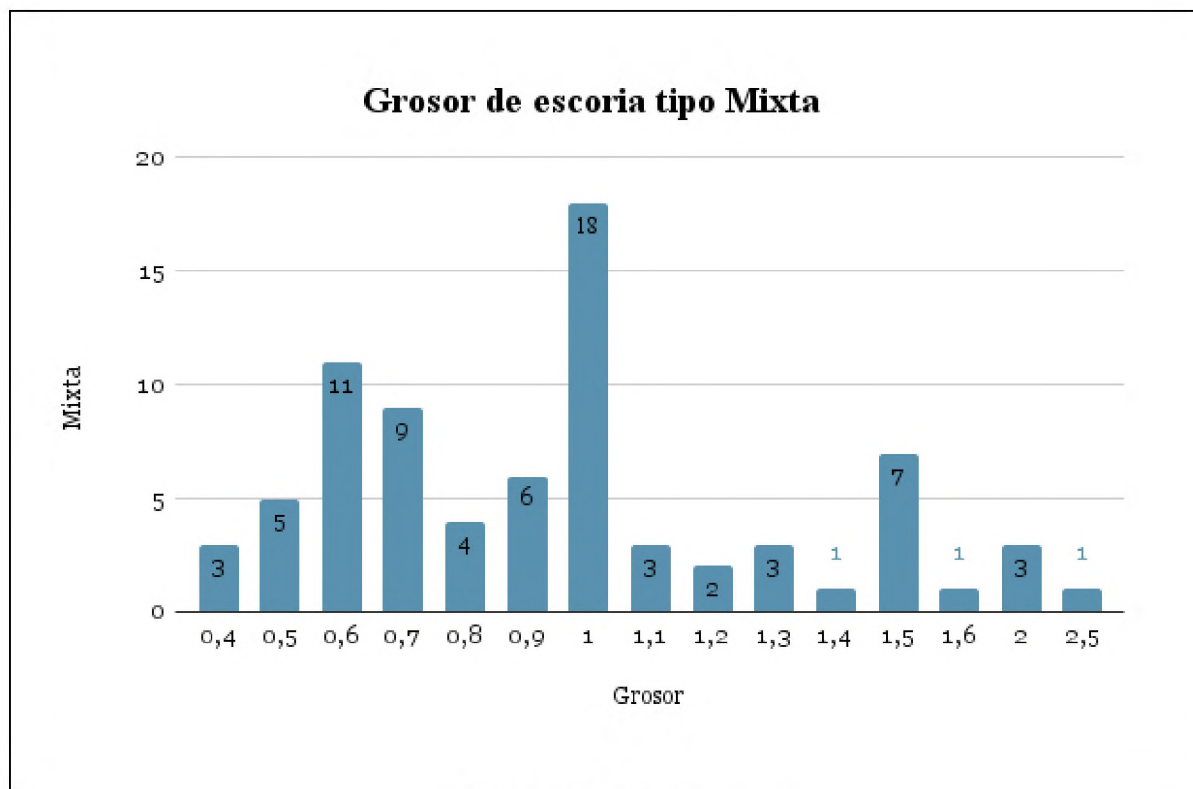
Fuente: Elaboración propia

En cuanto a las escorias mixtas, fueron 77 las muestras analizadas de este tipo, en las cuales se pudo evidenciar que los grosores varían entre 0,4 cm y 2,5 cm. (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). El análisis de los datos indica que el grosor más frecuente es de 1,0 cm, con 18 muestras, lo que lo convierte en el valor predominante. Otros grosores con una cantidad significativa de observaciones son 0,6 cm, con 11 muestras, y 0,7 cm, con 9 muestras.

Por otro lado, algunos grosores presentan una menor frecuencia, como 1,2 cm, 1,4 cm, 1,6 cm y 2,5 cm, con un número de muestras que oscila entre 1 y 3. En general, la mayor parte de las

observaciones se concentran en grosores comprendidos entre 0,5 cm y 1,0 cm, se visualiza una disminución progresiva de muestras en los grosores más altos.

Gráfico 4 Grosor de las escorias tipo mixta.



Fuente: Elaboración propia

Caracterización de grosores en láminas: Promedio, mediana y dispersión

En resumen, sobre los grosores, las escorias de tipo Torta son las más gruesas de los tres tipos, con un grosor promedio de 1,78 cm. La mediana es de 1,5 cm, lo que indica que hay una concentración de grosores en el rango medio-alto. Sin embargo, la desviación típica es la más alta (0,89 cm), lo que refleja una gran variabilidad en los grosores. Los valores oscilan entre 0,5 cm y 4,0 cm, lo que muestra una amplia gama de grosores. Esto sugiere que las de tipo Torta incluyen desde grosores muy delgados hasta muy gruesos.

Las escorias de tipo Laminar tienen un grosor promedio de 0,61 cm, lo que indica que, en general, son bastante delgadas. La mediana, que es de 0,5 cm, confirma que la mayoría de estas tienen grosores cercanos a este valor, lo que sugiere una concentración de láminas delgadas. Además, la

desviación típica es baja (0,22 cm), lo que significa que los grosores son muy consistentes y no varían mucho. Aunque hay algunas más gruesas (hasta 1,4 cm), la mayoría se encuentran en el rango de 0,3 cm a 1,4 cm.

Las de tipo Mixta tienen un grosor promedio de 1,02 cm, lo que las sitúa en un rango intermedio entre las Laminares y las Torta. La mediana es de 1,0 cm, lo que sugiere que la distribución de grosores está equilibrada alrededor de este valor. Sin embargo, la desviación típica es mayor (0,41 cm) en comparación con las Laminar, lo que indica que hay más variabilidad en los grosores. Los grosores varían entre 0,4 cm y 2,3 cm, lo que muestra una mayor dispersión. Aunque son más versátiles, su mayor variabilidad las hace menos predecibles en términos de grosor.

Tabla 7 Tabla de Promedio, mediana y dispersión del grosor de las escorias

Tipo	Promedio	Mediana	Desviación típica	Máximo	Mínimo
Laminar	0,61	0,5	0,22	1,4	0,3
Mixta	1,02	1,0	0,41	2,3	0,4
Torta	1,78	1,5	0,89	4,0	0,5

Fuente: Elaboración propia

4.5.3. Porosidad según el tipo

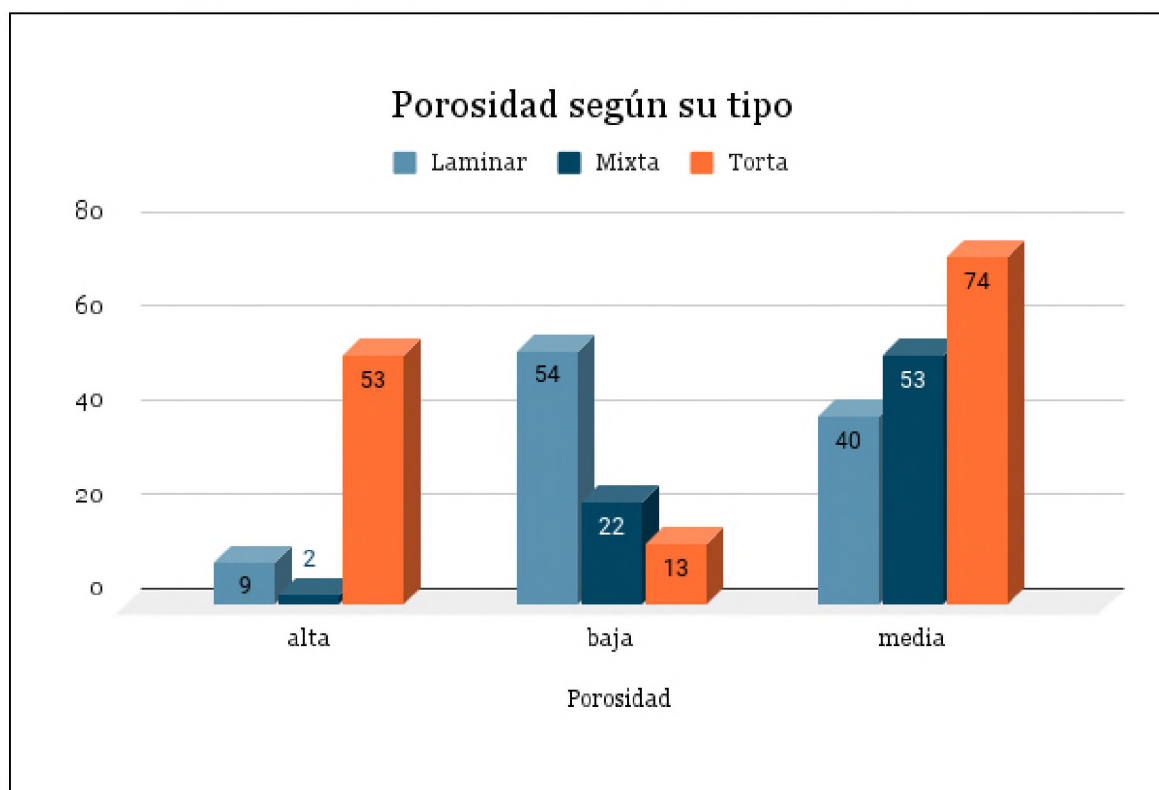
La porosidad en las escorias es otro indicador significativo para reconstruir los procesos de reducción metalúrgica. En principio, una alta porosidad indica una escoria peor formada, normalmente en condiciones de temperatura y atmósfera irregulares y/o insuficientes con presencia de materiales parcialmente reaccionados y carbones, mientras que una baja porosidad ocurre en una escoria más densa, normalmente más líquida y homogénea puesto que todos los materiales se han conseguido fundir en la escoria. El enfriamiento suele producir que en la cara superior haya una acumulación de burbujas en la cara superior, independientemente del tipo de escoria, ya que el gas lógicamente tiende a subir y escaparse.

Las escorias recolectadas en el sitio presentan distintos niveles de porosidad según su tipo. Para su clasificación, se han identificado tres categorías principales en función del porcentaje de porosidad visible en la superficie de cada muestra (

Figura 5): La porosidad alta se asigna a las escorias cuya superficie está cubierta en un 75 % o más por poros, llegando incluso a ocupar la totalidad de la muestra. Estas escorias suelen ser menos densas y pueden indicar condiciones de enfriamiento rápido o la presencia de gases atrapados durante el proceso de formación. La porosidad media se observa en aquellas escorias en las que aproximadamente la mitad de la superficie presenta porosidad visible. Este nivel de porosidad sugiere un equilibrio entre la formación de burbujas de gas y la disolución de la carga del horno en el nuevo material fayalítico (escoria), lo que puede deberse tanto a irregulares/insuficientes condiciones de atmósfera, temperatura y “receta” como a un proceso inacabado, de haber tenido suficiente tiempo se hubiera podido formar escoria líquida, densa, y homogénea, pero por la razón que fuera la escoria fue sacada del horno prematuramente. Por último, la porosidad baja se refiere a las escorias con una cantidad mínima de poros o en las que estos son apenas perceptibles. Estas escorias son más densas y homogéneas, lo que indica una mejor fusión del material y un menor atrapamiento de gases.

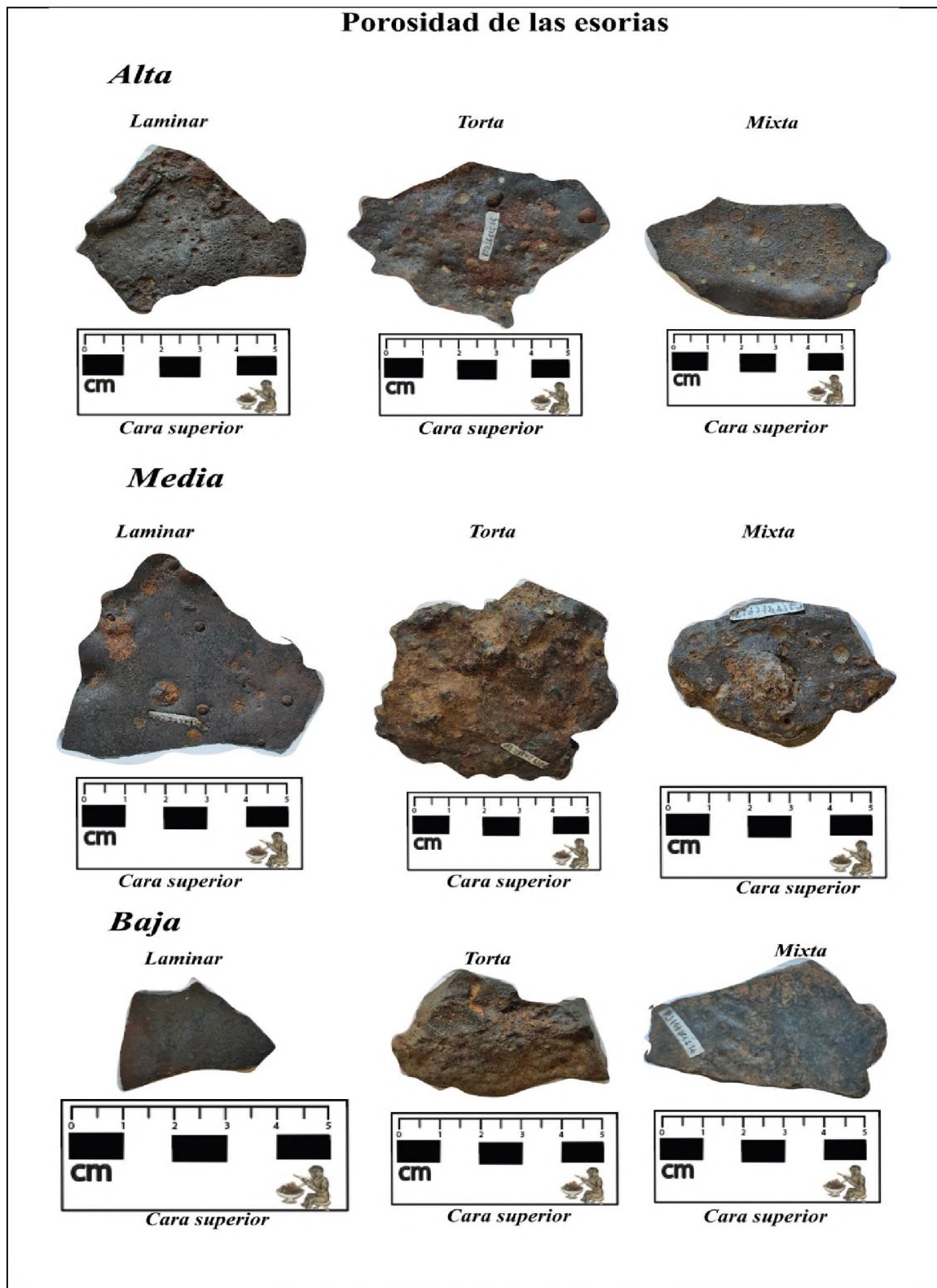
Las laminares, en su mayoría, presentan una porosidad media (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), con pequeñas burbujas de gas visibles principalmente en la superficie de la cara inferior. Sin embargo, un buen número de estas escorias tiene una porosidad baja, con pocas burbujas visibles en sus superficies, aunque también hay una pequeña cantidad con alta porosidad (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). Por otro lado, las escorias tipo torta predominan con porosidad alta y media (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), con burbujas distribuidas por toda su estructura, incluidas ambas caras y el interior. Solo unas pocas escorias de este tipo presentan baja porosidad (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). En cuanto a las mixtas, la mayoría se sitúa en una porosidad media (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), en la superficie exterior, casi no se observan porosidades, mientras que en la superficie interior se pueden visualizar algunas burbujas, además, en su estructura interna, son visibles pocos signos de burbujas atrapadas (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

Gráfico 5 Porosidad de las escorias de acuerdo con su tipo



Fuente: Elaboración propia

Figura 5 Porosidad de las escorias de acuerdo con su tipo.

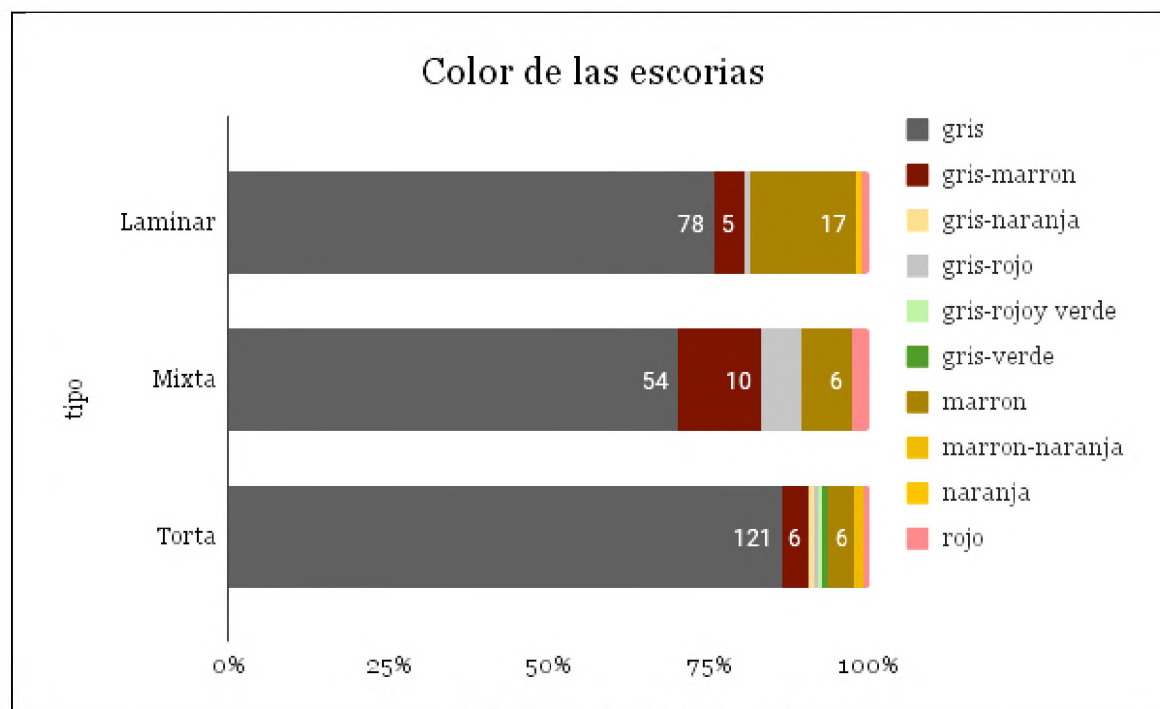


Fuente: Elaboración propia

4.5.4. Colores presentes en las escorias

El color de las escorias de cobre en el sitio de Jicalán Viejo no sigue un patrón definido, lo que complica su uso como indicador fiable en el análisis, debido a que el color puede variar debido a diferentes factores, como la composición, las condiciones de enfriamiento durante el proceso de reducción y, sobre todo, las condiciones post deposicionales: meteorización, entorno mineral ácido o básico, humedad, etc. Sin embargo, se ha observado que el color predominante en las escorias laminares, tortas y mixtas es el gris. En las escorias laminares, el color marrón aparece con cierta frecuencia, lo que no es el caso en las escorias mixtas y de tipo torta, donde las muestras marrones son muy escasas. Aunque también se encuentran variaciones de color como rojo y verde, estas son extremadamente raras; de las 187 escorias analizadas, solo 2 exhiben estas características. Estas variaciones de color parecen ser el resultado de procesos de meteorización y erosión de las muestras, más que de diferencias o resultados inherentes en los procesos de reducción o en la composición de las escorias.

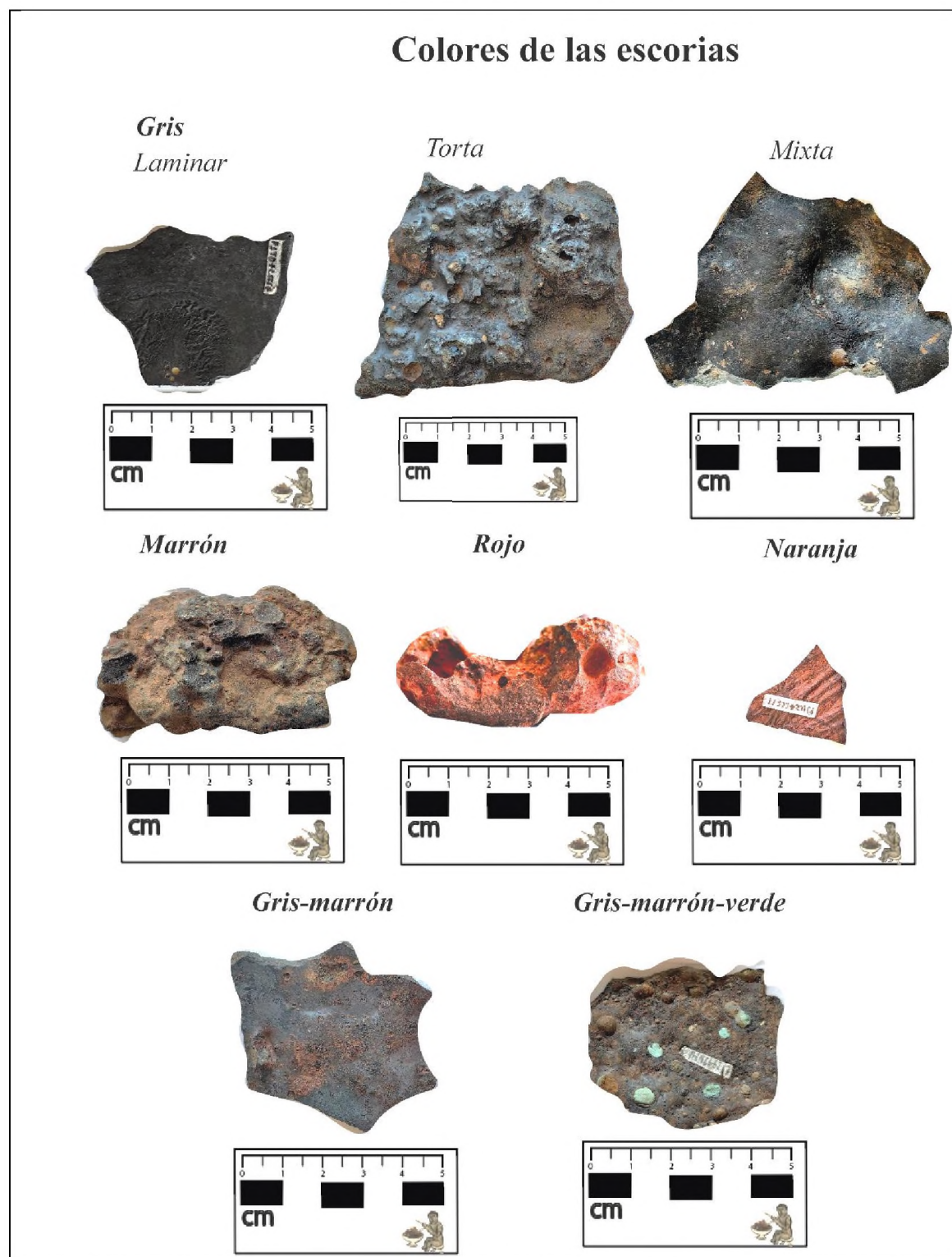
Gráfico 6 Porcentaje de las escorias de acuerdo con el color que presenta.



Fuente: elaboración propia

A continuación, se visualizará los colores que se han podido identificar en los diferentes tipos de escorias:

Figura 6 Color de las escorias



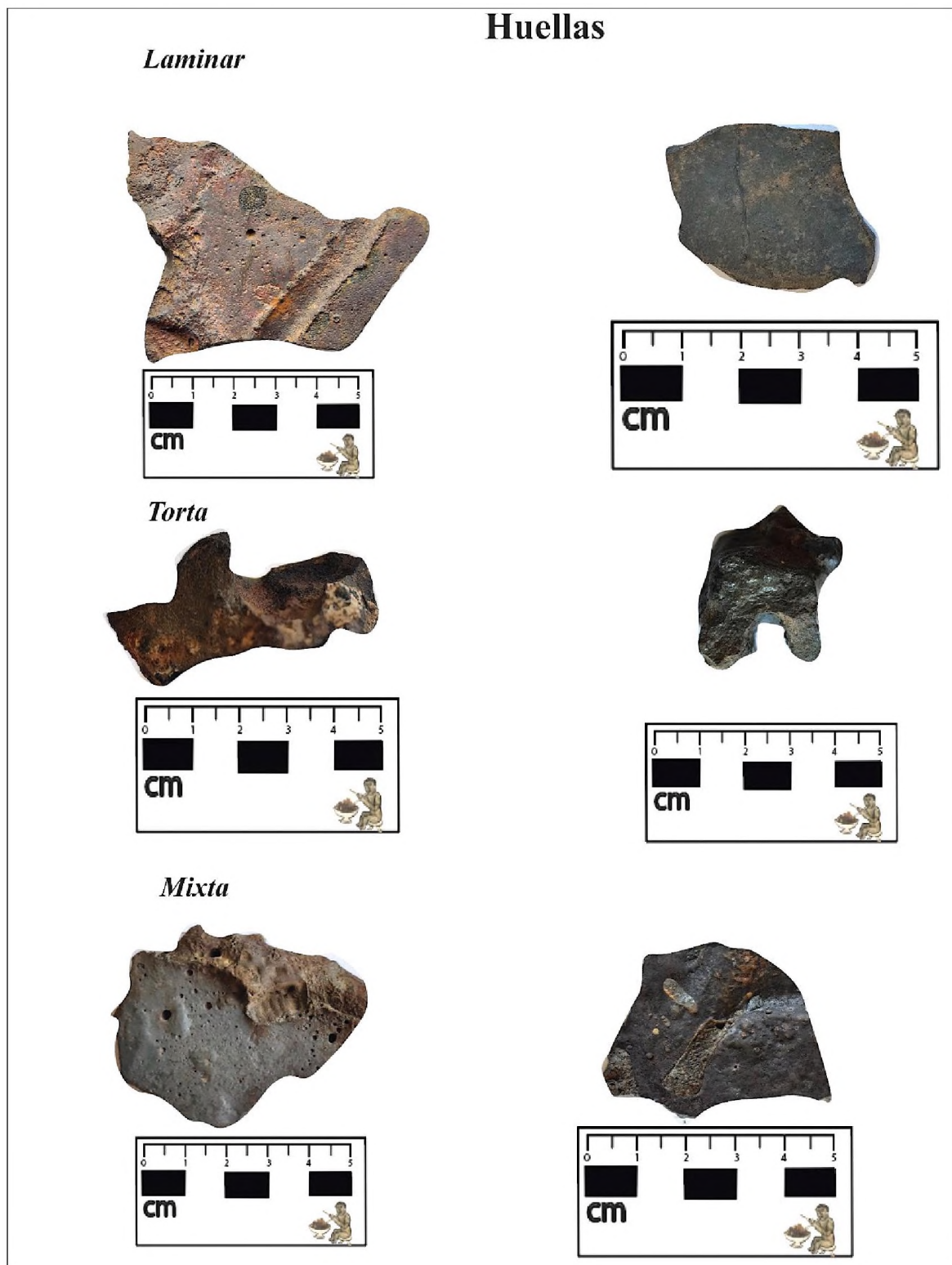
Fuente: Elaboración propia. Se muestra en la primera fila el color gris en cada tipo de escoria. Las figuras siguientes son una muestra de cómo se ven las escorias de los colores señalados.

4.5.5. Improntas

Un aspecto que no se consideró inicialmente en el análisis de las escorias del sitio Jicalán Viejo son las huellas y marcas de instrumentos impresas en las superficies, las cuales proporcionan información sobre la manipulación del material durante el proceso metalúrgico. Estas marcas han sido identificadas en los tres tipos de escorias presentes en el sitio: laminares, tortas y mixtas. En las escorias laminares, se han registrado huellas en la parte superior con un ancho aproximado de 0,5 a 0,8 cm. Estas marcas presentan patrones lineales bien definidos, lo que sugiere contacto con algún tipo de herramienta durante su manipulación.

En las escorias tipo torta, se han identificado huellas cilíndricas que atraviesan completamente el material, con un ancho de aproximadamente 0,5 cm. Estas marcas son regulares y continuas, indicando que el objeto que las produjo estuvo en contacto directo con la escoria en estado viscoso. Por otra parte, las escorias mixtas presentan huellas similares a las observadas en las escorias laminares, con anchos de aproximadamente 0,5 cm. Estas marcas aparecen principalmente en la parte inferior, lo que sugiere que fueron generadas poco antes de la solidificación final del material.

Figura 7 Huellas en escorias



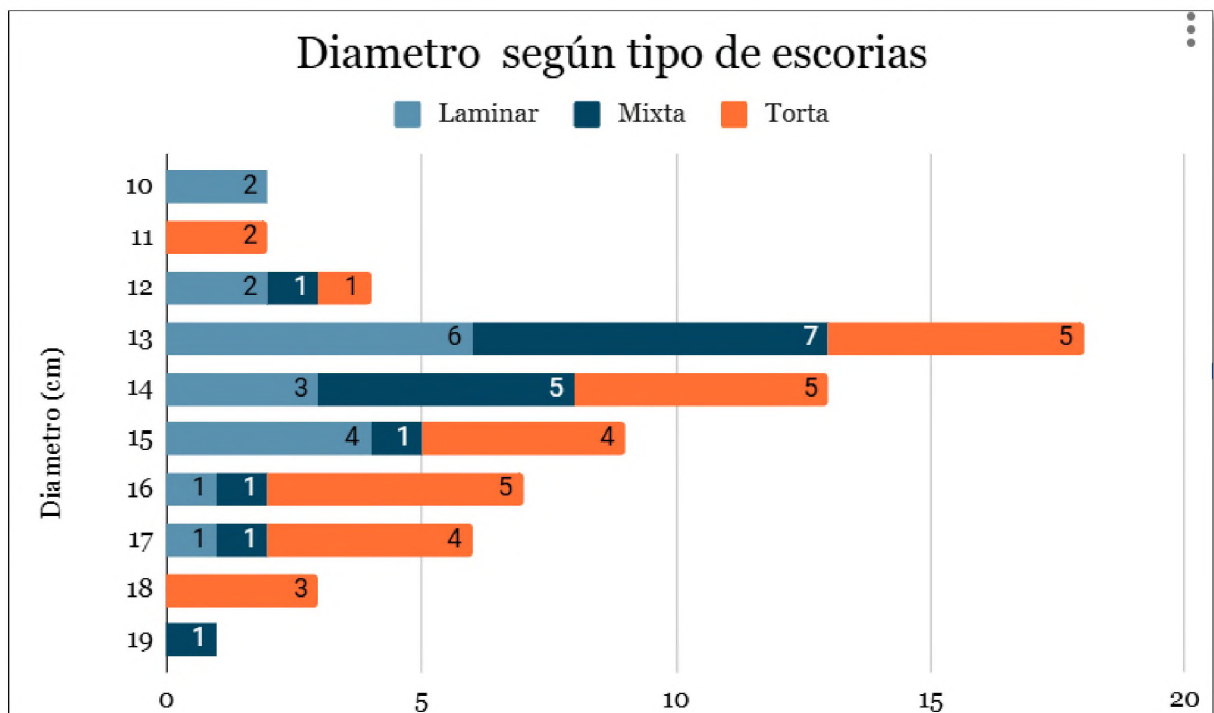
Fuente: Elaboración propia. Se muestran las huellas encontradas en los diferentes tipos de escorias

4.5.6. Diámetro según el tipo

En el análisis realizado, se identificaron un total de 65 bordes pertenecientes a los tres tipos de escorias previamente mencionados. Para determinar sus dimensiones, se utilizó un diámetrografo, obteniéndose los siguientes resultados: los diámetros de las escorias según su tipo revelan ciertas tendencias en su distribución. En las escorias laminares, los valores se concentran principalmente entre 12 cm y 16 cm, con un pico en 14 cm (6 casos) y una menor frecuencia en los extremos del rango. Esto sugiere que estas escorias presentaban un tamaño relativamente homogéneo, con pocas variaciones extremas.

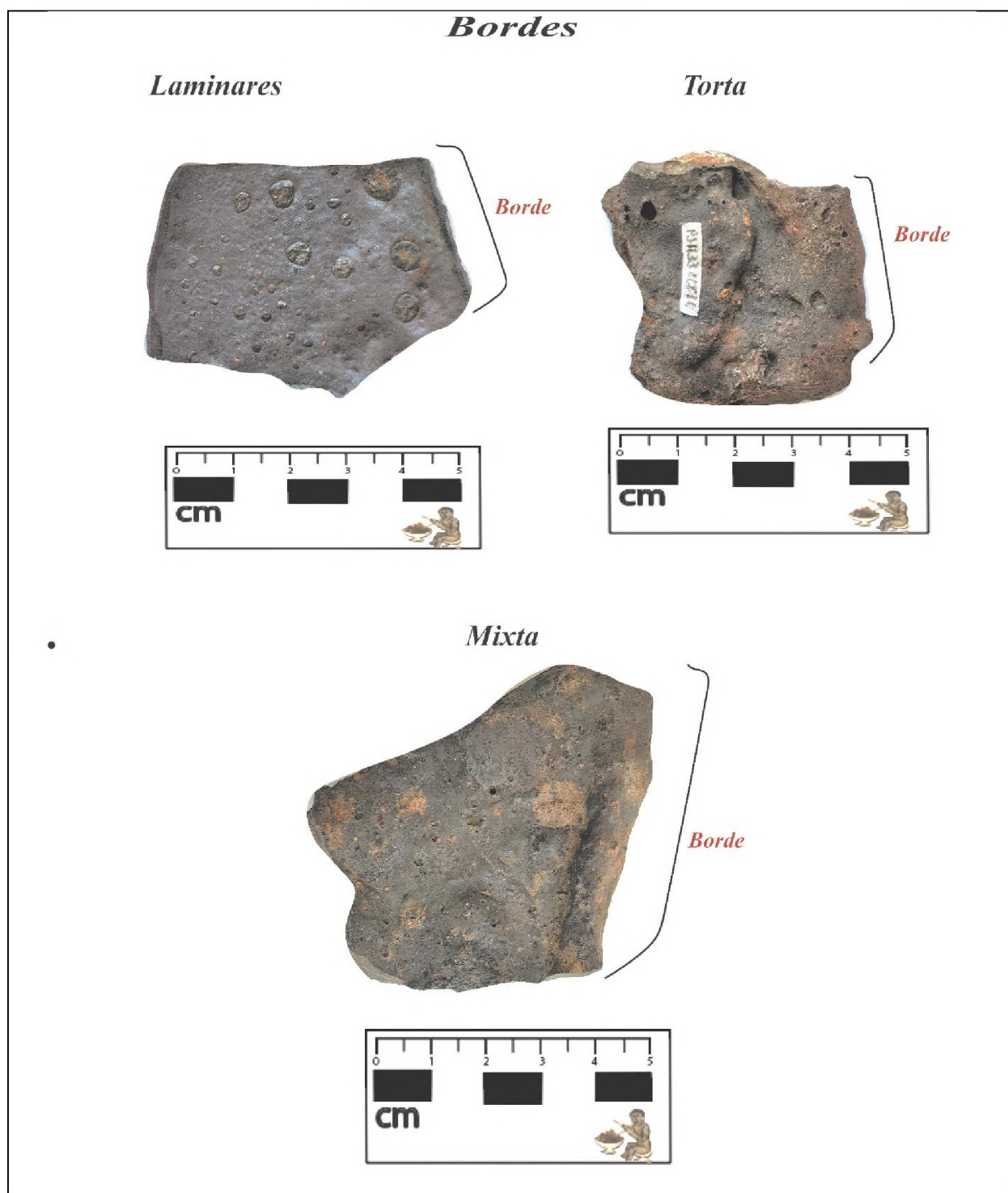
Por otro lado, las escorias mixtas muestran una mayor acumulación en 14 cm (7 casos) y 15 cm (5 casos), con una distribución similar a las laminares, pero con un rango ligeramente más amplio que llega hasta los 19 cm. Las escorias tipo torta, en cambio, presentan una distribución más uniforme a lo largo del rango, con un número significativo de casos en los diámetros de 14 cm a 18 cm, lo que sugiere una mayor variabilidad en su formación.

Gráfico 7 Diámetros de las escorias



Fuente: elaboración propia

Figura 8 Borde de las escorias



Fuente: Elaboración propia. Se presenta el perfil de los bordes, en el cual se logró medir el diámetro.

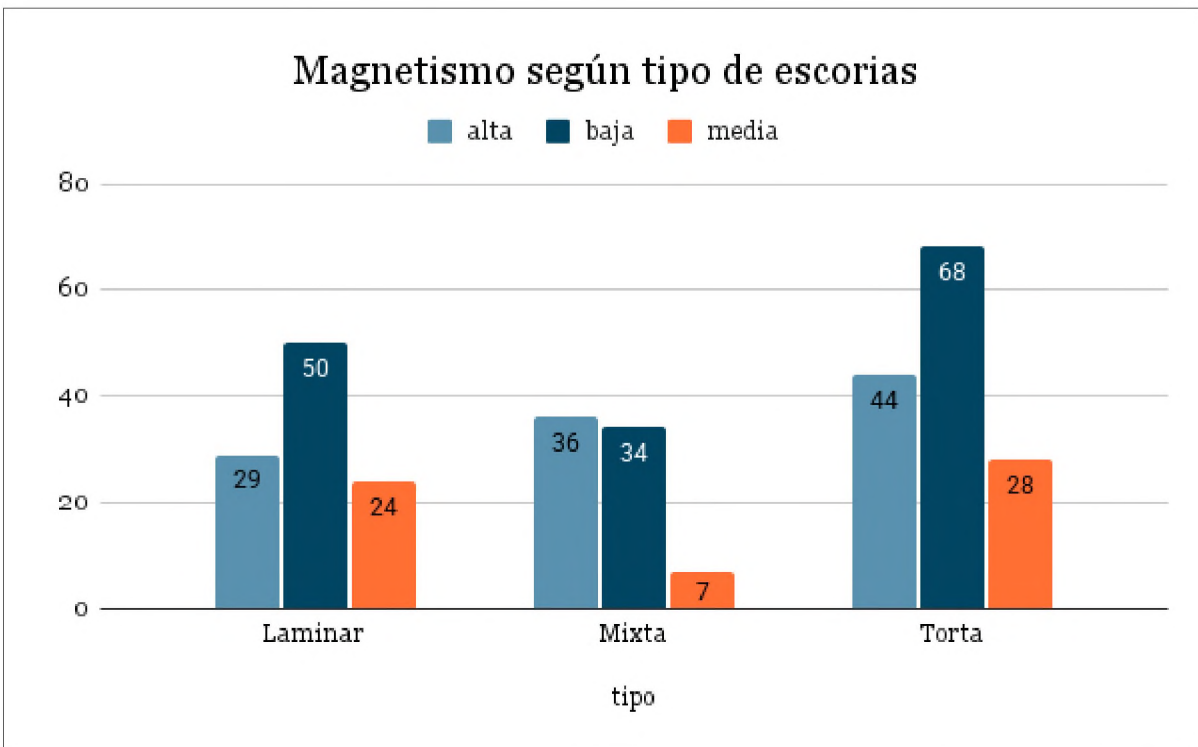
4.5.7. Magnetismo según tipo de escoria

La presencia de magnetismo en las escorias se debe a la existencia de magnetita (Fe_3O_4), que se forma cuando los óxidos de hierro presentes en la carga del horno no se combinan con silicatos para formar fayalita, y en su lugar, cristalizan de manera independiente sobre la matriz vidriosa o los cristales de fayalita de la escoria. La presencia de magnetita sugiere que la atmósfera dentro del horno era reductora pero no en exceso. En general, la presencia de magnetita es muy habitual en la extracción de cobre e indica una atmósfera de reducción moderada que, además, se podía obtener a unas temperaturas al alcance de las antiguas tecnologías de entre 1000-1100 °C, rango de temperaturas en que se produce también la reducción del cobre y la formación de fayalita. Es así como, las escorias con mayor fluidez tienden a ser más magnéticas (Hauptmann 2007).

Durante el proceso de reducción, los silicatos y los óxidos de hierro se combinan para formar fayalita (Fe_2SiO_4), lo que resulta en una escoria líquida y densa. Sin embargo, no todos los óxidos de hierro reaccionan para formar fayalita. Los óxidos de hierro que no se incorporan a la fayalita cristalizan de manera independiente en la matriz de la escoria, formando magnetita (Fe_3O_4). La presencia de magnetita sugiere que la atmósfera dentro del horno era reductora, pero no en exceso, lo que permitió la formación de ambos compuestos. En cuanto a la fluidez de las escorias, las más finas y fluidas tienden a ser más magnéticas debido a la mayor presencia de magnetita. Por el contrario, las escorias tipo "torta", que son menos fluidas y contienen más inclusiones de cuarzo, generalmente muestran menos magnetismo. Esto se debe a la saturación de cuarzo impide la formación de escoria líquida, reduciendo la movilidad del hierro y limitando la formación de magnetita (Hauptmann 2007; Rehren, T., & Pernicka, E. 2008).

En este sentido, es importante precisar que las muestras de escorias de Jicalán no siempre se comportan de acuerdo con las generalizaciones mencionadas en párrafos anteriores. Es posible que, debido a las fracturas, estas características varíen. En las escorias laminares, se observa un comportamiento variado en cuanto al magnetismo: existe un número similar de muestras con bajo, medio y alto magnetismo. En el caso de las escorias de tipo torta, también se presenta una distribución equitativa entre niveles de magnetismo alto, medio y bajo. Sin embargo, las escorias mixtas muestran una tendencia distinta, la mayoría de las muestras presentan niveles de magnetismo muy altos o bajos, y pocas presentando un nivel medio.

Gráfico 8 Magnetismo de las escorias



4.5.8. Resumen

El estudio de las escorias recolectadas en el sitio arqueológico Jicalán Viejo se basó en el análisis exhaustivo de 320 muestras obtenidas durante la prospección del año 2022, diferenciándose tres tipos: torta, laminar y mixta, de acuerdo con los criterios de análisis de forma, tamaño, grosor, porosidad, magnetismo, color e inclusiones. Las escorias tipo torta tienen una forma de tableta con una cara rugosa y porosa, y otra con brillo metálico, mientras que las escorias laminares son delgadas y con superficies lisas y signos de fluidez, mientras que las escorias mixtas combinan características de ambos tipos, presentando inclusiones de cuarzo y signos de fluidez.

El análisis comparativo de los indicadores morfológicos permitió identificar patrones en la formación de las escorias. Las escorias tipo torta presentan una mayor variabilidad en su forma, siendo algunas amorfas o en gotas. Por otro lado, las escorias laminares y mixtas tienen formas más regulares y consistentes. En cuanto al grosor, las escorias tipo torta tienen grosores mayores,

entre 0.7 cm y 4 cm, mientras que las laminares son más delgadas, con grosores entre 0.3 cm y 1.2 cm. Las escorias mixtas presentan un grosor intermedio, con variaciones entre 0.4 cm y 2.5 cm.

La porosidad también se analizó como un indicador clave del proceso metalúrgico. Las escorias de tipo torta presentaron una alta porosidad, mientras que las laminares y mixtas mostraron niveles de porosidad media o baja. En cuanto al color, predominó el gris en todos los tipos de escorias, con algunas muestras mostrando tonalidades marrones, especialmente en las escorias laminares. Las variaciones de color, como el rojo y el verde, fueron raras y podrían atribuirse más a la meteorización y erosión de las escorias que a variaciones en los procesos de reducción.

5. CAPITULO 5: Análisis e Interpretaciones de los Hallazgos en Jicalán Viejo

5.1. Interpretación de la cadena operativa en Jicalán Viejo

En esta sección se propone una reconstrucción del proceso metalúrgico en sus diferentes etapas de la cadena operativa basado en el análisis de la tipología de las escorias de cobre en Jicalán Viejo, y contextualizando con las evidencias arqueológicas que sustentan cada fase. Las interpretaciones aquí presentadas se han desarrollado a través del análisis de las escorias encontradas en el sitio, combinando los resultados de estudios científicos con diversas fuentes históricas y arqueológicas. Comenzaremos con la *extracción*, el primer eslabón de la cadena, donde se reflexiona sobre las posibles fuentes de mineral y las minas que pudieron haber abastecido a los metalurgistas de Jicalán Viejo.

A continuación, nos enfocaremos en el proceso de *reducción*, crucial para transformar las menas sulfídicas en cobre metálico. A través del análisis de escorias y componentes químicos, es posible identificar los métodos de reducción utilizados por los habitantes de Jicalán Viejo. Por último, la *refinación* se convierte en una etapa final para la obtención de cobre puro, a refinación constituye la etapa final para la obtención de cobre puro. En esta fase, es probable que se hayan utilizado crisoles para lograr un control más preciso de las temperaturas y garantizar la separación eficiente de impurezas residuales.

5.1.1. Extracción: Minería

Como se mencionó en el primer capítulo, es fundamental comprender la minería y el proceso de extracción de recursos, ya que esta constituye la primera fase para la obtención del cobre. Dado que los documentos históricos no especifican de qué minas se extrajeron los minerales utilizados en la producción de cobre en Jicalán Viejo, se han planteado diversas hipótesis al respecto.

El estudio de Osuna et al. (2022), titulado *Patrones de la vegetación y su relación con vestigios arqueológicos asociados al beneficio de cobre en la localidad de Jicalán Viejo, Michoacán*, interpretan como una posible mina de donde pudo haberse extraído el mineral utilizado en la producción de cobre en Jicalán a las minas de Inguarán, una de las más importantes de la época

prehispánica en la región de Tierra Caliente, junto con Cocian y Churumuco. Se menciona que, la relevancia de estas minas está documentada en fuentes históricas y en el lienzo de Jicalán que representa rutas comerciales y mineras. Se considera que, además de la extracción de minerales, en estas minas se llevaba a cabo una primera fase de procesamiento, que incluía la selección de la mena y, posiblemente, un primer proceso de reducción antes de trasladar el material a otros centros metalúrgicos.

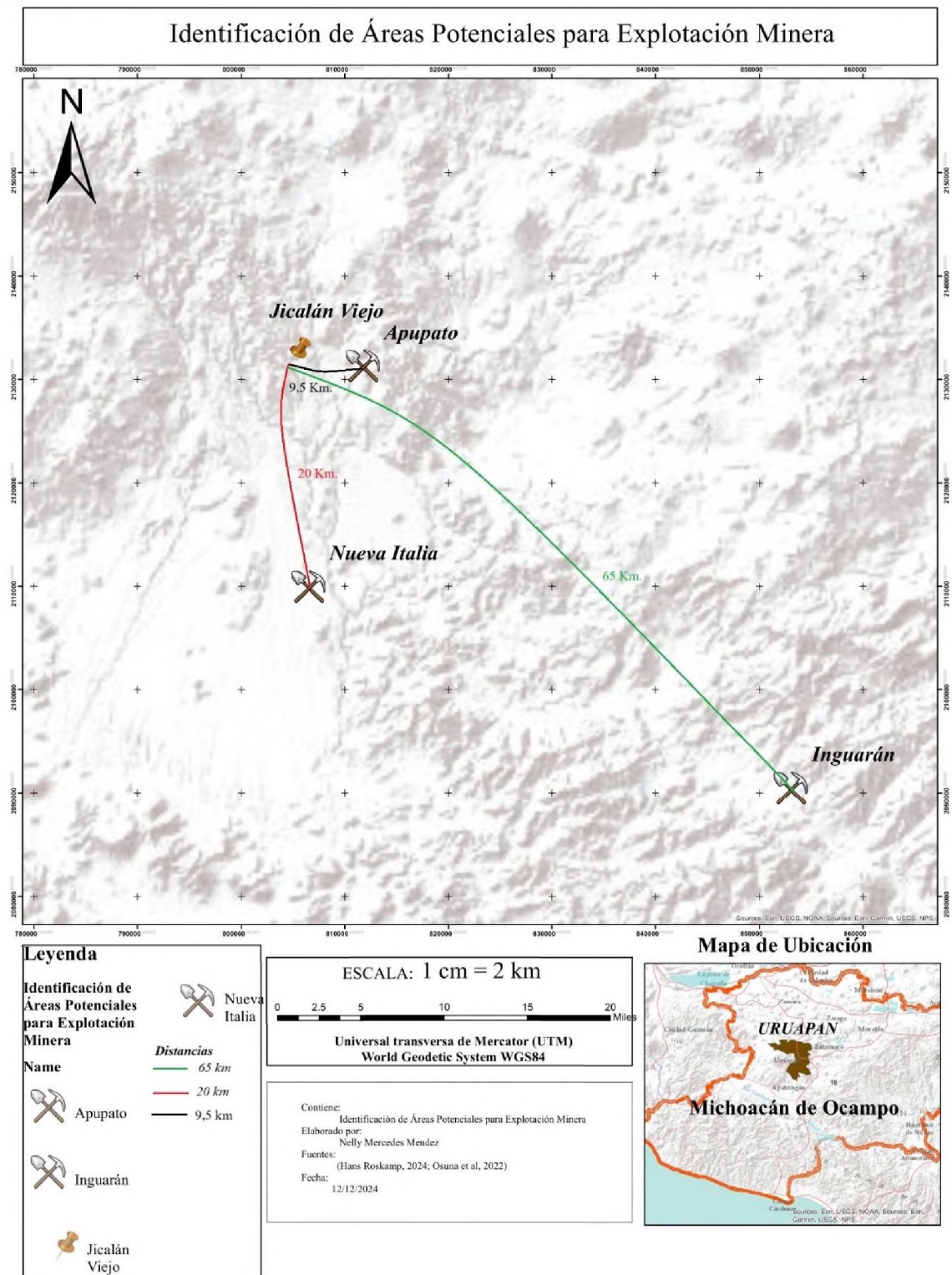
Por otra parte, según la comunicación personal de Hans Roskamp (2024), sus investigaciones recientes han identificado minas de cobre al norte de Nueva Italia, las cuales, debido a su proximidad, podrían haber sido una fuente de abastecimiento para la producción metalúrgica de Jicalán Viejo. Estas minas, aunque no cuentan con un nombre específico, han sido ubicadas en mapas del siglo XIX. Sin embargo, hasta el momento no se dispone de información precisa sobre la antigüedad de su explotación ni sobre su posible relación con actividades mineras prehispánicas o coloniales. Por otro lado, Roskamp afirma que la mina de Apupato fue explotada durante la época colonial, lo que la convierte en una candidata relevante dentro de la red de abastecimiento de minerales en la región. En este sentido, Apupato podría haber sido una de las fuentes de mineral utilizadas para el suministro de cobre en Jicalán Viejo.

Ahora bien, con base en un análisis de distancias de cada mina identificado en investigaciones previas, es importante señalar que la mina de Apupato se encuentra a 9,5 km en línea recta de Jicalán Viejo, mientras que las minas de Nueva Italia están a 20 km e Inguarán a 60 km. Desde una perspectiva lógica, el principio filosófico de la Navaja de Ockham, que sostiene que la explicación más sencilla suele ser la más probable, permite inferir que los habitantes de Jicalán Viejo habrían priorizado la obtención de minerales de la mina más cercana, en este caso, Apupato. Es importante señalar que, hasta el momento, los documentos históricos no han proporcionado información sobre estas minas. Si bien en este análisis se plantea una hipótesis sobre su posible explotación, es fundamental complementarla con otros factores, como la accesibilidad de las rutas y las evidencias arqueológicas que confirmen la actividad minera en la región.

Otro aspecto relevante en el análisis de los estudios realizados en Jicalán Viejo es que la extracción de cobre se llevaba a cabo principalmente a partir de minerales sulfurados, los cuales también presentaban altos contenidos de arsénico. Este dato es significativo, ya que el arsénico es un

elemento común en los yacimientos de cobre de tipo sulfurado y su presencia puede influir en las técnicas metalúrgicas utilizadas, así como en la composición final de las escorias y otros residuos del proceso. Sin embargo, no se cuenta con información detallada sobre los minerales específicos de cada mina en la región.

Mapa 3 Minas potenciales para Jicalán Viejo



Fuente: Mapa de elaboración propia a través del dialogo con Hans Roskamp (2024) y sitio ubicado en el estudio de Osuna et al. (2022). En el mapa se puede observar la ubicación y la distancia de las minas que, según estudios previos, han sido identificadas como posibles fuentes de mineral para Jicalán Viejo.

5.1.2. Tipo de reducción: Reducción de menas sulfídicas de cobre en Jicalán Viejo.

En este estudio al ser un estudio a escala macroscópica, no se ha podido determinar si las escorias son el producto de menas sulfídicas, sin embargo, en este mismo sitio se realizó un estudio de análisis de laboratorio SEM, realizado por Andrés Sánchez, en el año 2023. En el cual se ha mostrado los siguientes resultados: las escorias analizadas contienen partículas metálicas con altos niveles de cobre (Cu) y azufre (S), lo que indica la presencia de mena sulfídica. Algunas muestras presentan concentraciones de cobre entre 39.2% y 86,4% y de azufre entre 20.1% y 24.8%, identificando algunas fases minerales que corresponden con sulfuros de cobre, como la calcosita (Cu_2S) o la bornita (Cu_5FeS_4) (Sánchez, 2023), por lo que se puede inferir que en este sitio se llevaba a cabo la reducción de menas sulfídicas de cobre (Tabla 8).

Tabla 8 análisis químico de escorias

Color Part./Metálica/Elementos Químicos	Amarillas Alta Cu	Amarillas-Azul Claro-Beige	Azul Claro Tipo 1	Azul Claro Tipo 2	Lila	Color Cobre	Gris
Rica FeO							
Cu	39.2	56.4	52.4	70.5	58.6	86.4	1.4
S	22.4	24.8	20.1	20.3	21.8	2.1	0
Fe	23.2	11.4	15.7	4.5	12.1	5.1	53.2
As	n/a	n/a	2.3	n/a	1.2	n/a	1.8
Silicatos SiO₂							
Cu	49.2	5	26.1	62.6	50.9	72.3	n/a
S	25.5	25.3	23.2	22.2	23.4	16.8	n/a
Fe	14.1	46.6	26.6	4.4	14.6	2.7	n/a
As	8.6	n/a	n/a	4.2	1.2	n/a	n/a

Fuente: (Sánchez 2023; 196)

Asimismo, esta forma de producción metalúrgica coincide con estudios previos en otras regiones como las de Rostoker et al. (1986) y Rehder (2000) las cuales han documentado que en la reducción de menas sulfuradas se genera primero un subproducto conocido como mata sulfídica, la cual puede contener entre un 15% y 60% de cobre y el resto esencialmente azufre. Luego, mediante

procesos de separación, se extrae el cobre metálico puro en la parte inferior del horno, mientras que la escoria queda sobre el metal y el azufre se volatiliza (Sánchez 2023).

Sánchez, sugiere que los metalurgistas locales llevaban a cabo un proceso sofisticado de reducción, eliminando impurezas y regulando la temperatura del horno. La caracterización inequívoca de dos tipos de escorias que han sido previamente identificadas en otros procesos metalúrgicos de extracción de cobre de menas sulfídicas aquí cita toda la bibliografía, Addis y los demás), además de los argumentos aportados por el estudio de microanálisis (Sánchez 2023, Maldonado 2009) confirma que en Jicalán Viejo se realizaban procesos sofisticados vs de reducción de menas sulfurosas para la producción de cobre metálico.

5.1.3. Componentes y herramientas en la producción de cobre en Jicalán Viejo

En el proceso de reducción, son necesarios varios componentes, como el carbón, hornos y herramientas especializadas. Estudios realizados sobre restos vegetales en la región, pueden sugerir que en Jicalán Viejo, Michoacán, la madera utilizada para la obtención de carbón probablemente provenía de recursos locales, como el encino (*Quercus spp.*), conocido por su alta densidad y brasas duraderas (Rzedowski 2006), el pino (*Pinus spp.*), abundante en la región y valorado por sus propiedades combustibles (Martínez & Galindo-Leal, 2002), el oyamel (*Abies spp.*), común en zonas de mayor altitud, y el aile (*Alnus spp.*), utilizado en procesos metalúrgicos por su combustión eficiente. La selección de estas especies estaría relacionada con su disponibilidad en los bosques cercanos y sus propiedades para alcanzar las altas temperaturas necesarias en la reducción del cobre (Hosler 1994).

Por otro lado, a través del análisis de las escorias, se busca identificar la tecnología que podrían haber sido empleadas durante el proceso metalúrgico en el sitio. Estos estudios pretenden proporcionar información sobre los materiales y técnicas utilizadas por los metalurgistas de Jicalán Viejo para llevar a cabo la reducción y la producción de cobre.

Carbón:

Para la obtención de cobre en procesos preindustriales, uno de los aspectos más relevantes es la cantidad de combustible necesario para llevar a cabo la fundición. Tradicionalmente, se ha

utilizado carbón vegetal como fuente principal de energía, dado que este material es eficiente para alcanzar las temperaturas requeridas durante la reducción del mineral. El estudio de Castro (2018) proporciona datos sobre la cantidad de carbón vegetal de pino utilizado en la producción de cobre a partir de calcopirita. Según los experimentos realizados en este estudio, para procesar 500 g de mineral calcopirita, se requieren aproximadamente 7500 g de carbón vegetal de pino, lo que resalta la alta proporción de carbón necesario en comparación con la cantidad de mineral procesado. Esto en temperaturas promedio alcanzadas en estos experimentos que varían entre los 830°C y los 1132°C, lo que demuestra que se requieren condiciones térmicas bastante exigentes para lograr la reducción del mineral y la posterior obtención de cobre. El tipo de horno utilizado en este experimento fue similar a los empleados tradicionalmente en Santa Clara del Cobre, Michoacán, específicamente el modelo de hoyo excavado. Este tipo de horno consiste en una cavidad en el suelo, revestida con materiales refractarios, que permite alcanzar las altas temperaturas necesarias para la fundición del cobre. Su diseño sencillo y eficiente ha sido utilizado históricamente en la región debido a su adaptabilidad a los recursos locales y su capacidad para mantener un control adecuado de las condiciones de reducción (Castro 2018).

En relación con la posible existencia de un bosque en el sitio de Jicalán Viejo, estudios apuntan a la presencia de un bosque adecuado para la producción metalúrgica. En el estudio de Domínguez et al. 2022, se extrajo un núcleo de 23 cm de profundidad desde el fondo de un lago, ahora convertido en embalse, en Jicalán Viejo. Con esto se realizó un análisis de polen que permitió identificar la presencia de un bosque tropical lluvioso, con especies predominantes como Moraceae, Ficus, Pouteria, Meliaceae y Fabaceae, que son características de este tipo de ecosistemas (Domínguez et al. 2023).

Sin embargo, también se detectaron especies de hábitats alterados, como Asteraceae, Poaceae, Cyperaceae, Chenopodiaceae, Solanaceae y Euphorbiaceae, lo que indica la influencia de actividades humanas sobre el entorno. Además, la presencia de polen de *Zea mays* y *Cucurbita* en los primeros 5 cm sugiere la práctica de la agricultura. A lo largo del núcleo, los taxones secundarios, que incluyen especies asociadas a hábitats perturbados, dominan, lo que refleja un proceso continuo de deforestación impulsado por actividades humanas, particularmente la agricultura (Domínguez et al. 2023),

Este estudio apoya la hipótesis de que Jicalán Viejo estuvo cubierto por un bosque tropical lluvioso, el cual fue progresivamente alterado por las acciones humanas, como la agricultura y la metalurgia, pues en este último se requerían grandes cantidades de madera y recursos vegetales para la producción de metales, en este caso, cobre.

Las especies identificadas en el análisis de polen, tanto del bosque tropical lluvioso como de hábitats alterados, presentan características variables que las hacen más o menos adecuadas para la producción de carbón vegetal. Entre las especies del bosque tropical lluvioso, las Moraceae (higueras) destacan por su madera densa y de alta calidad, lo que las convierte en una excelente opción para producir carbón con alto poder calorífico (Domínguez et al. 2023). Sin embargo, su crecimiento lento y menor disponibilidad en zonas alteradas limitan su uso a largo plazo (Rzedowski, 2006). Por otro lado, los Ficus (amates) tienen una madera semidura que es fácil de quemar y produce brasas consistentes, aunque su menor densidad en comparación con otras maderas duras reduce su eficiencia como fuente de carbón (Martínez & Galindo-Leal 2002). Otras especies como Pouteria (zapote) y Meliaceae (caoba o cedro) ofrecen maderas muy densas y resinosas, ideales para carbón de alta calidad, pero su crecimiento lento y, en el caso de las Meliaceae, su estatus de especies amenazadas, dificultan su uso sostenible (Hosler 1994).

En contraste, las especies de hábitats alterados, como Asteraceae, Poaceae, Cyperaceae, Chenopodiaceae/Amaranthaceae, Solanaceae y Euphorbiaceae, presentan ventajas y desventajas diferentes. Las Poaceae (pastos) y Cyperaceae (juncos) son de crecimiento rápido y amplia disponibilidad, pero su baja densidad y alto contenido de cenizas las hacen menos eficientes para la producción de carbón (Domínguez et al. 2023). Las Asteraceae y Chenopodiaceae/Amaranthaceae, aunque abundantes en zonas perturbadas, también tienden a producir carbón de menor calidad debido a su baja densidad y rápido consumo durante la combustión (Rzedowski 2006). Por otro lado, algunas Euphorbiaceae y Solanaceae pueden tener maderas más densas y adecuadas para carbón, pero su disponibilidad y propiedades varían ampliamente según la especie (Martínez & Galindo-Leal 2002).

Tabla 9 Comparación de plantas de acuerdo con los estudios de polen en Jicalán Viejo

Familia/Esp ecie	Tipo de Hábitat	Densida d de la Madera	Poder Calorífi co	Crecimie nto	Disponibili dad	Ventajas	Desventaja s
Moraceae (e .g., higueras)	Bosque tropical lluvioso	Alta	Alto	Lento	Limitada en zonas alteradas	Madera densa, ideal para carbón de alta calidad.	Crecimient o lento, menor disponibilid ad en áreas perturbadas .
Ficus (e.g., amates)	Bosque tropical lluvioso	Semidur a	Moderado	Moderado	Moderada	Fácil de quemar, produce brasas consistentes .	Menor densidad, menor eficiencia comparada con maderas duras.
Pouteria (e.g , zapote)	Bosque tropical lluvioso	Alta	Alto	Lento	Limitada en zonas alteradas	Madera muy densa, excelente para carbón de alta calidad.	Crecimient o lento, menos disponible en áreas alteradas.
Meliaceae (e .g., caoba)	Bosque tropical lluvioso	Muy alta	Muy alto	Lento	Limitada (especies amenazadas)	Madera resinosa y densa, ideal para carbón de alta calidad.	Crecimient o lento, especies amenazadas , uso no sostenible.
Asteraceae	Hábitats alterados	Baja	Bajo	Rápido	Alta	Abundante en zonas perturbadas , de fácil acceso.	Baja densidad, produce carbón de menor calidad.
Poaceae (pas tos)	Hábitats alterados	Muy baja	Muy bajo	Muy rápido	Muy alta	Crecimient o rápido, amplia disponibilid ad.	Muy baja densidad, alto contenido de cenizas, carbón poco eficiente.
Cyperaceae (juncos)	Hábitats alterados	Baja	Bajo	Rápido	Alta	Crecimient o rápido, fácil de recolectar.	Baja densidad, produce carbón de

							baja calidad.
Cheno/Amaranthaceae	Hàbitats alterados	Baja	Bajo	Rápido	Alta	Abundante en zonas alteradas, de fácil acceso.	Baja densidad, carbón de menor calidad.
Solanaceae	Hàbitats alterados	Variable (moderada a alta)	Variable	Rápido a moderado	Variable	Algunas especies tienen madera densa y adecuada para carbón.	Disponibilidad y propiedades varían ampliamente según la especie.
Euphorbiaceae	Hàbitats alterados	Variable (moderada a alta)	Variable	Rápido a moderado	Variable	Algunas especies tienen madera densa y adecuada para carbón.	Disponibilidad y propiedades varían ampliamente según la especie.

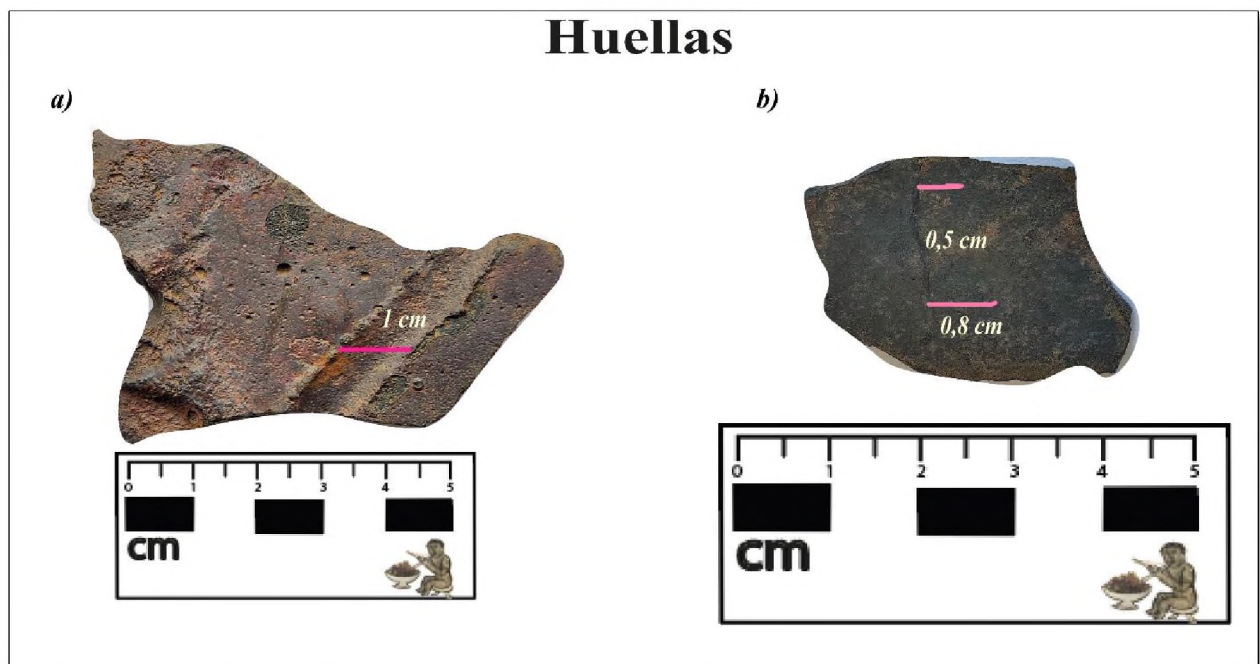
Fuente: Elaboración propia

Herramientas: En el proceso de producción de cobre en Jicalán Viejo, el análisis de las herramientas utilizadas es fundamental para comprender las técnicas metalúrgicas empleadas por los habitantes del sitio. Sin embargo, hasta el momento, la ausencia de excavaciones arqueológicas ha impedido la identificación directa de las herramientas asociadas a este proceso.

Ante esta limitación, se ha adoptado un enfoque indirecto basado en el análisis de las huellas o marcas dejadas en las escorias durante su manipulación. Se plantea la hipótesis de que, antes de que las escorias se enfriaran por completo, las herramientas utilizadas en la reducción del cobre pudieron haber dejado impresiones o marcas en su superficie. Estas huellas podrían representar una evidencia indirecta de las herramientas y técnicas empleadas. Las escorias, como productos residuales del proceso metalúrgico, tienen el potencial de conservar detalles que proporcionan información valiosa sobre su manipulación y el tipo de herramientas que pudieron estar involucradas. Este enfoque permite inferir aspectos clave de la tecnología metalúrgica utilizada en Jicalán Viejo, incluso en ausencia de herramientas físicas recuperadas.

En las escorias analizadas en Jicalán Viejo se han identificado improntas regulares, lo que sugiere el uso repetido de un mismo instrumento o herramienta. En particular, en las escorias laminares se ha observado una impresión de aproximadamente un centímetro de ancho (Figura 9). La forma de la marca, caracterizada por líneas verticales, indica que podría haber sido dejada por una herramienta utilizada para mover o extraer la escoria del horno, posiblemente unas pinzas o un palo o barra fina. Asimismo, en la (Figura 9b), se identifica otra huella con variaciones de ancho que oscilan entre 0,5 cm y 0,8 cm. Aunque no se puede determinar con certeza qué tipo de herramienta dejó estas impresiones, su presencia refuerza la hipótesis de que los metalurgistas de Jicalán Viejo empleaban instrumentos para manipular la escoria durante el proceso de reducción, en toda probabilidad para sacarla del horno y separarla del baño de metal fundido.

Figura 9 Huellas



Posibles marcas de herramientas empleadas en la extracción y manipulación de escoria en Jicalán Viejo.

Por otro lado, en las escorias tipo torta se han identificado huellas de un tipo diferente. En estas, se observa una marca cilíndrica de aproximadamente 0,5 cm de ancho, la cual atraviesa toda la escoria, esto se puede visualizar en la (

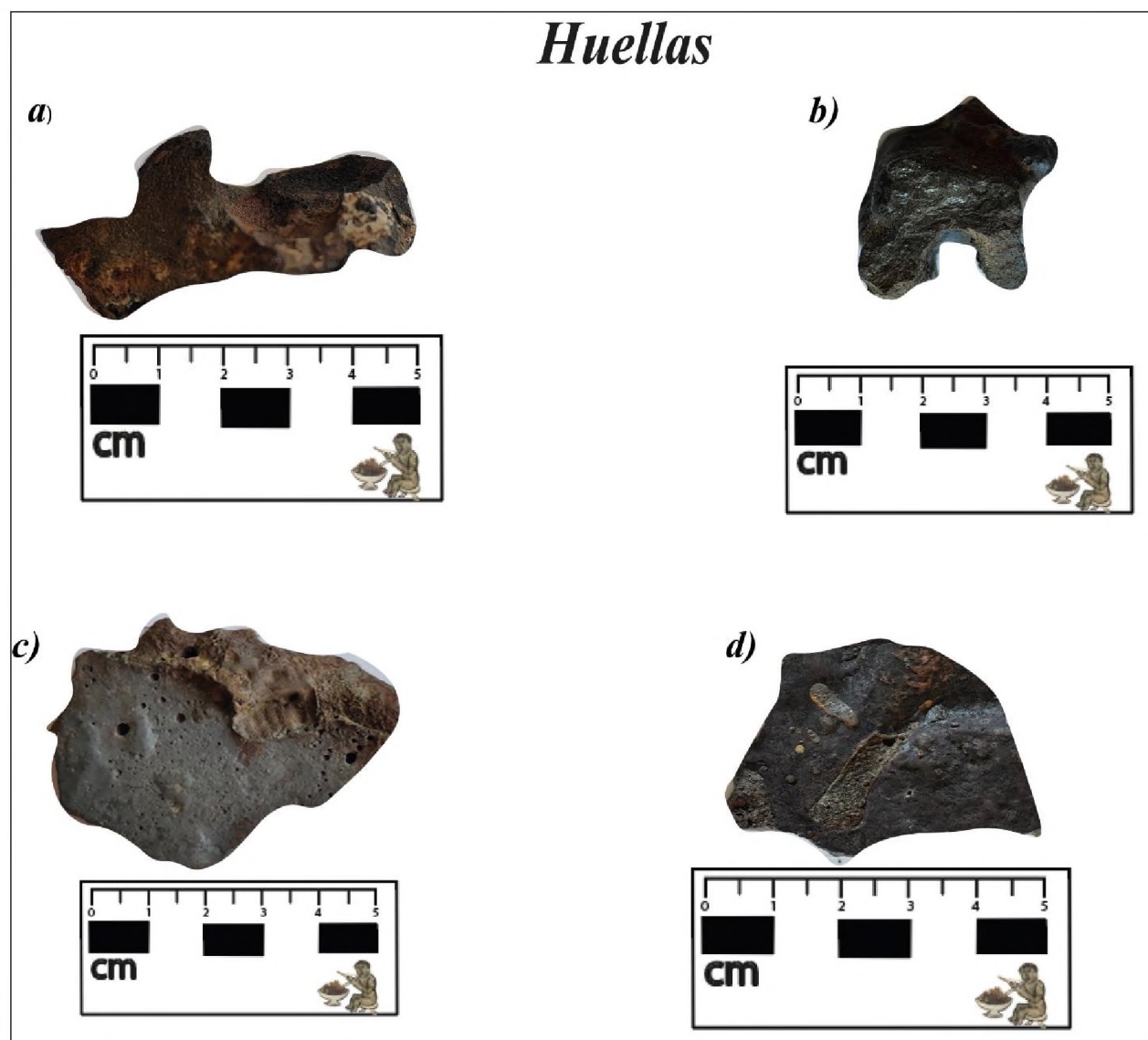
Figura 10ayb). Esta característica sugiere que la huella pudo haber sido dejada por una herramienta que perforaba o pasaba a través de la escoria antes de su solidificación, posiblemente un palo o un instrumento similar.

Dada su patrón y morfología, es probable que estas marcas hayan sido producidas por un elemento cilíndrico utilizado para avivar el fuego o regular el flujo de aire durante el proceso metalúrgico. Alternativamente, podrían ser el resultado de la manipulación de las escorias con un palo en el momento de su solidificación, ya sea para moverlas o extraerlas del horno. Estas huellas proporcionan evidencia indirecta de las herramientas y técnicas empleadas en la producción de cobre en Jicalán Viejo.

En las escorias de tipo mixto se han encontrado huellas impregnadas en la parte inferior, como se visualiza en la (

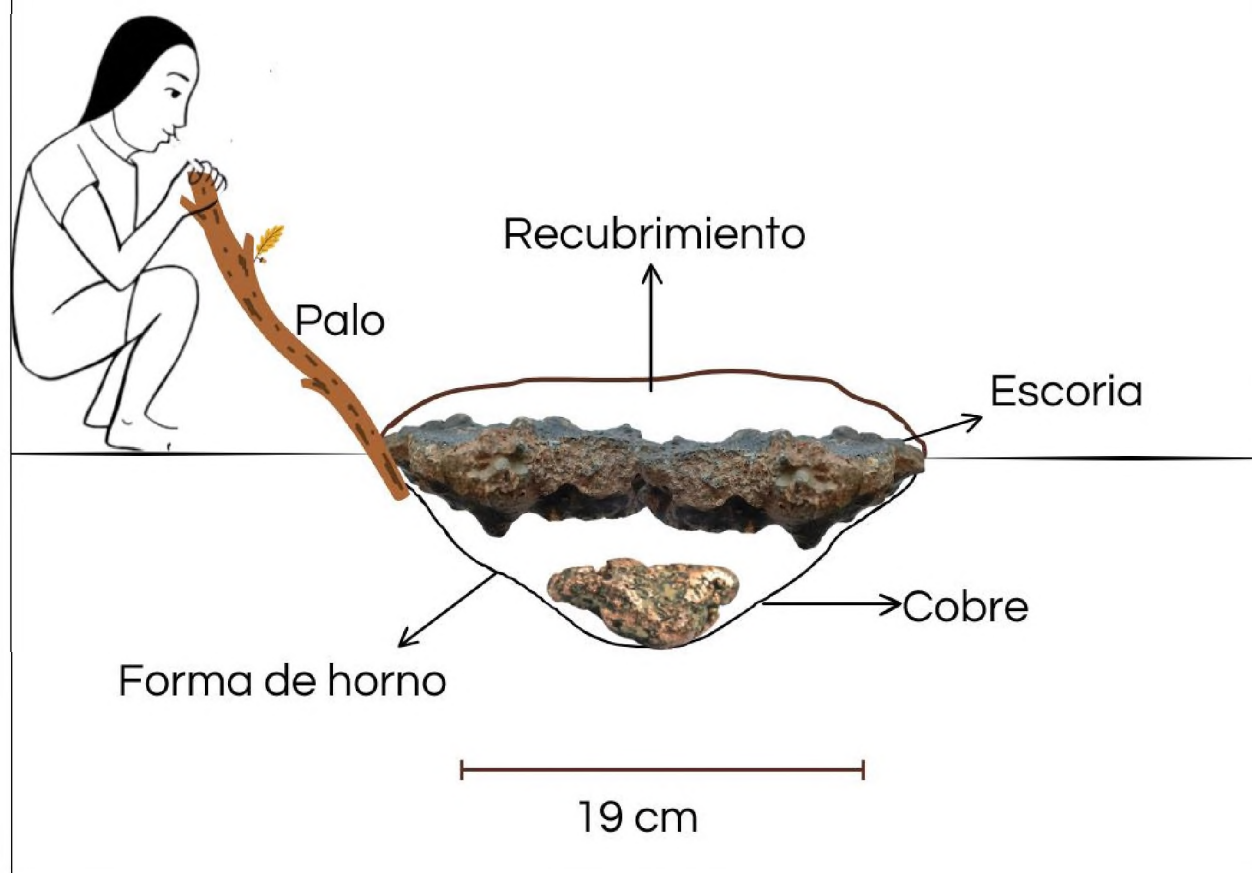
Figura 10c y d), con un ancho que varía entre 0,5 cm y 0,7 cm. A diferencia del primer caso, estas marcas no atraviesan toda la escoria, lo que sugiere que la manipulación ocurrió poco antes de su completa solidificación. Esto indicaría el uso de herramientas para mover la escoria en su estado aún semifluido, posiblemente con el propósito de facilitar su extracción o separación con el cobre.

Figura 10 Huellas



Huellas en escorias: a) y b) huellas en escorias tipo torta; c) y d) huellas en escorias de tipo mixto.

Procedimientos para la remoción de escoria en los hornos metalúrgicos de Jicalán Viejo



Fuente: Elaboración propia. Imagen muestra extracción de la escoria del horno con un palo.

Hornos y proceso de reducción:

En el análisis de las escorias se ha observado que algunos bordes presentan formas redondeadas y una marcada concavidad. Estos rasgos sugieren que las escorias pudieron haberse enfriado dentro

de una cavidad o un agujero, lo que permite hacer inferencias sobre el horno en el que se llevó a cabo el proceso metalúrgico. Los diámetros registrados en las escorias, explicados en la sección 4.5.6 muestran una variabilidad que condicionada por las dimensiones del recipiente contenedor. Estas dimensiones pueden proporcionar pistas sobre la forma y el tamaño de la estructura utilizada para la reducción del cobre.

Con base en estudios previos sobre la metalurgia del cobre en Jicalán Viejo, se plantea la hipótesis de que se emplearon hornos de hoyo excavados en el suelo. Este tipo de hornos han sido documentados en otros sitios con prácticas similares, y su uso podría explicar las características observadas en las escorias del sitio, así en los estudios experimentales de Castro, 2018, en donde se explica que los hornos de este tipo B utilizados consistieron en hoyos abiertos, similares a las empleadas por los artesanos de Santa Clara del Cobre, pero de menor tamaño. Estas estructuras tenían un orificio de 8 cm de profundidad y 20 cm de diámetro, aunque con la presencia de ceniza estas dimensiones se reducían a 7 cm y 19 cm, respectivamente. El objetivo principal de estos experimentos fue evaluar si este tipo de horno podía generar el calor y las condiciones necesarias para la reducción del mineral de cobre, permitiendo su transformación en metal. Además, se buscaba determinar si la cendrada, al carecer de un cuenco cerámico y estar solo recubierta de ceniza, era capaz de resistir el proceso de reducción sin colapsar. Este tipo de horno funciona como una cavidad excavada en la tierra, donde la ceniza actúa como aislante térmico y regulador del calor. Al no contar con una estructura cerámica, la eficiencia térmica depende de la cantidad y distribución de la ceniza, que ayuda a mantener las temperaturas necesarias para la reducción del mineral y la obtención del cobre metálico (Castro 2018).

En este análisis, debido a la falta de más evidencia arqueológica que el estudio de las escorias, se plantea la hipótesis de que los hornos utilizados fueron de tipo hoyo. Los diámetros registrados en las escorias de los tres tipos analizados oscilan entre los 12 cm y 19 cm, lo que sugiere que pudieron haberse empleado los mismos hornos. Se propone que estos hornos eran estructuras excavadas en el suelo con un posible recubrimiento, diseñadas para contener el combustible y los minerales durante el proceso de reducción.

Es probable que los hornos utilizados en Jicalán Viejo contaran con un revestimiento superficial para mantener la temperatura y mejorar la eficiencia térmica. Este tipo de revestimiento, común en hornos tradicionales, habría estado compuesto de materiales refractarios

como arcilla o piedra, que ayudan a retener el calor y optimizar el proceso de fundición (Hosler 1994). Además, se plantea la utilización de cañutos (tubos o conductos) para la inyección de aire, con el fin de avivar la combustión y alcanzar las altas temperaturas necesarias para la fundición del cobre. Esta técnica, conocida como soplado de aire, es una práctica documentada en contextos metalúrgicos antiguos y mejora significativamente la eficiencia del proceso (Tylecote 1992; Rehren & Pernicka 2008).

Como se puede observar en las

Figura 12 Modelo de horno en Jicalán Viejo y

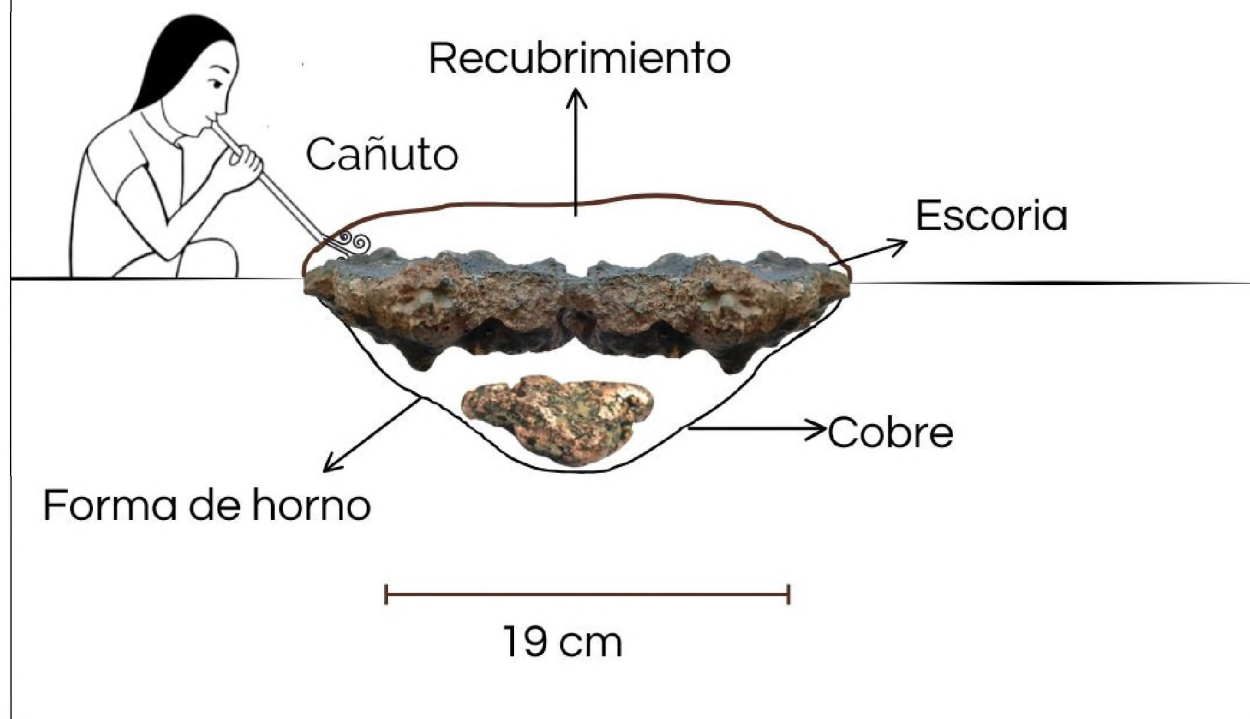
Figura 13 Modelo de horno en Jicalán Viejo, tanto en las escorias laminares como en las de tipo torta, se aprecia una adaptación a una estructura cóncava. Esto sugiere que ambas podrían haber tomado la forma del recipiente o espacio en el que fueron depositadas antes de solidificarse.

Se plantea que la diferencia en el tipo y morfología de las escorias se debe a las variaciones en los procesos de reducción. En este sentido, se presume que las escorias de tipo torta corresponden a una primera fase del proceso, en la cual, tras la trituración del mineral, este es sometido a calor, pero sin alcanzar una reducción completa. Esto se evidencia en su estructura, ya que aún presentan inclusiones de cuarzo y otras partículas no completamente fundidas. Esta hipótesis se complementa con la composición química de las escorias y su relación con los distintos estadios del proceso metalúrgico. Pues con el estudio realizado en el año 2023, por Andrés Sánchez en donde realizó un análisis detallado de las escorias de Jicalán Viejo utilizando microscopía, en las escorias de tipo torta se pudo observar cristales de cuarzo en tonos amarillo y blanco, junto con granos de otros minerales en diversas tonalidades, como blanco, rojo y marrón. También se identificaron partículas verdes, que posiblemente están relacionadas con óxidos de cobre. Por otra parte, en los análisis de la composición química de estas escorias se revelaron una alta concentración de silicatos (SiO_2), un compuesto común en minerales como el cuarzo y la arena. En el contexto metalúrgico, la presencia de silicatos sugiere que estos materiales no metálicos se separaron del metal durante el proceso de reducción, sin llegar a fundirse completamente, lo que indica que estas escorias podrían corresponder a una etapa temprana del proceso de reducción (Sánchez 2023).

El modelo de horno propuesto consiste en un hoyo excavado de forma cóncava, donde se depositaba el mineral junto con el combustible. No es descartable que esta estructura contara con un revestimiento y canales de aire que facilitaran la combustión y el control de la temperatura durante el proceso metalúrgico. Sin embargo, debido a la falta de evidencia concreta, no es posible determinar con certeza el tipo exacto de canales de aire utilizados, por lo que cualquier afirmación al respecto sería especulativa.

Figura 12 Modelo de horno en Jicalán Viejo

Posible modelo de horno en Jicalán Viejo



Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, se presume que las escorias laminares corresponden a una fase posterior, en la cual se introducen la mata y posiblemente el cobre reducido junto con alguna escoria de tipo torta. Durante este segundo paso, el metal se reducía más limpiamente al generarse una escoria más densa y fluida, lo que la completa separación del metal de la escoria. Como resultado, la escoria se fusiona por completo hasta alcanzar un estado líquido, lo que deja claros signos de fluidez en su estructura cuando se solidifica. Esta hipótesis se reafirma con los estudios realizados previamente por Sánchez, 2023, pues se menciona que, la ausencia de inclusiones minerales en la mayoría de estas escorias refuerza la afirmación de que corresponden a un proceso más avanzado y refinado en comparación con las escorias de tipo torta.

En el análisis realizado por Sánchez en 2023, se determinó mediante estudios de microestructura que las escorias laminares de Jicalán Viejo contienen esqueletos de fayalita de diferentes tamaños, con un contenido promedio de 65.6% de FeO y 29.5% de SiO₂. También se identificaron cristales

poligonales de fayalita, cuya composición química promedio incluye 64.1% de FeO, 32.8% de SiO₂ y 2.3% de MgO. La presencia de fayalita en las escorias laminares es un indicador clave de las condiciones específicas del proceso metalúrgico, sugiriendo un entorno rico en óxidos de hierro (FeO) y sílice (SiO₂) bajo altas temperaturas, lo que se asocia con etapas avanzadas de refinación. Esto resulta en una escoria más limpia y un metal más puro, además, la fayalita influye en las propiedades físicas de las escorias, como su densidad y textura (Sánchez 2023).

En la

Figura 13, se puede apreciar cómo la morfología de la escoria laminar se ajusta a la estructura del horno que hemos propuesto. Esto sugiere una estrecha relación entre la forma en que se produjo la escoria y las características del sistema de reducción utilizado en Jicalán Viejo.

Figura 13 Modelo de horno en Jicalán Viejo



Fuente: Elaboración propia

En conclusión, los datos analizados indican que no existe una variabilidad significativa en los diámetros de las escorias, los cuales se mantienen en un rango de 12 cm a 19 cm. Esta uniformidad sugiere que los hornos utilizados en el proceso de reducción del cobre en Jicalán Viejo tenían dimensiones relativamente constantes, lo que apunta al uso de hornos de tipo hoyo excavado en el suelo con un diseño estandarizado. Este tipo de horno, caracterizado por sus dimensiones estables, habría permitido mantener las condiciones necesarias para las diferentes fases del proceso metalúrgico, incluyendo la reducción y la solidificación de las escorias.

Además, es posible que el mismo hoyo se haya utilizado en ambas fases del proceso. En la primera fase, el horno estaría más lleno, lo que favorecería la formación de escorias con diámetros mayores. En la segunda fase, al reducirse el volumen de material, las escorias solidificadas tendrían

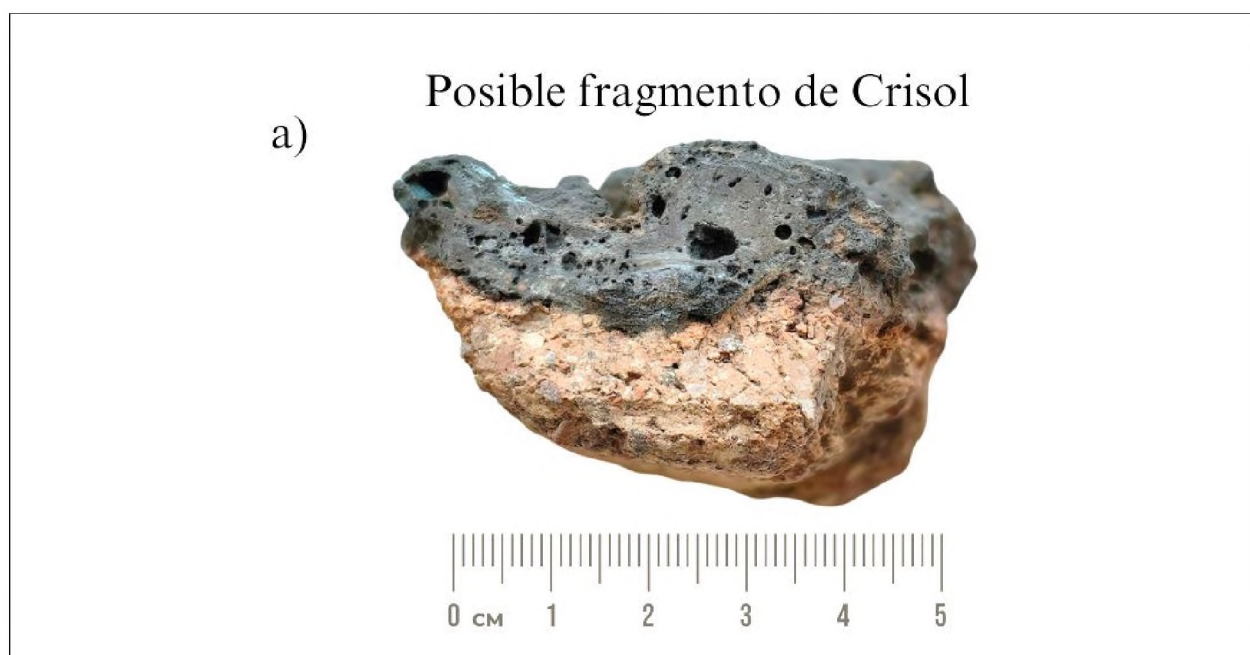
diámetros menores. Esta práctica refleja un conocimiento avanzado de las técnicas metalúrgicas y una optimización de los recursos disponibles, lo que permitía maximizar la eficiencia del proceso sin necesidad de construir estructuras adicionales.

Respecto a las fases del proceso, las escorias de tipo torta, con inclusiones minerales no completamente reducidas, se correlacionan con una fase temprana del proceso, en la que el mineral fue sometido a calor, pero sin una reducción completa del metal. En cambio, las escorias laminares, con una mayor fluidez y ausencia de inclusiones, sugieren una etapa más avanzada de la reducción, donde se alcanzaron temperaturas más altas y se completó la separación del cobre del material no metálico. Es decir, la uniformidad en los diámetros de las escorias refleja el uso de hornos con dimensiones estandarizadas para el proceso de reducción, mientras que las diferencias en las escorias son una indicación clara de las distintas fases de este proceso metalúrgico.}

Crisol: Durante la prospección arqueológica realizada en Jicalán Viejo, se identificó un fragmento de un posible crisol que contenía restos de escoria en su interior. Este hallazgo es significativo, ya que sugiere que, además del uso predominante de hornos de hoyo para la reducción del mineral, los metalurgistas del sitio pudieron emplear crisoles en casos específicos. Los crisoles, recipientes refractarios diseñados para soportar altas temperaturas, habrían sido utilizados para procesos como la refinación del cobre o la fundición de pequeñas cantidades de metal, permitiendo un mayor control sobre las condiciones térmicas y la pureza del producto final.

La presencia de escoria en el interior del fragmento refuerza la hipótesis de su uso en actividades metalúrgicas, ya que la escoria es un subproducto común de estos procesos. Este descubrimiento no solo amplía nuestra comprensión de las técnicas empleadas en Jicalán Viejo, sino que también resalta la versatilidad y el conocimiento técnico de los antiguos metalurgistas, quienes adaptaban sus herramientas y métodos según las necesidades específicas de cada etapa del proceso.

Figura 14 Posible Fragmento de Crisol

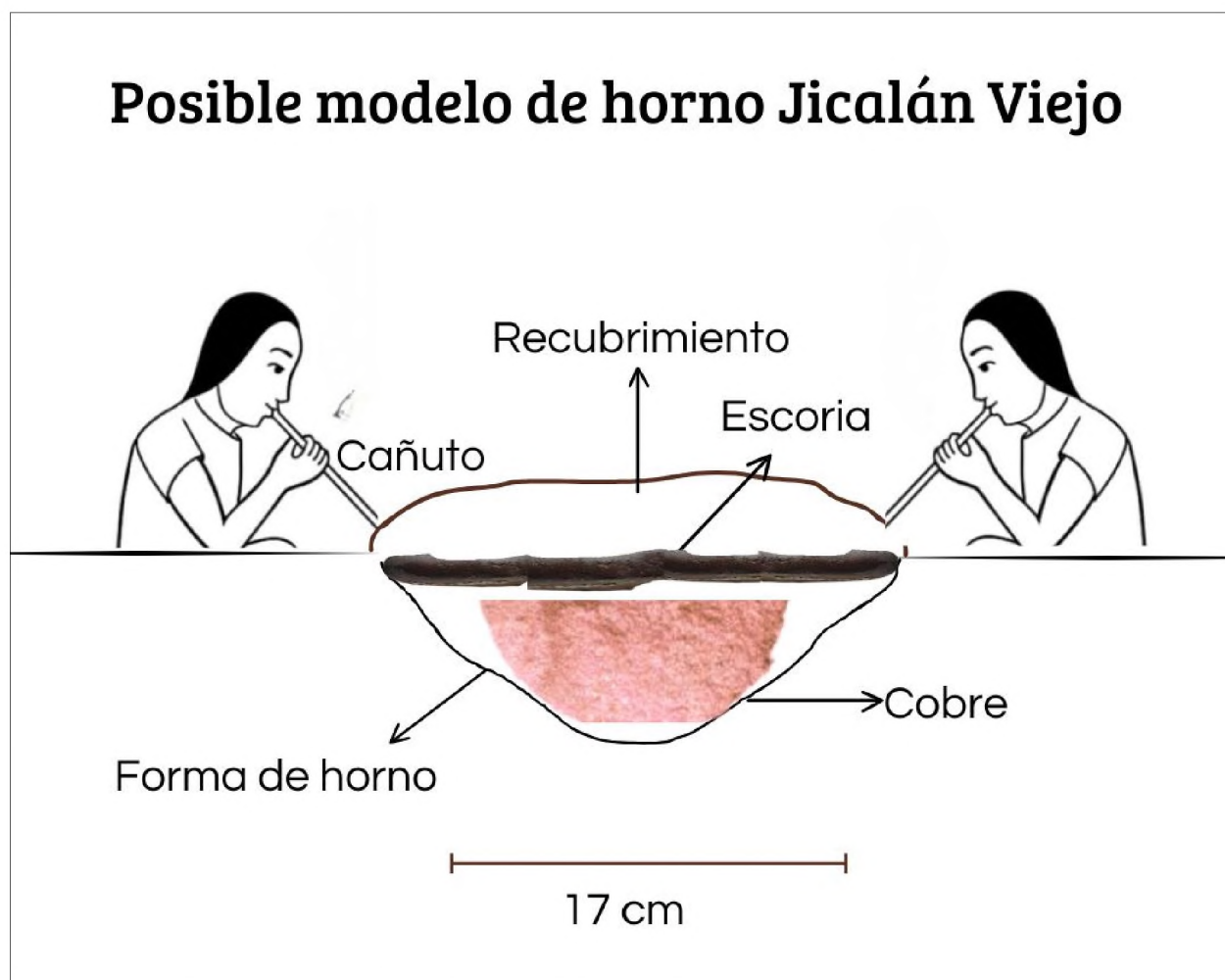


Fuente: Elaboración propia

5.1.4. Refinación

La presencia de escorias extremadamente finas, con tamaños que varían entre 0,1 mm y 0,4 mm, refuerza la interpretación de que en Jicalán Viejo también se llevaron a cabo procesos de refinación. Este tipo de residuos es característico de etapas metalúrgicas avanzadas, en las que se busca obtener un metal con mayor pureza mediante la eliminación de impurezas residuales. Las escorias finas son un subproducto común de estos procesos, ya que representan los últimos vestigios de material no metálico separado durante la refinación.

Es probable que este proceso de refinación se haya realizado en crisoles o en hornos de hoyo, ya que ambos tipos de estructuras habrían permitido alcanzar temperaturas más elevadas y mantener un ambiente controlado, condiciones esenciales para la eliminación eficiente de impurezas y la obtención de un metal más puro. En este contexto, las escorias finas encontradas en el sitio podrían ser el resultado de la separación de los últimos residuos no metálicos durante el refinamiento, especialmente si se utilizaron crisoles, los cuales ofrecen un mayor control sobre el proceso.



Fuente: Elaboración propia. Escorias finas y lingotes: Resultados de la refinación de cobre en Jicalán Viejo

5.2. Distribución de contextos en Jicalán Viejo

En el sitio Jicalán Viejo se han identificado 10 contextos de producción, determinadas a partir de estudios previos y con base en las concentraciones de materiales registradas durante la prospección arqueológica. La delimitación de estas áreas responde a la distribución de evidencias metalúrgicas en el sitio, lo que permite inferir zonas específicas de actividad productiva. Este proceso de identificación y clasificación ha sido detallado previamente en la sección 3.4, correspondiente a la Metodología.

A continuación, se presentará una descripción detallada de los hallazgos identificados en cada contexto:

Contexto 1: Transectos

La primera, denominada "Transectos", se ubica en la zona sur del sitio, como se puede observar en la siguiente imagen. En esta área se identificaron concentraciones de escorias, las cuales son claramente visibles en la superficie. Se registró un total de 3,06g de escorias, distribuidas en 1,65 kg de escorias tipo torta y 1,41 kg de escorias laminares. La diferencia entre ambos tipos es mínima, lo que sugiere que en esta área se llevaron a cabo tanto las fases iniciales de reducción del mineral como procesos más avanzados de refinamiento.

Imagen 28 Transectos



*Imagen área del contexto transectos, se visualiza el área y terreno en donde se recolecto las escorias.
(Corona, 2023)*

Contexto 2: Concentración

Este contexto ha sido denominado “Concentración”, esta área tiene un aproximado de 10 m² de extensión, en la cual se registró una concentración de escorias. En total, se encontraron 0,45

kg de escorias, distribuidas en 0,21 kg de escorias laminares y 0,24 kg de escorias tipo torta. Cabe destacar que no se hallaron escorias mixtas en esta área.

Imagen 29 Concentración



Imagen área del contexto Concentración, en donde se visualiza escorias en superficie (Corona, 2023)

Contexto 3: Concentración I

Este contexto ha sido denominado "Concentración I" y, al igual que el contexto 2, corresponde a un área de extensión reducida. En este sector se registró un total de 1,633 kg de escorias,

distribuidas de la siguiente manera: 0,267 kg de escorias mixtas, 0,875 kg de escorias laminares y 0,491 kg de escorias tipo torta. Las escorias laminares son las más abundantes, con 0,87 kg, lo que representa más de la mitad del total registrado en esta área. Les siguen las escorias tipo torta, con 0,49 kg , mientras que las escorias mixtas son las menos representadas, con 0,26 kg.

Imagen 30 Concentración I

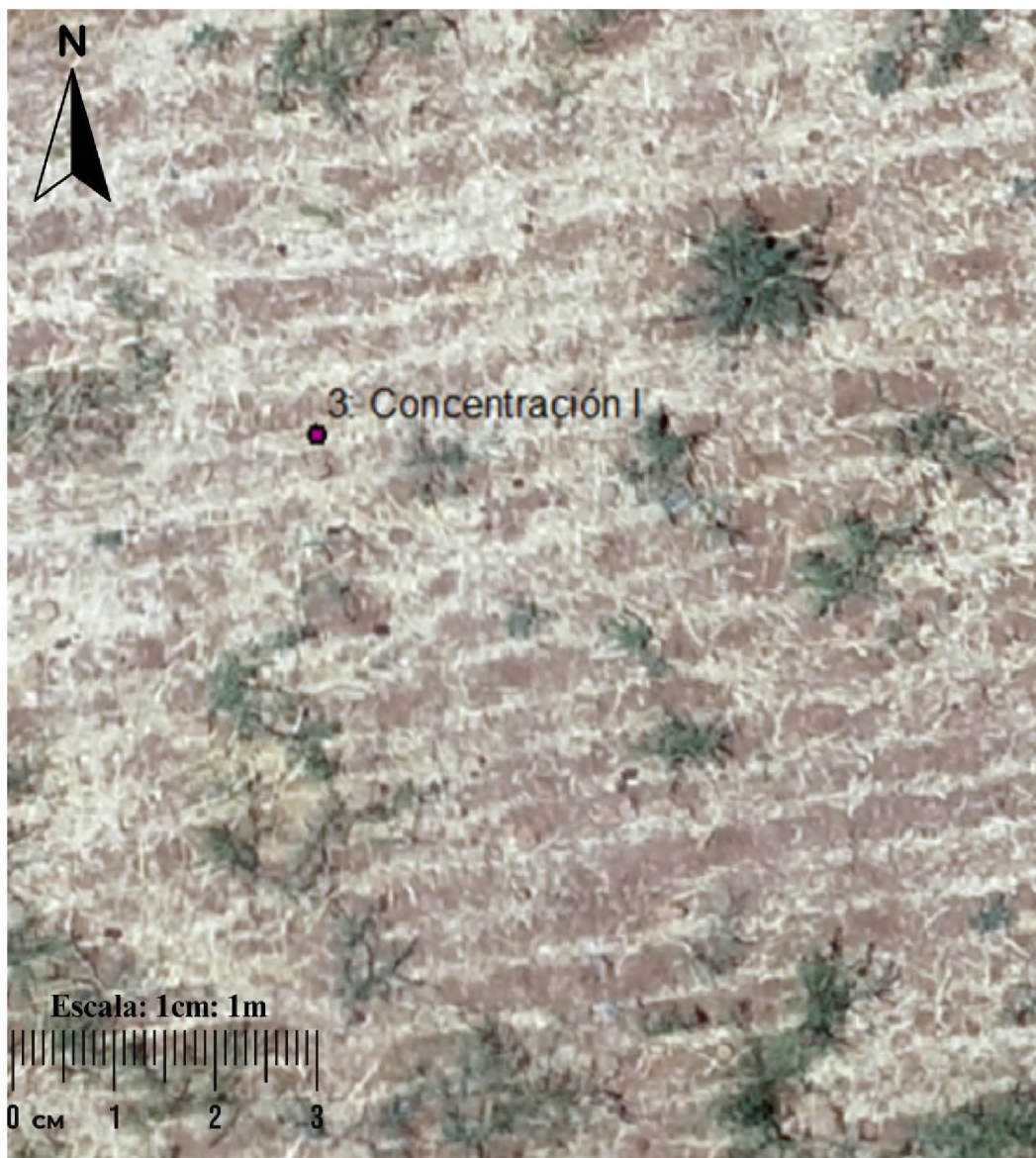


Imagen área del contexto Concentración I (Corona, 2023)

Contexto 4: Concentración II

El contexto denominado Concentración II, se ubica en la parte suroeste del sitio, a unos 70 metros del montículo, y abarca aproximadamente 340 m². Limita al sur y al oeste con terrenos en declive. Como referencia, se identificó un gran árbol de parota y un poste de cableado al norte. Se caracteriza por una alta concentración de escorias en un área de 20 metros de diámetro. se registraron un total de 7,41 kg de escorias, distribuidas de la siguiente manera: 1,88 kg de escorias mixtas, 0,01 kg de escorias laminares y 5,52 kg de escorias tipo torta. Las escorias tipo torta son las más abundantes en este contexto, con 5,52 kg, representando la mayor parte del material registrado. Las escorias mixtas también tienen una presencia significativa, con 1.88 kg, aunque en menor proporción. En cambio, las escorias laminares son casi inexistentes en esta zona, con un peso de 0,01 kg.

Imagen 31 Concentración II



Imagen área del contexto Concentración II(Corona, 2023)

Contexto 5: Montículo Pequeño

Este contexto se ubica al sur del contexto denominado Concentración II que colinda con pendientes inclinadas, al oeste se ubica un montículo pequeño que cubre una superficie aproximada de 2,24 m². se registraron un total de 1,95 kg de escorias. De este total, 1,71 kg corresponden a escorias tipo torta, siendo las más abundantes en esta área. Las escorias mixtas presentan un peso de 0,185 kg, mientras que las escorias laminares son las menos representadas, con 0,056 kg.

Imagen 32 Montículo pequeño

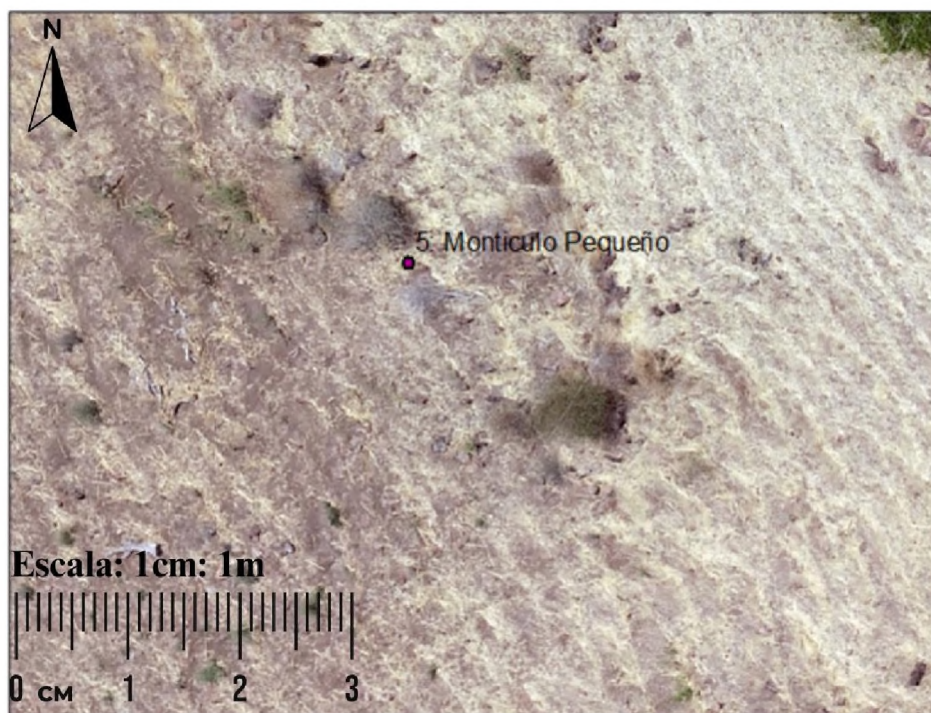


Imagen área del contexto montículo pequeño (Corona, 2023)

Contexto 6: Colección Colonial Concentración I, II y III

En esta prospección fueron reconocidas tres concentraciones, de aproximadamente 10 m² cada una. Esta zona se consideró dentro del área colonial del sitio debido a la cercanía con la iglesia y su atrio que se sitúa en el centro del asentamiento. Se registraron un total de 5,02 kg de escorias. De esta cantidad, 2,91 kg corresponden a escorias tipo torta, siendo las más abundantes en esta área. Las escorias laminares presentan un peso de 1,28 kg, mientras que las escorias mixtas alcanzan 0,87 kg.

Imagen 33 Contexto Colonial

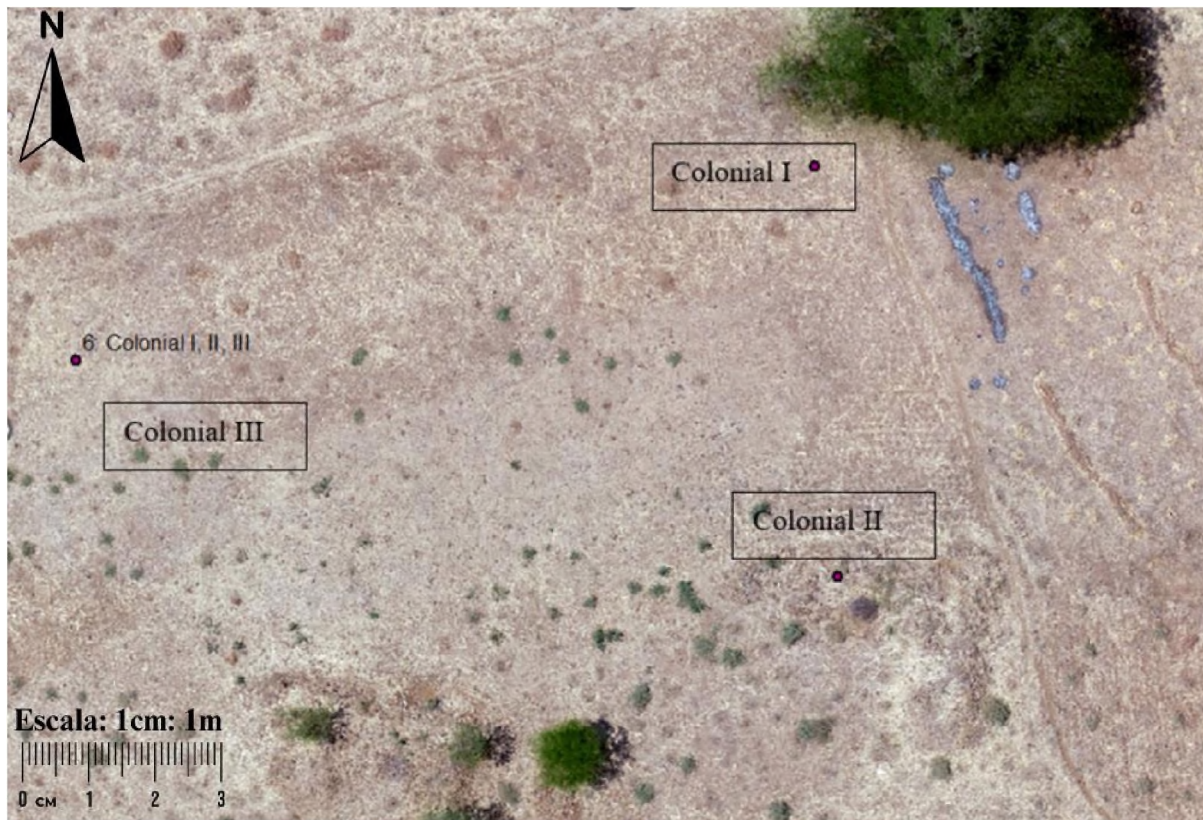


Imagen área del contexto Concentración I (Corona, 2023)

Contexto 7: Periferia-Camino

Este contexto corresponde a un trayecto o camino que conecta el área denominada Concentración Parota, su extensión aproximada es de 325 m². En este contexto, se registraron un total de 2,97 kg de escorias. La mayor proporción corresponde a las escorias tipo torta, con 2,91 kg, representando prácticamente la totalidad del material hallado. En contraste, las escorias mixtas presentan una cantidad mínima de 0,05 kg, mientras que no se encontraron escorias laminares en este contexto.

Imagen 34 Periferia Camino



Imagen área del contexto Periferia- Camino(Corona, 2023)

Contexto 8: Noroeste del Montículo

Este contexto se encuentra al noroeste del montículo, es una zona que se encuentra cercada con un alambrado, tiene un área aproximada de 1,485 m². En el contexto 8, se registraron un total de 0,67 kg de escorias. La mayor cantidad corresponde a escorias tipo torta, con 0,64 kg, representando casi la totalidad del material encontrado. En menor proporción, se identificaron 0,02 kg de escorias laminares, mientras que no se registraron escorias mixtas en esta área.

Imagen 35 Noroeste del montículo

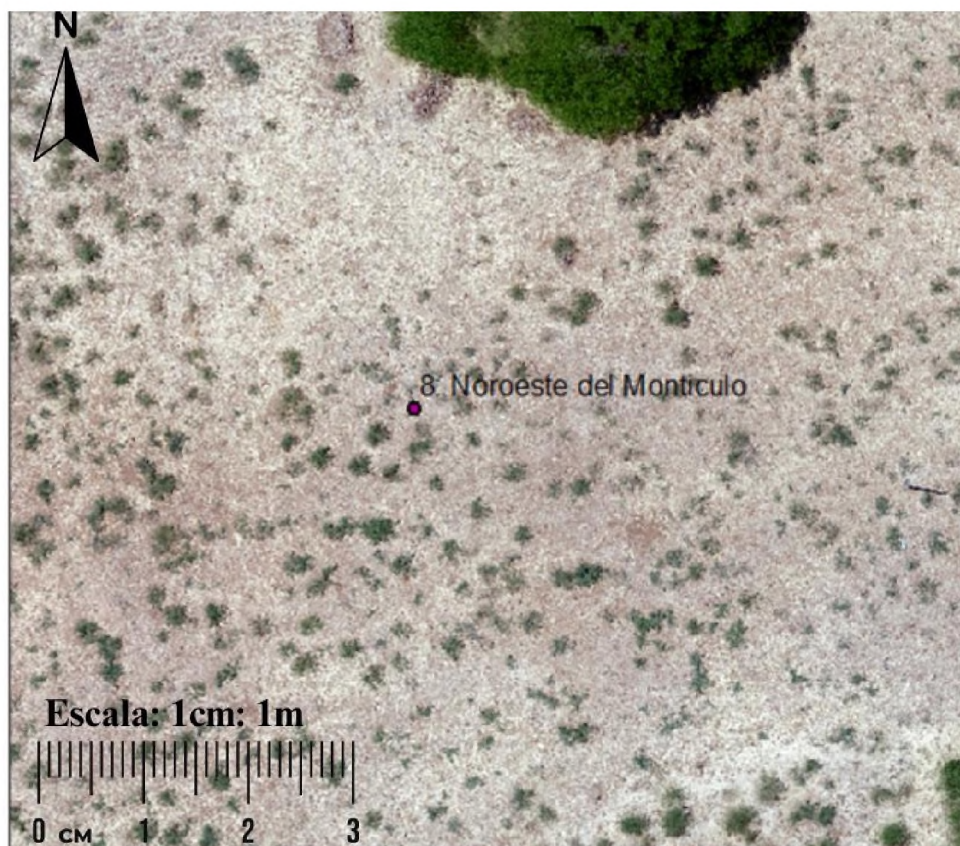


Imagen área del contexto Noroeste del montículo I(Corona, 2023)

Contexto 9: Ladera Laguna I y II

Este contexto abarca dos áreas: Ladera de Laguna I y Ladera de Laguna II. la primera, se ubica en la parte noreste de la meseta, en un terreno con pendiente desde el cual se observa una laguna al norte. Además, está atravesado por un camino que desciende hacia el poblado actual. La zona de concentración es la más visible de todo el sitio, destacándose por la gran cantidad de desechos de reducción en un área de aproximadamente 64 m² (9 metros de diámetro).

La Ladera de Laguna II se encuentra al oeste del contexto Ladera Laguna I y al noreste de los contextos Concentración Colonial I, II y III. En este caso, se abarcó un área de aproximadamente 2,886 m², debido a la escasa presencia de escoria. En este contexto se registraron un total de 8,061 kg de escorias, de las cuales 5,148 kg corresponden a escorias tipo torta, representando más de la mitad del total. Las escorias mixtas también tienen una presencia destacada, con 2,863 kg, mientras que las escorias laminares son las menos abundantes, con 0,05 kg.

Imagen 36 Ladera de la laguna



Imagen área del contexto Ladera de la Laguna (Corona, 2023)

Contexto 10: Concentración Parota

El contexto denominado Concentración Parota se encuentra limitado al oeste por una estructura de la iglesia colonial y al suroeste por el contexto de Periferia-Camino. En este sitio se delimitó un área de 846 m². En el contexto 10, se registró un total de 1,69 kg de escorias. La mayor cantidad corresponde a escorias tipo torta, con 0,802 kg, aunque su proporción es menor en comparación con otros contextos. Las escorias mixtas están presentes en una cantidad significativa de 0,6 kg, mientras que las escorias laminares son las menos abundantes, con 0,294 kg.

Imagen 37 Concentración parota

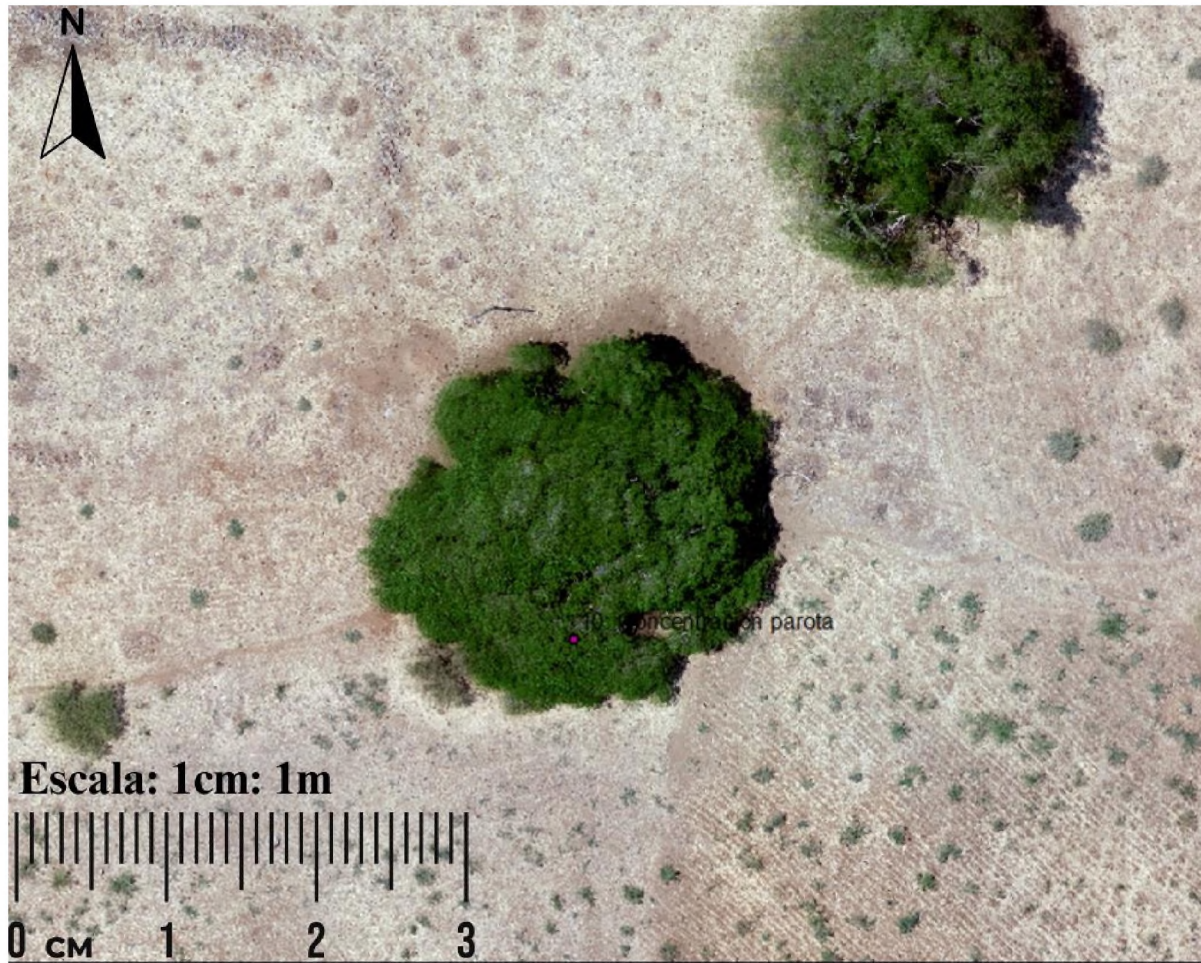


Imagen área del contexto Concentración Parota(Corona, 2023)

A continuación, la tabla es un resumen organizado que muestra la cantidad y el peso de diferentes tipos de escorias, agrupados en los contextos correspondientes:

Tabla 10 Tabla de conteo y peso de las escorias según su contexto.

Contexto	Bolsa	Mixtas	Peso Mixtas	Laminares	Peso kg	Tortas	Peso kg	Total, Conteo	Total, Peso kg
1	1	9	0.09	14	0.59	23	0.68	23	0.68
	2	18	0.19	11	0.22	29	0.41	29	0.41
	3	8	0.08	16	0.38	24	0.46	24	0.46
	4	18	0.25	10	0.26	28	0.51	28	0.51
	5	20	0.82	39	0.2	59	10.12	59	1.12
2	6	135	1.54	27	0.68	162	2.22	162	2.22
	7	39	0.41	11	0.36	50	0.77	50	0.77
	8	21	0.22	8	0.24	29	0.46	29	0.46
3	9	21	0.22	7	0.15	28	0.37	28	0.37
	10	43	0.62	7	0.13	50	0.75	50	0.75

	11	22	0.27	8	0.03	5	0.22	35	0.52
4	12	64	1.18	3	0.01	65	2.48	132	3.67
	13	23	0.46			21	1.27	44	1.72
	14	22	0.25			48	1.77	70	2.02
5	15	14	0.19	10	0.06	80	1.71	104	1.95
6	16	9	0.22	48	0.36	30	0.61	87	1.19
	17			73	0.48	25	0.33	98	0.81
	18	21	0.34	22	0.24	42	1.46	85	2.04
	19	22	0.31	21	0.17	21	0.51	64	0.99
7	20	6	0.06	0	0	11	0.14	17	0.2
8	21	0	0	6	0.03	21	0.65	27	0.68
9	22	45	1.55	0	0	36	1.68	81	3.22
	23	0	0	0	0	6	0.25	6	0.25
	24	32	0.97	0	0	63	2.59	95	3.56
	25	15	0.35	0	0	10	0.61	25	0.96
	26	0	0	6	0.05	1	0.02	7	0.07
10	27	92	1.37	130	0.88	84	1.9	306	4.15
	28	75	0.6	53	0.29	49	0.8	177	1.7
Total								1942	37.31kg

Fuente: Elaboración propia

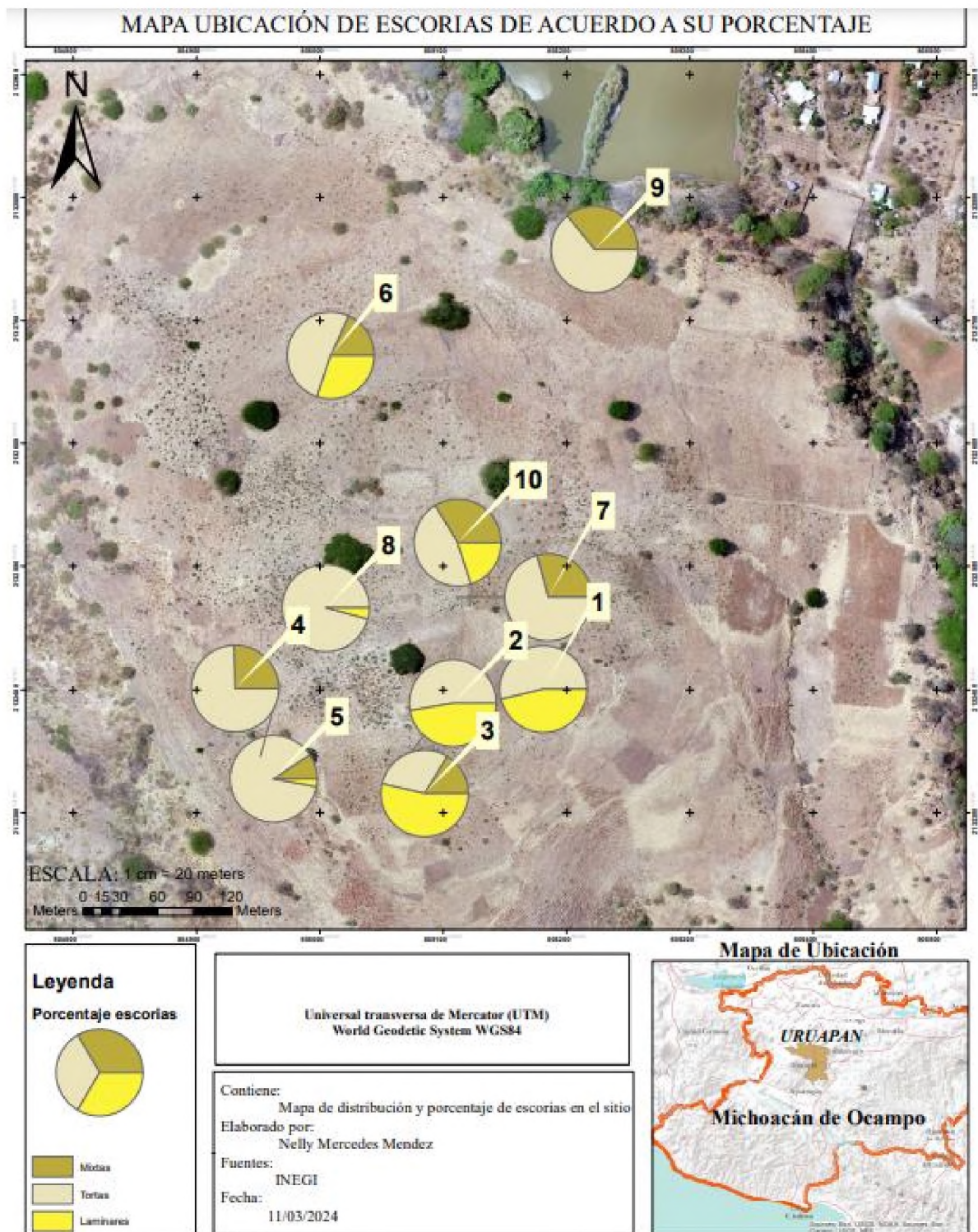
5.3. Distribución de las escorias según su tipología en el sitio de Jicalán Viejo.

El objetivo central de esta investigación es determinar si la variabilidad presente en las escorias puede revelar posibles áreas de actividad dentro de los distintos contextos del sitio arqueológico de Jicalán Viejo. Hasta el momento, se han analizado diez contextos específicos, y los resultados obtenidos se han georreferenciado para visualizar su distribución espacial. Los resultados preliminares sugieren ciertamente patrones de uso y una organización del espacio de la producción metalúrgica.

La metodología empleada para este análisis se basa en un enfoque cuantitativo, utilizando el porcentaje de las escorias en cada contexto como principal indicador. Este enfoque permite cuantificar la densidad y distribución de las escorias, lo que a su vez facilita la identificación de áreas de acuerdo con las concentraciones del tipo de escoria. Al relacionar la cantidad de las escorias con sus ubicaciones específicas, se puede inferir si los contextos pertenecen a un solo proceso o los contextos son multiproceso, es decir áreas especializadas en diferentes etapas del proceso de producción.

A continuación, se presenta el mapa que muestra los resultados de la proyección de los datos en el sitio. Este mapa representa el porcentaje de cada contexto según el porcentaje de escorias encontradas en cada tipo (mixtas, laminares y tortas). Los porcentajes reflejan la distribución de las escorias en cada contexto, proporcionando una visualización clara de las concentraciones presentes en el área.

Mapa 4 porcentaje de escorias en el sitio Jicalán Viejo



Fuente: Elaboración propia. Mapa de distribución de porcentaje de escorias. Los números asociados a cada porcentaje corresponden a distintas áreas o zonas específicas, las cuales están identificadas de la siguiente manera: 1: Transectos, 2: Concentración, 3:

Concentración I, 4: Concentración II, 5: Montículo Pequeño, 6: Colonial I, II, III, 7: Periferia-Camino, 8: Noroeste del Montículo, 9: Ladera de la Laguna I, II, 10: Concentración Parota

5.3.1. Áreas de concentraciones de escoria en el sitio

En este primer acercamiento al análisis de distribución de acuerdo con su porcentaje, se he dividido el sitio en 4 zonas.

Zona 1: La primera zona corresponde al contexto 6, una de las áreas más particulares dentro del sitio, ya que se encuentra en proximidad con estructuras registradas en el año 2003. Según los estudios realizados por Roskamp y Retíz, la prospección arqueológica de ese año documentó diversas construcciones de interés.

Uno de los elementos destacados es una estructura alargada de 24 m x 12 m, cuyo acceso se encuentra hacia el oriente. Frente a esta, se identificó un espacio abierto de aproximadamente 42 m x 40 m, conocido localmente como "el templo", donde, según relatos, podrían estar enterradas las campanas. La presencia de grandes piedras labradas de cantera, posiblemente pertenecientes a la fachada, sugiere que esta estructura podría haber sido una pequeña capilla con su atrio (Hans y Retiz, 2011, p.185).

En el mismo estudio, se mencionan otras dos construcciones visibles en la actualidad, con formas de "U" y "L":

"Unos 50 m al norte de la capilla, siguiendo cuesta abajo pero todavía en la zona alta del sitio, se halló una construcción que parece una 'U', aunque no es completamente simétrica. En total, mide 22 m de ancho y tiene dos extremidades de 12 m y 17 m de largo, respectivamente, con un ancho de siete metros. Una fotografía aérea de 1969 sugiere que originalmente tenía una forma distinta y estaba compuesta por tres partes. Al lado oriente, se encuentra otra construcción llamativa en forma de 'L', cuyas dos extremidades tienen las siguientes dimensiones: 28 m x 7 m y 21 m x 11 m. En el caso de ambos edificios, aún carecemos de elementos suficientes para determinar si se trata de estructuras precolombinas o coloniales."

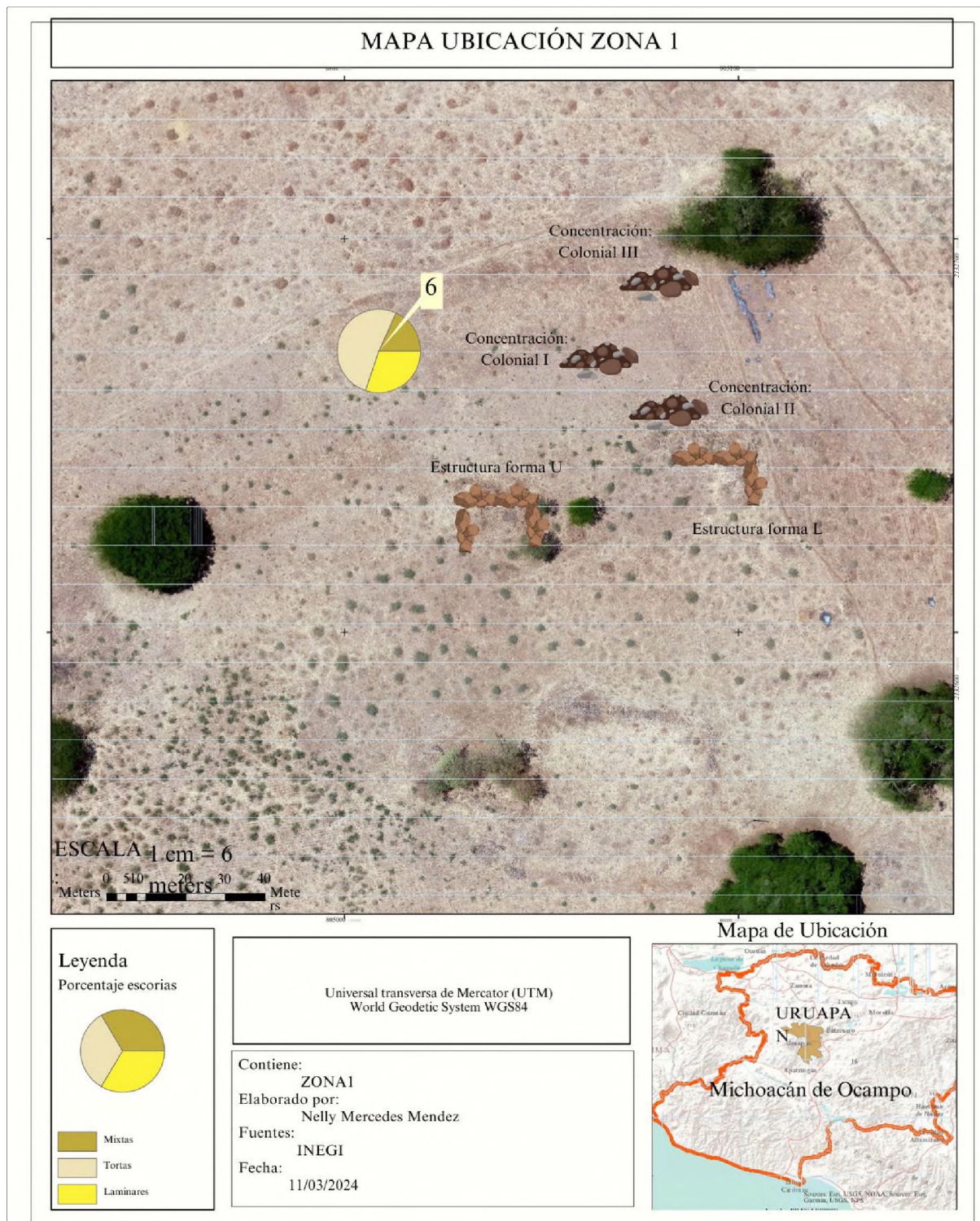
Durante la prospección de 2023, se registró otra estructura alineada en línea recta con la capilla y su atrio. Sin embargo, es importante destacar que no se encontraron concentraciones de escorias en estas áreas, esto podría indicar dos escenarios principales: por un lado, es posible que no se

llevaran a cabo actividades de producción de cobre en estos espacios, lo que reforzaría la idea de que estaban destinados a usos específicos, como ceremoniales o administrativos, alejados de la actividad metalúrgica. Por otro lado, también podría sugerir que, durante la construcción de estas estructuras, se realizó una limpieza exhaustiva de la zona para retirar cualquier residuo de escorias y garantizar una cimentación adecuada.

Por el contrario, las dos concentraciones de escorias registradas se encuentran en las cercanías de las estructuras en forma de "L" y "U". Esta ubicación sugiere que dichas edificaciones pudieron haber funcionado como talleres metalúrgicos o áreas de habitación donde los trabajadores llevaban a cabo la obtención y procesamiento del cobre. Ahora bien, considerando el porcentaje de escorias encontradas en este contexto, es relevante señalar que, como se mencionó en párrafos anteriores, en el contexto 6 se identificaron los tres tipos de escorias. Esto sugiere que en esta área los metalurgistas pudieron haber llevado a cabo tanto la fase de reducción primaria como la secundaria. La presencia simultánea de escorias mixtas, laminares y tipo torta indica un proceso continuo en la producción para la obtención de cobre.

No obstante, para afirmar con certeza que todas las estructuras son sincrónicas y que coincidieron temporalmente con las actividades metalúrgicas, es necesario realizar análisis más detallados. Esto incluiría dataciones absolutas, como carbono 14 o termoluminiscencia, de materiales asociados a las estructuras y a las escorias, así como estudios estratigráficos que permitan establecer la secuencia temporal de ocupación y uso del sitio.

Mapa 5 Zona 1



Fuente: Elaboración propia. Mapa de distribución de concentraciones de escorias y su relación porcentual con las estructuras en forma de "L" y "U".

Zona 2: En la zona dos se ha establecido el contexto 9, denominado ladera de la Laguna I y II. denominado Ladera de la Laguna I y II, caracterizado por una alta concentración de escorias, con un peso total registrado de 8,061 kg. Estas se distribuyen principalmente entre los tipos torta y mixtas, mientras que las escorias laminares están presentes en una cantidad significativamente menor.

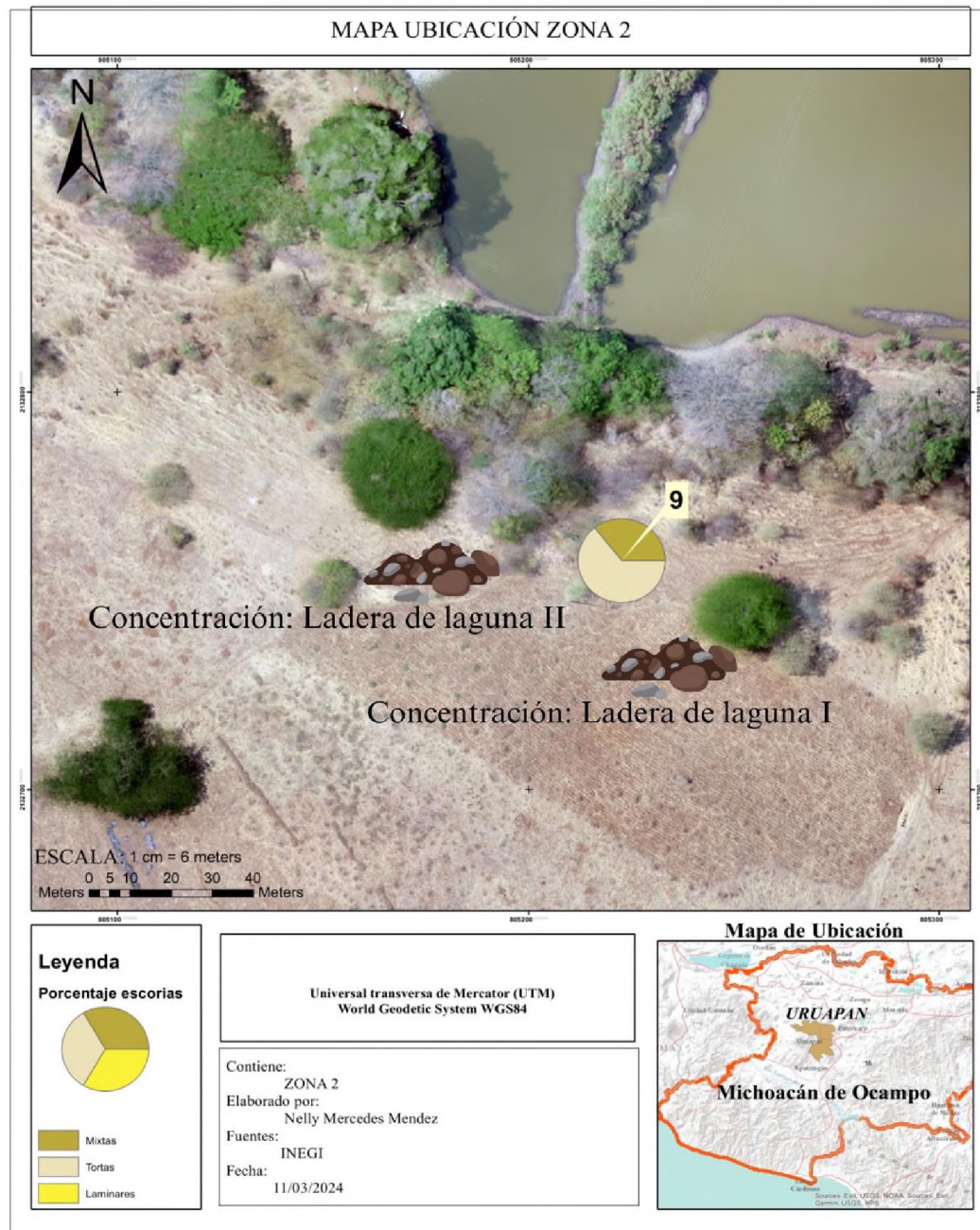
Este contexto se encuentra en una pendiente que desciende hacia la laguna, lo que, lejos de ser un impedimento, podría haber sido una ventaja para la instalación de un taller de producción metalúrgica. La inclinación del terreno no dificultaría las actividades, sino que, por el contrario, facilitaría el desprendimiento de las escorias, las cuales, debido a la gravedad, rodarían ladera abajo. Esto permitiría mantener el área de trabajo, especialmente el contorno de los hornos, libre de residuos y listo para continuar con el proceso de fundición. Además, la presencia de agua cercana, como la laguna, sería ideal para obtener arcilla, un material esencial en la construcción y mantenimiento de los hornos.

Esta práctica no es única de este sitio, sino que se ha documentado en otros lugares arqueológicos con evidencia de producción metalúrgica. Por ejemplo, en el sitio de Khirbet en-Nahas, en Jordania, asociado a la explotación de cobre durante la Edad del Hierro, se han identificado áreas de trabajo ubicadas en pendientes, donde las escorias se acumulaban en zonas bajas, facilitando la limpieza de los espacios productivos (Levy et al., 2008). De manera similar, en Timna, en el sur de Israel, los restos de actividades metalúrgicas se encuentran en áreas con desniveles, lo que permitía un manejo eficiente de los desechos y el acceso a recursos como agua y arcilla (Ben-Yosef et al., 2012).

En Mesoamérica, sitios como El Manchón, en Guerrero, México, también muestran evidencias de producción metalúrgica en terrenos inclinados, donde las escorias se depositaban en áreas bajas, lejos de los hornos, lo que sugiere un aprovechamiento intencional de la topografía para optimizar el proceso de fundición (Hosler, 1994). Estos ejemplos refuerzan la idea de que la pendiente y la proximidad a fuentes de agua no eran obstáculos, sino características buscadas para la instalación de talleres metalúrgicos.

Por lo tanto, la pendiente y la cercanía a la laguna en este sitio habrían sido condiciones ideales para la producción de cobre, siguiendo un patrón observado en otros contextos arqueológicos donde la topografía se aprovechaba para optimizar el espacio de trabajo y la gestión de residuos.

Mapa 6 zona 2



Fuente: Elaboración propia. Mapa de distribución de concentraciones de escorias y su relación porcentual.

Zona 3: La ubicación de los contextos 5 (Montículo Pequeño), 4 (Noroeste del Montículo) y 8 (Concentración II) evidencia una tendencia predominante hacia las escorias tipo torta, lo que constituye un indicador clave de que en esta zona se realizó principalmente la reducción primaria del cobre. Para clarificar los términos reducción primaria y reducción secundaria en el contexto de la producción de cobre, es importante definir cada proceso y su relación con la transformación del mineral en metal: La reducción primaria transforma el mineral de cobre (mena) en una mezcla de metal y escoria llamada mata, mediante un proceso de reducción a altas temperaturas. La reducción secundaria refina esta mata, eliminando impurezas para obtener cobre metálico puro.

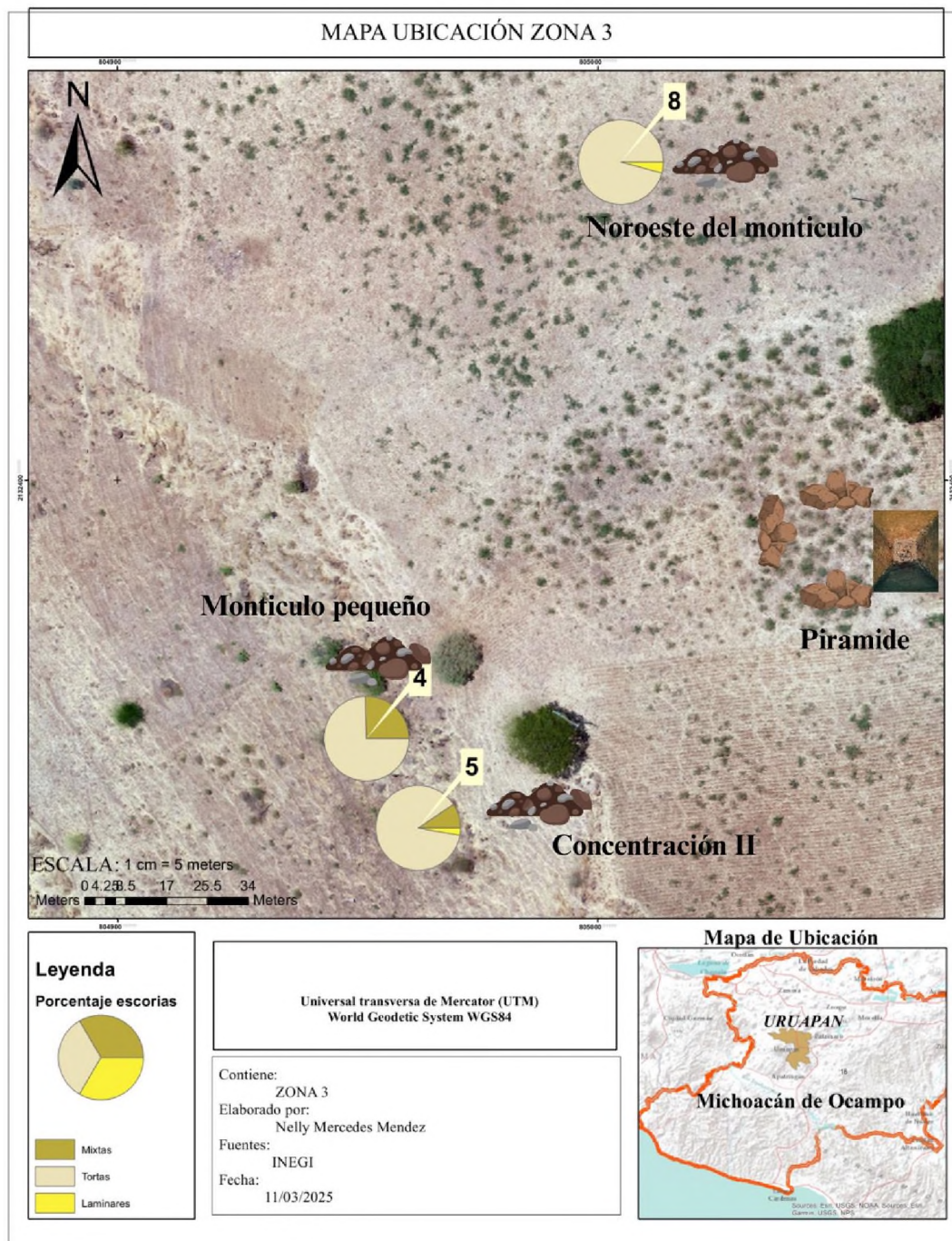
En estos contextos se observa que la mayor parte del material corresponde a escorias tipo torta. Por ejemplo, en el contexto 8 casi el 96% de las escorias (0,648 kg de un total de 0,676 kg) es de este tipo. De manera similar, en el contexto 5 las escorias tipo torta representan aproximadamente el 87,7% del total (1,711 kg de 1,952 kg). El contexto 4 confirma esta tendencia, ya que, de los 7,418 kg de escorias registradas, las escorias tipo torta constituyen alrededor del 74,4% (5,520 kg). Además, la escasez casi total de escorias laminares respalda la interpretación de que la producción se concentra en la primera etapa del procesamiento del mineral de cobre.

En esta zona se han identificado varias estructuras prehispánicas, entre las que destaca una pequeña pirámide de forma cuadrada y escalonada, con dimensiones aproximadas de 22 mx 22 m y una altura de 5 m (véase fig. 6). Según Hans y Retiz, a pesar de evidencias de saqueos anteriores a 1969, en abril de 2003 se excavó un profundo hoyo en el centro de la pirámide, alcanzando unos 4 m de profundidad. En el interior se descubrió un pequeño espacio con acceso escalonado, protegido por lajas. Aunque se ha sugerido que dicho espacio pudo haber sido una tumba, la ausencia de ofrendas, restos óseos u otros elementos rituales impide confirmarlo con certeza.

Cerca de la pirámide se han identificado restos muy deteriorados y apenas visibles de tres estructuras dispuestas en forma de "U". Cada una de estas estructuras mide aproximadamente 22 m de largo por 12 m de ancho, y podrían haber conformado, en conjunto, un complejo arquitectónico relacionado con la pirámide. En la estructura del sector poniente se encontraron lajas labradas y fragmentos óseos diminutos, evidencias que sugieren la presencia de entierros, los cuales han salido a la superficie debido a recientes actividades de saqueo (Hans y Retíz 2011).

Es importante resaltar que, aunque estas estructuras prehispánicas se encuentran en la misma zona, su ubicación no es lo suficientemente próxima a las concentraciones de escoria como para establecer una relación directa entre ellas. Esto indica que las áreas de producción o depósito de escoria, probablemente asociadas a actividades metalúrgicas, se desarrollaron de manera separada de los espacios destinados a la construcción y posible función ritual de la pirámide y sus estructuras asociadas.

Mapa 7 Zona 3



Fuente: Elaboración propia. Mapa de distribución de concentraciones de escorias y su relación porcentual con las estructuras y pirámide.

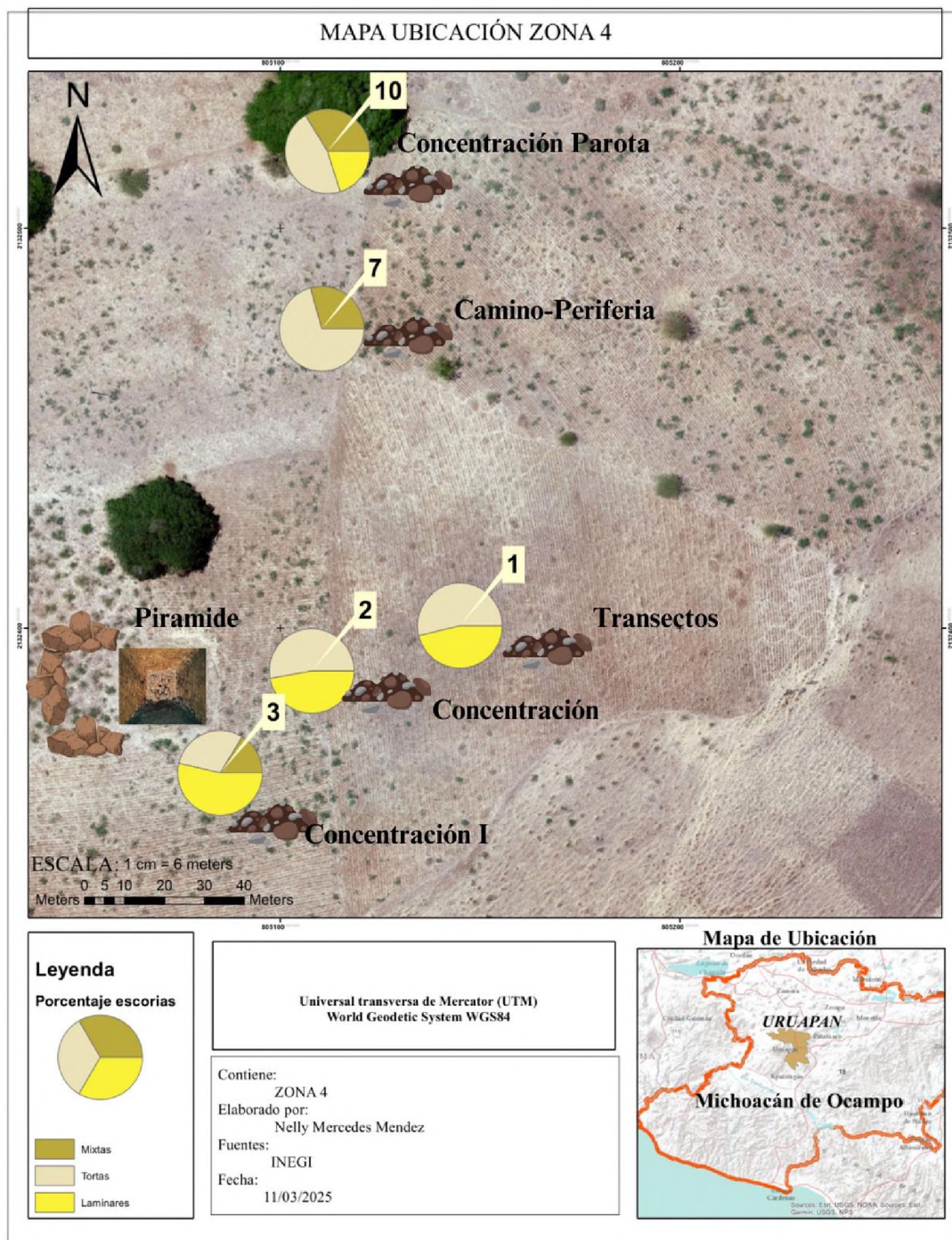
Zona 4: La zona 4 compuesta por el contexto: 1 denominado Transectos; 2 Concentración; 10 Concentración Parota; 7 Camino periferia, y 3 concentración II ubicados cerca unos de otros, muestran una notable similitud en sus resultados. Específicamente, en estas áreas se encuentran casi en igual cantidad tanto escorias laminares como escorias tipo torta.

Este hallazgo sugiere que la zona sureste del sitio podría haber sido un área de multiprocesos, donde se realizaban tanto la reducción primaria como la secundaria del cobre. La presencia simultánea de diferentes tipos de escorias en la misma área indica una diversidad en las actividades metalúrgicas llevadas a cabo. La predominancia de escorias de tipo torta indica que se realizaban actividades de reducción primaria, donde se eliminaban las impurezas más grandes del mineral de cobre. Sin embargo, la presencia significativa de escorias laminares y mixtas sugiere que también se llevaban a cabo procesos secundarios y de refinamiento.

El análisis general de los contextos evidencia que en la zona se llevaron a cabo diferentes etapas en el procesamiento del mineral de cobre, incluyendo reducción primaria, reducción secundaria y refinamiento. En varios contextos se observa la existencia de escorias tipo torta y escorias laminares. Por ejemplo, en el Contexto 10 (Concentración Parota) se registró un total de 1,69 kg de escorias, de las cuales 0,80 kg corresponden a escorias tipo torta y 0,29 kg a escorias laminares, acompañados de 0,60 kg de escorias mixtas. De manera similar, el Contexto 3 (Concentración I) presenta 1,63 kg de escorias, distribuidas en 0,491 kg de escorias tipo torta, 0,875 kg de escorias laminares y 0,26 kg de escorias mixtas. El Contexto 1 (Transectos) refuerza esta interpretación, ya que se registraron un total de 3,06 kg de escorias, distribuidos de forma casi equitativa entre 1,65 kg de escorias tipo torta y 1,41 kg de escorias laminares. En contraste, el Contexto 7 (Periferia-Camino) exhibe 2,93 kg de escorias, de las cuales la abrumadora mayoría (2,91 kg) son de tipo torta, con escorias mixtas en cantidad mínima (0,057 kg) y sin presencia de escorias laminares, lo que sugiere que en este trayecto se concentró casi exclusivamente la reducción primaria.

Es importante destacar que el Contexto 3, denominado "Concentración I", es el único en esta zona que se ubica al sur, cercano a la estructura piramidal previamente mencionada. Sin embargo, no se encuentra lo suficientemente cerca como para establecer una relación directa entre las concentraciones de escoria y la pirámide.

Mapa 8 Zona 4



Fuente: Elaboración propia. Mapa de distribución de concentraciones de escorias y su relación porcentual con las estructuras y pirámide.

5.4. Análisis e interpretación de la distribución de áreas y resultados obtenidos

El siguiente mapa presenta la distribución espacial del sitio arqueológico Jicalán Viejo, la cual ha sido establecida a través de estudios previos, prospecciones arqueológicas sistemáticas y el análisis de materiales, como escorias, recuperados durante las investigaciones. Los datos recopilados han permitido identificar y diferenciar áreas específicas dentro del sitio, tales como zonas de producción metalúrgica y estructuras arquitectónicas lo que aporta una visión más clara de la organización espacial y funcional del asentamiento.

Dentro del sitio, se han identificado estructuras que reflejan diferentes periodos de ocupación. Por un lado, se encuentran estructuras de carácter monumental, como una pirámide, que corresponden claramente a la época prehispánica, lo que sugiere que el sitio tuvo una importancia significativa durante este periodo, posiblemente como un centro ceremonial o administrativo. Por otro lado, también se han detectado estructuras que podrían corresponder a la época colonial, como estructuras de un templo, lo que indica una continuidad en la ocupación del sitio.

La coexistencia de estas estructuras en un mismo espacio sugiere que Jicalán Viejo fue un lugar de relevancia tanto en la época prehispánica como en la colonial, manteniendo su importancia a lo largo del tiempo. Sin embargo, para precisar la cronología de ocupación y entender las dinámicas de transición entre estos periodos, sería necesario complementar los datos actuales con estudios más detallados, como análisis estratigráficos, dataciones absolutas y estudios comparativos de materiales.

Distribución de áreas: En el sitio arqueológico de Jicalán Viejo se han identificado cuatro zonas de actividad metalúrgica, cada una con características específicas que permiten inferir los procesos productivos llevados a cabo. Estas zonas se diferencian tanto por su ubicación dentro del sitio como por los tipos de escorias encontradas, lo que sugiere una especialización en las etapas de producción metalúrgica.

Las zonas 2 y 3, ubicadas en el suroeste y noroeste del sitio respectivamente, presentan evidencias de escorias tortas y mixtas. La zona 3 se localiza cerca de una pendiente, mientras que la zona 2 está situada en la ladera de la laguna. La presencia exclusiva de estos tipos de escorias sugiere que estas áreas estaban destinadas principalmente a la reducción primaria del mineral. Este proceso consiste en la transformación de la mena (mineral de cobre) en metal bruto, mediante la

reducción a altas temperaturas. Sin embargo, el cobre obtenido en esta etapa presenta impurezas y una calidad no refinada, lo que se refleja en las escorias tortas y mixtas, caracterizadas por su aspecto irregular y su composición heterogénea. La ubicación de estas zonas en áreas periféricas, como laderas y pendientes, podría estar relacionada con la necesidad de acceder a recursos naturales, como minerales y combustibles, o con la intención de mantener estos procesos alejados de las áreas centrales del sitio.

Por otro lado, las zonas 1 y 4, ubicadas en la planicie de la meseta y en el sureste del sitio respectivamente, muestran una mayor diversidad de evidencias. En estas áreas se han identificado los tres tipos de escorias (tortas, mixtas y laminar), lo que indica que aquí se llevaban a cabo tanto la reducción primaria como la reducción secundaria. La reducción secundaria es un proceso de refinamiento del cobre obtenido en la etapa primaria, en el cual se eliminan impurezas y se obtiene un metal de mayor pureza. Este proceso se refleja en la presencia de escorias laminar, que son más homogéneas y compactas, indicativas de un trabajo más especializado y de una mayor eficiencia en la producción.

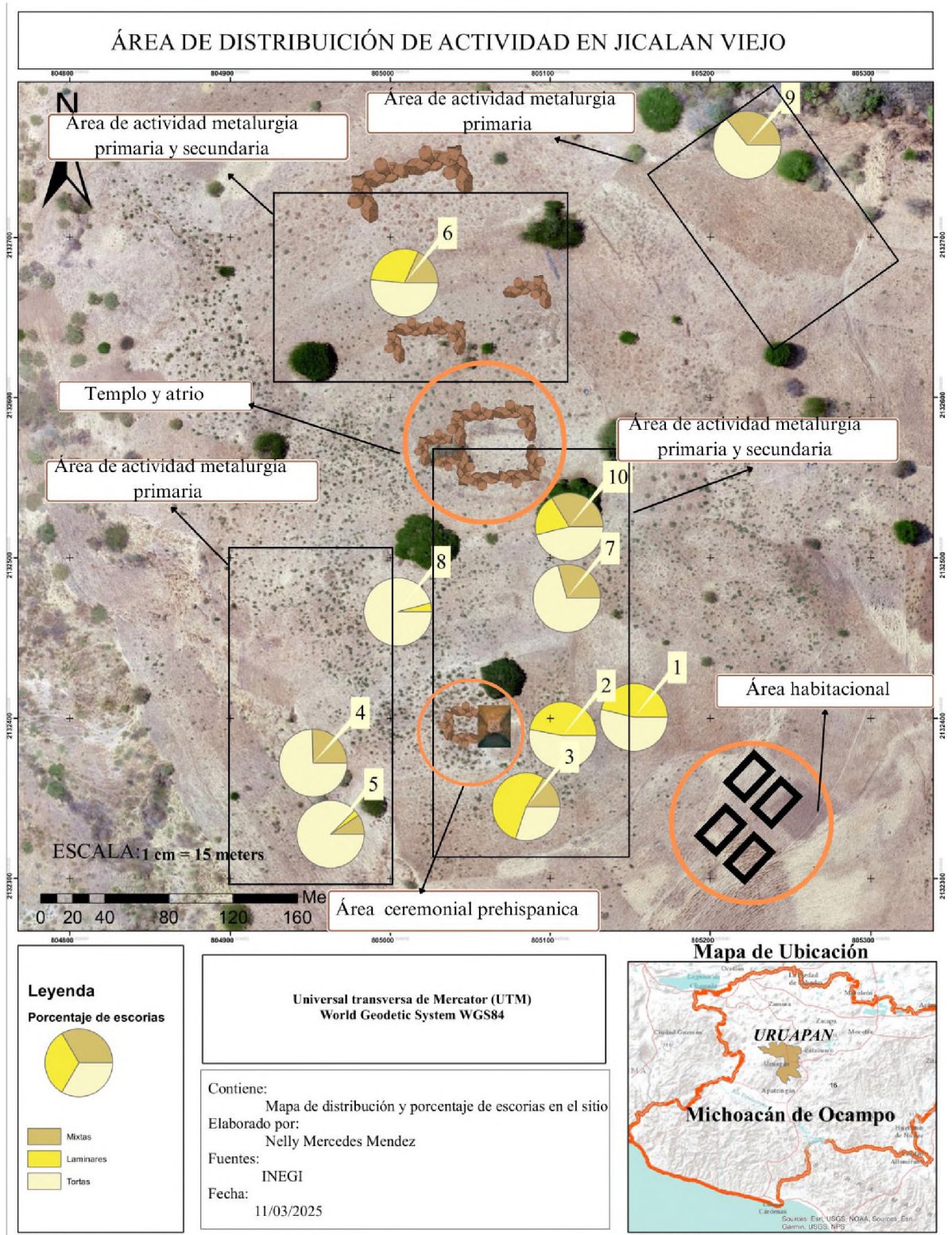
Vinculación cronológica entre áreas metalúrgicas y estructuras en Jicalán Viejo: La comparación entre la distribución de las escorias y la ubicación de las estructuras arquitectónicas ha revelado diferencias significativas en la funcionalidad de los espacios. Por un lado, estructuras como el templo, el atrio y la pirámide se encuentran a cierta distancia de las áreas de concentración de escorias, lo que sugiere que estos espacios no estaban directamente relacionados con la actividad metalúrgica. En cambio, su función parece estar más vinculada a actividades ceremoniales, administrativas o simbólicas, propias de su carácter monumental. Por otro lado, estructuras de forma "L" y "U", ubicadas en áreas cercanas a las concentraciones de escorias (especialmente en el contexto 6), muestran una posible relación directa con las actividades metalúrgicas. Estas estructuras podrían haber funcionado como áreas habitacionales, talleres de producción, espacios de almacenamiento o incluso como áreas auxiliares para el proceso de reducción. Su proximidad a las zonas de alta concentración de escorias refuerza la idea de que estaban integradas a la cadena productiva del metal.

En cuanto a la vinculación cronológica, a partir de la distribución espacial de las áreas metalúrgicas y las estructuras, es posible inferir dos aspectos clave sobre la cronología y ocupación del sitio:

La zona 1, donde se encuentra el contexto 6, está cercana al templo y al atrio, estructuras que, por sus características arquitectónicas, pueden asociarse al periodo colonial. Esto sugiere que esta área fue ocupada principalmente durante esta época, posiblemente como un espacio de producción metalúrgica vinculado a las actividades coloniales. Por otro lado, las zonas cercanas a la pirámide, estructura que se presume de origen prehispánico, podrían haber sido ocupadas durante este periodo. La presencia de escorias en estas áreas indica que la actividad metalúrgica ya era relevante en la época prehispánica.

Sin embargo, también cabe la posibilidad de que algunas áreas hayan sido utilizadas de manera continua a lo largo de ambos periodos, con estructuras coloniales construidas sobre o cerca de áreas prehispánicas preexistentes. Esto implicaría una reutilización y adaptación del espacio a lo largo del tiempo, manteniendo la actividad metalúrgica como un elemento constante en la organización del sitio.

Mapa 9 Áreas de distribución de actividades



Fuente: Elaboración propia. Áreas metalúrgicas y estructuras encontradas en el sitio Jicalán Viejo.

5.5. Evaluación y Refutación de la propuesta de Dorothy Hosler

La propuesta de Dorothy Hosler es pionera en el estudio de la metalurgia en el Occidente mesoamericano y proporciona una base para aproximarse a las tecnologías y características de la metalurgia Tarasca. Sin embargo, su enfoque difusionista presenta aspectos que requieren una evaluación más detallada. En particular, sus estudios no han abordado en profundidad la tecnología de la reducción del cobre ni el proceso específico mediante el cual este se obtenía y transformaba en Mesoamérica. Nuestra propuesta se centra en el análisis de la reducción del cobre como un elemento clave para cuestionar la teoría de Hosler, explorando la posibilidad de un desarrollo propio de la metalurgia en la región.

Antes de razonarla, analizaremos algunas propuestas que Hosler se ha respaldado: Mountjoy (1969), Lothrop (1977) y Rivet (1921) plantearon la posibilidad de que el conocimiento de la metalurgia en Mesoamérica tuviera su origen en América del Sur. Su argumento se basaba en la similitud de algunos objetos de cobre y en la aparente ausencia de un proceso gradual de aprendizaje en el trabajo de los metales. Una de las hipótesis derivadas de esta propuesta sugiere que los habitantes de Ecuador viajaban periódicamente a México en busca de conchas *Spondylus*, intercambiándolas por metales o conocimientos metalúrgicos (Hosler 1994; Mountjoy, 1969). Sin embargo, esta teoría carece de sustento, ya que en Ecuador existía una abundante presencia de conchas *Spondylus* durante la época prehispánica (Marcos 1977; Paulsen 1974), sin evidencia de agotamiento que justificara su importación desde México. Además, en caso de necesitar abastecimiento adicional, lo más lógico habría sido obtenerlas en regiones más cercanas, como las costas de Panamá, en lugar de emprender un largo y complejo viaje marítimo hasta el Occidente de México (Lothrop 1977; Holm 1980).

Otra teoría se basa en las similitudes iconográficas: así, Constanza Di Capua (1966) explora las semejanzas en la iconografía de las culturas precolombinas de Mesoamérica y Ecuador, sugiriendo un posible contacto directo entre ambas regiones. Sin embargo, la semejanza en las expresiones artísticas no constituye una prueba concluyente de interacción cultural. En arqueología, es común hallar elementos similares en distintas civilizaciones sin que esto implique una conexión entre ellas (Renfrew & Bahn, 2016; Trigger, 2006). Estas coincidencias pueden deberse a desarrollos independientes, influencias ambientales compartidas o patrones universales en la representación

simbólica. Por lo tanto, la similitud iconográfica, por sí sola, no es un argumento suficiente para afirmar la existencia de un contacto directo.

Otra propuesta que sostiene la esta teoría es la presencia de maíz en Sudamérica: En cuanto a la dispersión del maíz, se reconoce que este cereal se originó en México y se expandió gradualmente hacia el sur, llegando a los Andes y a la región norandina, incluyendo Ecuador. No obstante, la difusión del maíz no requiere la presencia directa de poblaciones mesoamericanas en Sudamérica ni implica un contacto sostenido entre Ecuador y México. La transmisión de cultivos se dio de manera progresiva a lo largo de generaciones, a través de corredores ecológicos y de intercambios indirectos entre comunidades intermedias. Así, la presencia del maíz en Ecuador es el resultado de un proceso de expansión agrícola más que de una conexión directa con Mesoamérica. (MacNeish 1967)

Otra propuesta que ha generado debate es la teoría sobre la dispersión del perro sin pelo desde México hacia Sudamérica mediante rutas marítimas (Valadez, 2003; Wing, 1986). Sin embargo, esta teoría presenta varias inconsistencias que dificultan su aceptación como un hecho concluyente. Si bien existen representaciones iconográficas de perros sin pelo en distintas culturas prehispánicas, estas se encuentran separadas por más de mil años, lo que dificulta establecer un vínculo cronológico directo entre ellas (Schwartz 1997). Además, la evidencia arqueozoológica más antigua de perros sin pelo en Sudamérica proviene de Bolivia y data de un período relativamente tardío (1150-1450 d.C.), lo que sugiere una introducción posterior sin relación directa con Mesoamérica (Stahl 2012).

Si bien es posible que culturas sudamericanas, como los Moche, hayan desarrollado redes de comunicación marítima de larga distancia, esto no demuestra de manera concluyente que el perro sin pelo haya sido introducido desde México. Por otro lado, es importante considerar que el perro sin pelo pudo haber surgido de manera independiente en varias regiones con condiciones ambientales y culturales favorables para su desarrollo (Leonard et al. 2002). Esta posibilidad se sustenta en el hecho de que ciertas características genéticas pueden aparecer de forma paralela en poblaciones aisladas, sin necesidad de un origen común. Por lo tanto, atribuir la presencia del perro sin pelo en Sudamérica únicamente a una dispersión desde México resulta simplista y carece de evidencia sólida que respalde esta hipótesis.

Ninguna de estas propuestas resulta plenamente convincente ni está respaldada por evidencias arqueológicas ni de otro tipo suficientes para sostenerse. En todos los casos, las pruebas presentadas son circunstanciales y pueden explicarse por factores alternativos, como desarrollos independientes, procesos de difusión gradual o coincidencias culturales, sin necesidad de postular un contacto directo entre Ecuador y México. Por lo tanto, estas hipótesis pueden ser cuestionadas.

Reevaluando el origen de la metalurgia en Mesoamérica: Una mirada a la teoría de difusión

La teoría que plantea Dorothy Hosler sobre la difusión de la metalurgia en Mesoamérica ha sido un aporte significativo al estudio de las tecnologías prehispánicas. Según Hosler, la metalurgia del cobre en Mesoamérica habría sido transmitida desde América del Sur, específicamente desde las culturas Manteño-Huancavilca de Ecuador, a través de contactos marítimos (Hosler 1994). Sin embargo, esta perspectiva difusionista ha sido objeto de debate, particularmente al considerar la cronología del desarrollo metalúrgico y la capacidad de las sociedades mesoamericanas para generar innovaciones tecnológicas de manera autónoma.

Si bien la difusión de tecnologías es un fenómeno bien documentado en la historia humana, la idea de que las culturas mesoamericanas carecían de la capacidad para desarrollar tecnologías metalúrgicas propias plantea ciertas dificultades. Esta visión podría subestimar la complejidad y la agencia de sociedades locales, como la Tarasca, en la creación y adaptación de sus propios sistemas tecnológicos. Autores como Malina y Vašíček (1990) y Lechtman (2014) han señalado que las tecnologías no son simplemente transferidas, sino que son reinterpretadas y adaptadas por las culturas receptoras. Esto sugiere que, incluso en casos de influencia externa, las sociedades mesoamericanas pudieron haber desarrollado variantes locales de la metalurgia, ajustándolas a sus necesidades y contextos específicos.

Una de las principales críticas a la teoría de Hosler radica en su enfoque difusionista, el cual tiende a minimizar la posibilidad de desarrollos tecnológicos autóctonos. Si se acepta que la metalurgia del cobre fue introducida desde Sudamérica, cabría preguntarse por qué no se aplica la misma lógica a otros ámbitos, como la agricultura, la cerámica, la astronomía o las matemáticas. Estas áreas del conocimiento también alcanzaron niveles de sofisticación notables en Mesoamérica, y sin embargo, no se sugiere que hayan sido importadas desde otras regiones (Trigger 2006).

Además, la evidencia arqueológica no respalda de manera concluyente la idea de una transmisión directa de conocimientos metalúrgicos desde Sudamérica. Por ejemplo, las técnicas de fundición y aleación utilizadas en Mesoamérica presentan diferencias significativas con respecto a las empleadas en los Andes, lo que sugiere que pudieron desarrollarse de manera independiente (Shimada 1994; Hosler 1988). Asimismo, la cronología de los hallazgos metalúrgicos en Mesoamérica no coincide plenamente con la propuesta de Hosler, ya que algunos de los objetos más antiguos de cobre en la región datan de periodos anteriores a los contactos propuestos con las culturas sudamericanas (Pendergast 1962).

Replanteando la cronología global de la metalurgia: Implicaciones para la teoría difusionista: El análisis de la cronología global de la metalurgia refuerza la necesidad de replantear la teoría sobre la difusión de esta tecnología en Mesoamérica. Si bien es cierto que la metalurgia en Sudamérica se desarrolló antes que, en Mesoamérica, es importante considerar las implicaciones de esta temporalidad en el contexto más amplio de la historia global de la metalurgia. Este enfoque nos permite entender que los procesos de difusión tecnológica no son lineales ni unidireccionales, sino que están influenciados por múltiples factores, como el intercambio cultural, la adaptación local y las condiciones ambientales.

Siguiendo una hipótesis difusionista, es posible rastrear el origen de la metalurgia hasta Anatolia y Mesopotamia, donde se desarrolló entre el 9000-7000 a.C. (Roberts et al., 2009). Desde allí, las técnicas metalúrgicas se expandieron hacia regiones cercanas, como el Levante y los Balcanes, hacia el 4000-3000 a.C. (Renfrew 1969). Posteriormente, estas tecnologías llegaron a Egipto, donde se utilizaron para la fabricación de herramientas y artefactos, marcando un hito en el desarrollo tecnológico de la región (Shaw 2000). Más tarde, entre el 2500-2000 a.C., la metalurgia pudo haber llegado a Ecuador, específicamente a la cultura Valdivia, una de las primeras en trabajar el metal en Sudamérica (Marcos 2005). Hacia el 1500 a.C., estas técnicas se difundieron en el África subsahariana, especialmente en la cultura Nok, conocida por sus esculturas de terracota y su temprano uso del hierro (Fagg 1977). Posteriormente, entre el 800-500 a.C., la metalurgia se consolidó en los Andes centrales (Perú y Bolivia), donde culturas como Chavín y Paracas adaptaron estas tecnologías a sus necesidades locales (Lechtman 2014). Finalmente, entre el 600-1200 d.C., las técnicas metalúrgicas llegaron a Mesoamérica, especialmente al Occidente, donde culturas como la Tarasca adoptaron el uso del cobre y el bronce (Hosler 1994).

Sin embargo, la teoría de la difusión cronológica se basa en la idea de que hubo un punto de origen para la metalurgia que se expandió hacia otras culturas. Esta perspectiva no tiene en cuenta la posibilidad de múltiples focos de invención y desarrollo independiente. La diversidad de tecnologías metalúrgicas en distintas partes del mundo sugiere que el origen de la metalurgia podría haber sido más complejo y distribuido, con innovaciones locales influenciadas por factores internos más que por contactos externos.

Similitudes tecnológicas y desarrollos independientes: Si la metalurgia se hubiera difundido de manera uniforme desde un punto de origen único, esperaríamos encontrar un patrón claro en las similitudes tecnológicas entre las culturas que recibieron esta influencia. Sin embargo, las evidencias arqueológicas muestran que las tecnologías metalúrgicas en diferentes partes del mundo presentan grandes diferencias en técnicas, materiales y usos, lo que sugiere que, más que una difusión lineal de una única tecnología, hubo múltiples desarrollos independientes adaptados a contextos locales.

Por ejemplo, en Anatolia y Mesopotamia, las primeras evidencias de metalurgia, que datan del 9000-7000 a.C., se centraron en el uso del cobre nativo y técnicas de martillado en frío, sin procesos de fundición complejos (Roberts et al., 2009). En contraste, en los Andes centrales, las culturas como Chavín y Moche desarrollaron técnicas avanzadas de fundición y aleación, incluyendo el uso de moldes y la creación de bronce arsenicales, que no tienen paralelos directos en otras regiones (Lechtman, 2014). Estas diferencias técnicas sugieren que las sociedades andinas no simplemente adoptaron tecnologías externas, sino que las adaptaron y desarrollaron de manera autónoma.

De manera similar, en Mesoamérica, la cultura Tarasca utilizó el cobre y el bronce principalmente para la elaboración de herramientas y ornamentos, con un enfoque en la producción de objetos utilitarios y rituales (Hosler, 1994). Esto contrasta con el uso predominante de metales en los Andes para la creación de objetos ceremoniales y de estatus. Estas diferencias en el uso y la técnica refuerzan la idea de que las tecnologías metalúrgicas no se difundieron de manera uniforme, sino que fueron desarrolladas y adaptadas de acuerdo con las necesidades y contextos culturales específicos de cada región.

Además, estudios recientes han demostrado que las similitudes en las tecnologías metalúrgicas no siempre indican una conexión directa entre culturas. Por ejemplo, Shimada (1994) señala que las técnicas de fundición en los Andes y Mesoamérica presentan diferencias significativas en términos

de diseño de hornos, tipos de escorias y aleaciones utilizadas, lo que sugiere desarrollos independientes. Asimismo, Thornton y Roberts (2009) argumentan que la metalurgia es un fenómeno complejo que puede surgir de manera independiente en diferentes regiones, siempre que existan las condiciones ambientales, sociales y tecnológicas necesarias.

Análisis de la evidencia arqueológica: Similitudes tecnológicas y desarrollos independientes:

En el estudio de la metalurgia prehispánica, la comparación de evidencias arqueológicas entre regiones como Ecuador, Mesoamérica y otras áreas del mundo ha sido fundamental para entender los procesos de desarrollo tecnológico. Sin embargo, hasta el momento, en Ecuador no se ha documentado evidencia clara sobre los métodos utilizados para la reducción de cobre (Marcos, 2005), lo que dificulta establecer una base sólida para comparar las técnicas metalúrgicas de esta región con las de Mesoamérica. Si hubiera habido una influencia directa de los conocimientos metalúrgicos de una región a otra, sería razonable esperar algún tipo de similitud en los procesos o en los artefactos producidos. Sin embargo, la falta de evidencia concreta sugiere que los desarrollos en cada área fueron más probablemente independientes.

Adicionalmente, Shimada (1995) ha propuesto que los grupos asociados con la cultura Manteño-Huancavilca obtuvieron cobre del norte de Perú a través de un intercambio de conchas *Spondylus*. Si bien este intercambio está bien documentado a través de fuentes históricas y arqueológicas, en el caso de la metalurgia del cobre, las pruebas arqueológicas en el norte de Perú revelan una tecnología avanzada y diferente. Por ejemplo, en sitios como Batán Grande, se han encontrado hornos de solera en forma de pera, utilizados en el proceso de reducción del cobre y datados entre 1100 y 1400 d.C. (Shimada 1995). Este tipo de horno no tiene paralelo en Mesoamérica, donde no se ha encontrado evidencia de hornos similares ni en códices ni en restos arqueológicos. Esta diferencia tecnológica refuerza la idea de que las prácticas metalúrgicas en ambas regiones se desarrollaron de manera independiente, adaptándose a contextos y necesidades locales.

Ahora bien, volviendo al argumento de las similitudes tecnológica durante las lecturas se ha podido observar que en Trentino (Italia) las escorias encontradas ahí se parecen a las de Jicalán Viejo, ¿significa necesariamente que la tecnología proviene de allí? La respuesta no es tan sencilla. Como señalan Addis et al. (2016) en su estudio sobre las escorias de fundición de cobre de la Edad del Bronce Tardío en Luserna (Trentino Italia), las similitudes en la composición y morfología de las escorias pueden explicarse por principios universales de física y química que rigen los procesos metalúrgicos. Es decir, las condiciones necesarias para reducir cobre, como la temperatura, la

composición del mineral y las técnicas de reducción, son similares en cualquier contexto cultural (Addis et al., 2016; 96-114). Por lo tanto, es posible que las similitudes observadas sean el resultado de respuestas tecnológicas independientes a desafíos similares, más que de una conexión directa entre ambas regiones.

Este enfoque no descarta por completo la posibilidad de intercambios culturales, pero sugiere que la similitud en las escorias no es suficiente por sí sola para demostrar una transferencia tecnológica directa. Como señalan Thornton y Roberts (2009), la metalurgia es un fenómeno complejo que puede surgir de manera independiente en diferentes regiones, siempre que existan las condiciones ambientales, sociales y tecnológicas necesarias. En lugar de asumir que las similitudes implican un origen común, es más lógico considerar que estas podrían ser el resultado de procesos tecnológicos convergentes, basados en principios físicos y químicos universales.

6. CONCLUSIONES

En este trabajo de investigación se han alcanzado con éxito los objetivos planteados, proporcionando una comprensión detallada sobre las escorias encontradas en el sitio Jicalán Viejo. A través de una metodología sistemática basada en la caracterización morfológica y el análisis de parámetros como el grosor, forma, inclusiones, color y magnetismo, se logró identificar una notable variabilidad en los tipos de escorias presentes, como la escoria de torta, laminar y mixta. Esta diversidad evidencia la complejidad de los procesos metalúrgicos realizados en el sitio, permitiendo inferir no solo las técnicas utilizadas, sino también la organización y especialización del trabajo metalúrgico en la región.

Tipos de escorias y procesos metalúrgicos:

Las escorias de tipo torta han sido asociadas con la reducción primaria, es decir, la etapa inicial en la que el mineral de cobre es reducido para obtener metal bruto. Este tipo de escoria, caracterizada por su forma irregular y composición heterogénea, refleja un proceso de reducción a altas temperaturas en el que se separa el metal de las impurezas. Por otro lado, las escorias mixtas, que comparten similitudes químicas y morfológicas con las de tipo torta, sugieren que podrían ser una variante del mismo proceso de reducción primaria. Esto plantea la posibilidad de que existieran variaciones técnicas dentro de un mismo proceso, posiblemente debido a fluctuaciones en la temperatura o las condiciones específicas del proceso. Estas variaciones podrían indicar que los metalurgistas de Jicalán Viejo adaptaban sus técnicas a las condiciones disponibles, lo que refleja un alto grado de conocimiento técnico.

Las escorias de torta y laminares forman parte de un mismo proceso metalúrgico continuo, pero corresponden a diferentes etapas de reducción del metal. En la primera fase de extracción, la mena mineral se somete a un tratamiento térmico inicial donde se eliminan los componentes no metálicos, dando como resultado un material intermedio conocido como mata. Esta etapa genera las características escorias de torta, que presentan una estructura porosa y heterogénea debido a su alto contenido de impurezas.

Posteriormente, el proceso continúa con un segundo refinamiento donde se remueve una capa adicional de material no deseado, aunque esta vez con una composición más depurada. Al enfriarse, este material forma las escorias laminares gruesas, cuya morfología plana y estructura más compacta reflejan un mayor grado de pureza en comparación con las escorias de torta. Estas láminas gruesas sugieren un método de colado controlado durante el proceso de separación.

La fase final de purificación corresponde a las escorias laminares finas, que se distinguen por su sonido metálico y textura vitrificada. Este tipo de escoria probablemente se producía en crisoles durante un proceso de refinamiento secundario, destinado a obtener un metal de mayor pureza. La delgadez y características acústicas de estas láminas indican un cuidadoso control de temperatura y técnicas avanzadas de separación de escorias.

Distribución y organización de las áreas metalúrgicas:

El análisis de las escorias permitió dividir el sitio en cuatro zonas principales, cada una con características específicas en cuanto a los tipos de escorias presentes y su relación con las estructuras arquitectónicas. Estas zonas reflejan una organización espacial bien definida, donde las actividades de producción de cobre se distribuían de acuerdo con las necesidades técnicas y logísticas del proceso metalúrgico.

Zona 1 (Contexto 6): Esta zona, ubicada cerca de estructuras coloniales como el templo y el atrio, se caracteriza por la presencia de los tres tipos de escorias (torta, laminar y mixta), lo que sugiere que aquí se llevaban a cabo tanto la reducción primaria como la reducción secundaria del cobre. La proximidad de las escorias a estructuras en forma de "L" y "U" indica que estas edificaciones pudieron haber funcionado como talleres metalúrgicos o áreas de habitación para los trabajadores. Sin embargo, la ausencia de escorias en áreas cercanas al templo y el atrio sugiere que estos espacios estaban destinados a funciones ceremoniales o administrativas, alejadas de la actividad productiva.

Zona 2 (Contexto 9 - Ladera de la Laguna): Esta área, ubicada en una pendiente que desciende hacia la laguna, presenta una alta concentración de escorias tipo torta y mixtas, lo que indica que aquí se realizaba principalmente la reducción primaria. La topografía del terreno, lejos de ser un impedimento, habría facilitado el manejo de los residuos, permitiendo que las escorias rodaran ladera abajo y manteniendo el área de trabajo libre de desechos. La cercanía a la laguna también

habría proporcionado acceso a recursos esenciales, como agua y arcilla, necesarios para la construcción y mantenimiento de los hornos.

Zona 3 (Contextos 4, 5 y 8 - Montículo Pequeño y Noroeste del Montículo): En esta zona predominan las escorias tipo torta, lo que sugiere que aquí se concentraba la reducción primaria del cobre. La presencia de estructuras prehispánicas, como una pequeña pirámide y construcciones en forma de "U", indica que esta área tenía un carácter ceremonial o administrativo, aunque no se encontró una relación directa entre estas estructuras y las concentraciones de escorias. Esto sugiere que las actividades metalúrgicas se desarrollaban en áreas separadas de los espacios rituales.

Zona 4 (Contextos 1, 2, 3, 7 y 10 - Sureste del Sitio): Esta zona se distingue por la presencia casi equitativa de escorias tipo torta y laminares, lo que indica que aquí se llevaban a cabo tanto la reducción primaria como la secundaria. La coexistencia de estos tipos de escorias sugiere que esta área funcionaba como un centro multiproceso, donde se realizaban diversas etapas de la producción de cobre. La presencia de escorias mixtas también apunta a la posibilidad de variaciones técnicas dentro de un mismo proceso, lo que refleja la adaptabilidad de los metalurgistas a las condiciones disponibles.

Respuesta a la pregunta de investigación e hipótesis

La hipótesis inicial, que proponía que el análisis de las escorias de cobre de Jicalán el Viejo permitiría caracterizar la organización, prácticas tecnológicas y métodos empleados en la cadena operativa metalúrgica, se ha cumplido satisfactoriamente. Mediante la caracterización detallada de las escorias superficiales, no solo se identificaron distintos tipos de residuos (como escorias de torta, laminares gruesas y finas), sino que también se logró asociarlos con áreas específicas del sitio, revelando una clara distribución espacial de las actividades productivas. Esto ha proporcionado evidencia concreta sobre la organización del trabajo metalúrgico, confirmando la existencia de zonas especializadas para etapas como la fundición primaria, el refinamiento y la purificación final.

Además, el estudio ha aportado información sobre las prácticas tecnológicas prehispánicas y coloniales. Por ejemplo, la presencia de escorias laminares finas con sonido metálico sugiere el uso de crisoles para procesos avanzados de refinación, mientras que las escorias de torta indican etapas iniciales de extracción en hornos de reducción. Estos hallazgos respaldan la hipótesis sobre

la posible existencia de estructuras como hornos y herramientas especializadas, aunque su confirmación definitiva requerirá excavaciones futuras. En conclusión, la investigación ha ampliado significativamente el entendimiento de la producción metalúrgica en Jicalán el Viejo, estableciendo bases sólidas para estudios posteriores sobre su desarrollo tecnológico y su papel en las redes económicas regionales.

Implicaciones tecnológicas y organizativas

Los resultados de este estudio no solo permiten reconstruir las técnicas metalúrgicas utilizadas en Jicalán Viejo, sino también inferir la organización social y económica de sus habitantes. La distribución de las escorias en áreas específicas sugiere un alto grado de especialización y planificación en la producción de cobre. La presencia de zonas dedicadas a diferentes etapas del proceso metalúrgico (reducción primaria y secundaria) indica que los habitantes del sitio tenían un conocimiento avanzado de las técnicas de fundición y refinamiento, lo que les permitía optimizar los recursos y maximizar la producción.

Además, la relación entre las áreas de producción y las estructuras arquitectónicas sugiere una organización espacial intencional, donde las actividades metalúrgicas se desarrollaban en áreas periféricas, mientras que los espacios centrales estaban destinados a funciones ceremoniales o administrativas. Esta distribución refleja una compleja interacción entre las actividades productivas y rituales, lo que resalta la importancia de la metalurgia no solo como una actividad económica, sino también como un elemento clave en la organización social y cultural del sitio.

Grosor de las escorias: Control y estandarización en la fundición

El análisis del grosor de las escorias reveló que las piezas con grosores de **1, 1,5 y 2 cm** son las más frecuentes en el sitio. Este patrón sugiere que los metalurgistas de Jicalán Viejo prestaban especial atención a este parámetro durante el proceso de fundición, lo que podría indicar un **criterio específico** para la extracción de las escorias del horno. La consistencia en los grosores observados refleja un alto grado de **control técnico y estandarización** en el proceso, lo que a su vez apunta a un conocimiento avanzado de las propiedades físicas y químicas de los materiales utilizados.

Esta estandarización no solo facilitaba la eficiencia en la producción, sino que también podría estar relacionada con la optimización del espacio dentro de los hornos y la gestión de los residuos. Por ejemplo, grosores uniformes podrían haber permitido una mejor circulación del aire y una distribución más homogénea del calor durante la fundición, lo que habría contribuido a mejorar la calidad del metal obtenido. Además, este nivel de control sugiere que los metalurgistas de Jicalán Viejo tenían un profundo conocimiento empírico de las condiciones necesarias para llevar a cabo procesos de fundición exitosos, lo que refleja una tradición tecnológica bien establecida en el sitio.

Magnetismo de las escorias: Limitaciones y perspectivas metodológicas

Por otro lado, el análisis del magnetismo de las escorias mostró que este parámetro no puede considerarse un indicador confiable cuando se trabaja con muestras fragmentadas. Las fracturas en las escorias pueden alterar significativamente sus propiedades magnéticas, lo que dificulta la obtención de datos precisos y consistentes. Este hallazgo resalta una limitación importante en la metodología empleada y sugiere que, para futuros estudios, es necesario desarrollar enfoques alternativos que permitan obtener indicadores más robustos.

Una posible solución sería analizar escorias completas en lugar de fragmentos, lo que permitiría evaluar con mayor precisión sus propiedades magnéticas. Alternativamente, podrían emplearse técnicas complementarias, como la espectrometría de masas o la microscopía electrónica, para analizar la composición química y mineralógica de las escorias sin depender exclusivamente de su magnetismo. Estas metodologías no solo superarían las limitaciones identificadas, sino que también proporcionarían información adicional sobre las temperaturas alcanzadas durante la fundición, la composición del mineral utilizado y las técnicas de refinamiento empleadas.

Limitaciones y perspectivas futuras

A pesar de los avances logrados en este estudio, es fundamental reconocer las limitaciones que han condicionado la interpretación de los resultados y la profundidad del análisis. La principal restricción ha sido el origen de las escorias analizadas, las cuales no provienen de excavaciones arqueológicas sistemáticas, sino de una prospección superficial. Esta metodología, aunque útil para obtener una primera aproximación a la distribución y características de las escorias, no permite acceder a información estratigráfica ni contextual detallada. Como resultado, la capacidad

para reconstruir con precisión el contexto de las áreas de producción y su relación con las estructuras arquitectónicas se ve limitada.

La falta de excavaciones sistemáticas impide, por ejemplo, determinar la secuencia temporal de las actividades metalúrgicas en relación con las estructuras identificadas. Sin una estratigrafía clara, no es posible establecer si las áreas de producción de cobre fueron contemporáneas a las estructuras ceremoniales o si, por el contrario, corresponden a periodos diferentes de ocupación del sitio. Además, la prospección superficial no permite identificar con certeza la presencia de hornos, herramientas u otros elementos asociados a la producción metalúrgica, lo que dificulta la reconstrucción completa de la cadena operativa.

Perspectivas futuras:

Para profundizar en estos hallazgos, se proponen las siguientes líneas de investigación futura:

- Análisis de escorias completas: Estudiar escorias completas en lugar de fragmentos permitirá obtener datos más precisos sobre sus propiedades físicas y químicas, incluyendo su magnetismo.
- Técnicas analíticas complementarias: Emplear técnicas como la espectrometría de masas o la microscopía electrónica para analizar la composición de las escorias y reconstruir con mayor detalle los procesos de fundición.
- Estudios experimentales: Realizar experimentos de fundición utilizando técnicas y materiales similares a los identificados en Jicalán Viejo para comprender mejor las condiciones necesarias para producir escorias con grosores específicos.
- Comparaciones regionales: Comparar los resultados obtenidos en Jicalán Viejo con otros sitios metalúrgicos en Mesoamérica para identificar patrones de similitud y diferencia en las técnicas de producción.

Bibliografía

Addis, Andrea, Ivana Angelini, and Gilberto Artioli

2017 "Fundición de cobre en la Edad del Bronce Tardío en los Alpes del sudeste: ¿cuán estandarizado era el proceso de fundición? Evidencia de Transacqua y Segonzano, Trentino, Italia." *Archaeological and Anthropological Sciences* 9(5):985-999. DOI:10.1007/s12520-016-0462-5.

Addis, Andrea, Ivana Angelini, Piero Nimis, and Gilberto Artioli

2016 "Escorias de fundición de cobre de la Edad del Bronce Tardío de Luserna (Trentino, Italia): interpretación del proceso metalúrgico." *Archaeometry* 58(1):96-114. DOI:10.1111/arc.12160.

Allen, Norman Stuart, Michelle Edge, and John McDonald

1970 "Principios fisicoquímicos y problemas actuales." *Corrosion Science* 10(1):1-22.

Angiorama, Carlos Ignacio, María Florencia Becerra, and María Josefina Pérez Pieroni

2015 "El mineral del Pan de Azúcar: arqueología histórica de un centro minero colonial en la Puna de Jujuy (Argentina)." *Chungará (Arica)* 47(4):603-619. DOI:10.4067/S0717-73562015005000045.

Audouze, Françoise

2002 "Les chaînes opératoires et les pratiques Techniques: Approches méthodologiques." In *La matière et l'homme: Pratiques et Techniques en archéologie*, edited by Pierre Lemonnier, 287-298. Paris: Presses Universitaires de France.

Bachman, Hans

1982 *El Identificación de Escorias de Sitios Arqueológicos*. London: Instituto de Arqueología, Universidad de Londres.

Ben-Yosef, Erez, Thomas E. Levy, Thomas Higham, Mohammad Najjar, and Lisa Tauxe

2012 "New Chronological Framework for Iron Age Copper Production at Timna (Israel)." *Bulletin of the American Schools of Oriental Research* 367:31-71.

Barrett, Elinore M.

1981 "La mina de cobre del rey: Inguarán en Nueva España." *The Americas* 38(1):1-29.

Bernate, Jayson, and Lenghel Tarazona

2021 "Revisión Documental de la Importancia de la Motricidad en el ámbito Humano." *Ciencia y Deporte* 6(1):1-16. Accessed February 14, 2025.

Binford, Lewis Roberts

1989 *Debatiendo el pasado: ensayos sobre la historia de la arqueología*. London: Thames and Hudson.

Carmona, Fernando

2002 "Química aplicada a la metalurgia extractiva." *Boletín de la Sociedad Chilena de Química* 47(2):159-162.

Castel, Georges, Pierre Tallet, and Philippe Fluzin

2008 "La Métallurgie du cuivre au temps des pharaons." *Archéologia* 460:62-71.

Castro, Patricia

2019 *Vestigios de Fundición Primaria Prehispánica y Colonial en la Orfebrería de Santa Clara del Cobre: Un Enfoque Etnoarqueológico, Experimental y Comparativo*. Michoacán: Centro de Estudios Arqueológicos.

Corona, Néstor, Mario Retiz-García, Hans Roskamp, Blanca Maldonado, y The 88th Annual Meeting of the Society for American Archaeology

2023 *Daños en el complejo Jicalán Viejo por uso de la tierra de 1970 a 2021: una evaluación cartográfica moderna*.

Craddock, Paul T.

1995 Minería y producción de metales en sus inicios. Washington, DC: Smithsonian Institution Press.

Creswell, John W.

2003 Diseño de investigación: enfoques cualitativos, cuantitativos y de métodos mixtos (2ª ed.). Thousand Oaks, CA: Sage Publications.

Cruz, Pablo, Carlos Angiorama, Florencia Becerra, Sergio Braticovic, and Comunidad Aborigen Atacama de Cobres

2021 "La mina de Cobres (puna de Salta, Argentina) y la producción de metales en baja escala durante los periodos prehispánico y colonial." Nuevo Mundo Mundos Nuevos. DOI:10.4000/nuevomundo.83406.

De Nigris, Mario, and Octavio Puche

2011 "El uso de los hornos Pachamanca y Guayra para la fundición en los Andes." De Re Metallica 16:21-31.

Di Capua, Constanza

1966 Iconografía y contacto cultural: Similitudes entre Mesoamérica y Ecuador. Santiago: Editorial Universitaria.

Domínguez-Vázquez, Gabriela, Diana M. Bocanegra-Ramírez, and Ismael Israde-Alcántara

2023 "Efecto de la metalurgia prehispánica en el ambiente de una selva tropical en Jicalán, Michoacán, México." Artículo en prensa.

Emsley, John

1998 Los elementos. Oxford: Oxford University Press.

Esquivel, Patricia.

2009 "La metalurgia prehispánica en Michoacán." Revista Mexicana de Ciencias Geológicas 26(2): 345-360.

Galvele, José R.

2016 Los materiales, la tecnología y la humanidad. México: Instituto Sobato.

García Zaldúa, Johan, and Dorothy Hosler

2020 "Fundición de cobre en el sitio arqueológico de El Manchón, Guerrero: de la práctica indígena a la producción a escala colonial." *Antigüedad Latinoamericana* 31(3):558-575.

Graffam, Gray, Alvaro Carevic, and Mario Rivera

1995 "Evidencias metalúrgicas de fundición de cobre en el sitio Formativo Tardío de Ramaditas, Quebrada de Guatacondo, Provincia de Iquique, Chile." *Estudios Atacameños* 12:53-67.

Grinberg, Dora

1996 "Técnicas minero-metalúrgicas en Mesoamérica." In *Mesoamérica y los Andes*, edited by M. Cervantes, 89-104. México: UNAM.

Hacıgüzeller, Piraye

2017 "Mapas arqueológicos (digitales) como representaciones: hacia mapeos alternativos." *Norwegian Archaeological Review* 50(2):149-171. DOI:10.1080/00293652.2017.1393456.

Hauptmann, Andreas

2007a La arqueometalurgia del cobre: evidencia de Faynan, Jordania. Berlín: Springer.

2007b The Archaeometallurgy of Copper: Evidence from Faynan, Jordan. New York: Springer.

Hosler, Dorothy

1994 Los sonidos y colores del poder: la tecnología metalúrgica sagrada del antiguo oeste de México. Cambridge, MA: MIT Press.

2005 "Metalurgia mesoamericana." In *Encyclopedia of Prehistory*, edited by Peter N. Peregrine and Melvin Ember, 3:206-215. Boston: Springer.

Holm, Olaf

1980 "The Spondylus Shell in Pre-Columbian Ecuador." *Journal of the Steward Anthropological Society* 12(1):51-76.

Jarrige, Jean-François

1984 "Cronología de los períodos anteriores del Gran Indo vistos desde Mehrgarh, Pakistán." In *Arqueología del sur de Asia 1981*, edited by Bridget Allchin, 21-29. Cambridge: Cambridge University Press.

Larreina-García, David

2017 *Fundición de cobre y hierro forjado en China central: tradiciones tecnológicas en el condado de Daye (Hubei)*. Doctoral dissertation. London: University College London.

Lemonnier, Pierre

1986 *L'homme et la matière: Les chaînes opératoires*. Paris: Presses Universitaires de France.

1991a "Prácticas y técnicas: Les chaînes opératoires." In *L'homme et la matière*, edited by Pierre Lemonnier, 45-63. Paris: Presses Universitaires de France.

1991b "Les chaînes opératoires dans la production des objets archéologiques." *Revista de Investigación Antropológica* 47(2):113-132.

Leroi-Gourhan, André

1965 *Le geste et la parole: La mémoire et les rythmes* (Vol. 2). Paris: Albin Michel.

1971 *Le geste et la parole: Technique et langage* (Vol. 1). Paris: Albin Michel

Lechtman, Heather

2014 *Andean Metallurgy in Prehistory*. In *Archaeometallurgy in Global Perspective*, edited by Benjamin W. Roberts and Christopher P. Thornton, 361-422. New York: Springer.

Levy, Thomas E., Mohammad Najjar, and Erez Ben-Yosef

2008 *Iron Age Copper Production in the Faynan Oasis, Jordan: New Evidence from Khirbet en-Nahas*. In *Metallurgy: Understanding How, Learning Why*, edited by James D. Muhly, 197-214. Los Angeles: Cotsen Institute of Archaeology Press.

Lothrop, Samuel Kirkland

1977 *Pre-Columbian Art and Archaeology: Selected Readings*. Cambridge, MA: MIT Press.

López, Leonardo, and José Luis Ruvalcaba

2015 El oro de Tenochtitlan: la colección arqueológica del Proyecto Templo Mayor. *Estudios de Cultura Náhuatl* 49:7-57.

2017 Mexica Gold." In *Golden Kingdoms: Luxury Arts in the Ancient Americas*, edited by Joanne Pillsbury, Timothy Potts, and Kim Richter, 111-121. Los Angeles: Getty Publications.

Macías, Juan Aurelio

1986 La metalurgia en la prehistoria de la Sierra de Aracena (Huelva). Huelva: Universidad de Huelva.

1986 Generalidades para la clasificación de las escorias en las prospecciones y excavaciones arqueológicas." *Habis* 17:565-573.

Maldonado, Blanca

2006 Producción de cobre preindustrial en la zona arqueológica de Itziparátzico, localidad tarasca en Michoacán, México. PhD diss., Pennsylvania State University.

2010 Traditional Metallurgy and Mining in Mesoamerica." In *Archaeometallurgy in Mesoamerica: Current Approaches and New Perspectives*, edited by Dorothy Hosler and Robert Cabrera, 25-46. Boulder: University Press of Colorado.

2018 *Metalurgia del cobre tarasca: una perspectiva multidisciplinaria*. Oxford: Archaeopress.

Marcos, Jorge G.

1977 Cruising to Acapulco and Back with the Thorny Oyster Set: A Model for a Lineal Exchange System." *Journal of the Steward Anthropological Society* 9(1-2):99-132.

2005 Los pueblos navegantes del Ecuador prehispánico." *Revista de Arqueología Americana* 23:7-32.

Maréchal, Raymond

1985 Diversidad genética en Vigna. In Cowpea: Research, Production and Utilization, edited by S.R. Singh and K.O. Rachie, 3-9. Chichester: John Wiley.

Martinón-Torres, Marcos

2002 Cadena operativa: el concepto y sus aplicaciones en el estudio de la tecnología. *Archaeological Review from Cambridge* 21(1):50-64.

Martínez, Mauricio, and Carlos Galindo-Leal

2002 La vegetación de Michoacán: Un enfoque ecológico y biogeográfico. Xalapa: Instituto de Ecología, A.C.

Mountjoy, Joseph B.

1969 On the Origin of West Mexican Metallurgy. *American Antiquity* 34(2):169-181.

Müller-Karpe, Andreas

1994 *Altanatolisches Metallhandwerk*. Neumünster: Wachholtz Verlag.

Nelson, Ben A., Elisa Villalpando Canchola, José Luis Punzo Díaz, and Paul E. Minnis

2015 Noroeste prehispánico y oeste adyacente de México, 1200 BC-AD 1400: una perspectiva interregional. *Kiva* 81(1-2):31-61.

Ortiz-Díaz, Edith, and José Luis Ruvalcaba Sil

2009 Un enfoque histórico a un colgante de oro: El estudio de diferentes técnicas metalúrgicas en la antigua Oaxaca, México, durante el período posclásico tardío." In *Archaeometallurgy in Europe: 2nd International Conference*, 511-518. Milan: Associazione Italiana di Metallurgia.

Ottaway, Barbara

1991 *Metalurgia y sociedad: un estudio de la producción de hierro en la antigua Europa*. Cambridge: Cambridge University Press.

2001 La producción y el trabajo del cobre: un marco teórico para el análisis arqueometalúrgico." *Journal of Archaeological Science* 28(7):823-837.

Ozuna Vallejo, Verónica, Iriani Ramos Velázquez, Roberto Antonio Lindig-Cisneros, Juan Julio Morales Contreras y José Luis Punzo Díaz

2022 Patrones de la vegetación y su relación con vestigios arqueológicos asociados al beneficio de cobre en el norte de Sonora. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 39(3)

Paulsen, Allison C.

1974 "The Thorny Oyster and the Voice of God: Spondylus and Strombus in Andean Prehistory." *American Antiquity* 39(4):597-607.

Plaza, María Teresa, Daniel Pavlovic, and Marcos Martín-Torres

2021 Crisoles y moldes en Los Nogales: Estudio tecnológico de cerámicas metalúrgicas del Período Tardío en el valle del Aconcagua, Chile Central. *Estudios Atacameños* 67:e4114. DOI:10.22199/issn.0718-1043-2021-0008.

Pollard, Helen Perlstein

1993 *El legado de Tariacuri: el estado tarasco prehispánico*. Norman: University of Oklahoma Press.

Punzo Díaz, José Luis, Juan Morales Contreras, and Avto Goguitchaishvili

2015 Evidencia de escorias de cobre prehispánicas en el área de Santa Clara del Cobre, Michoacán, Occidente de Mesoamérica." *Arqueología Iberoamericana* 7(28):46-51.

Raffino, Rodolfo, María Gobbo, María Lácona, and Reinaldo Moralejo

1996 Huayrachinas y Tocoimbos: Tecnología tradicional de fundición de los Andes del Sur. *Antigüedad Latinoamericana* 16(1):3-25.

Ramos, Pablo Gómez

1996 Hornos de reducción de cobre y bronce en la Pre y Protohistoria de la Península Ibérica. *Trabajos de Prehistoria* 53(1):127-143. DOI:10.3989/tp.1996.v53.i1.409.

Reitmaier-Naef, Leandra

2019a *Cobre alpino II: nuevos resultados y perspectivas sobre la producción prehistórica de cobre*. Rahden-Westfalen: Verlag Marie Leidorf.

2019b Escoria de fundición de cobre de Oberalbsstein (cantón de los Grisones, Suiza). Consideraciones metodológicas sobre tipología y morfología. In *Cobre alpino II*, edited by Rouven Turck, Thomas Stöllner, and Gert Goldenberg, 229-244. Bochum: VML Verlag Marie Leidorf.

Rehder, James E.

2000 *The Mastery and Uses of Fire in Antiquity*. Montreal: McGill-Queen's University Press.

Rehren, Thilo, and Ernst Pernicka

2008 Coins, Artefacts and Isotopes: Archaeometallurgy and Archaeometry. *Archaeometry* 50(2):232-248. DOI:10.1111/j.1475-4754.2008.00389.x.

Renfrew, Colin

2008 *Prehistoria: la formación de la mente humana*. Madrid: Biblioteca Moderna.

Renfrew, Colin, and Paul Bahn

2016 *Archaeology: Theories, Methods, and Practice*. 7th ed. London: Thames & Hudson.

Rzedowski, Jerzy

2006 *Vegetación de México*. Mexico City: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.

Roskamp, Hans

2001 *Historia, mito y legitimación: el Lienzo de Jicalán*. Zamora: El Colegio de Michoacán.

Roskamp, Hans, and Mario Retiz

2011 *Jicalán Viejo, Michoacán: Una Prospección Arqueológica e Histórica*. In *Raíces Culturales en la Historia de La Tierra Caliente Michoacana*, edited by José Arturo Oliveros Morales, 167-206. Zamora: El Colegio de Michoacán.

2013 Un estudio interdisciplinario de un sitio de fundición de cobre en el occidente de México. El caso de Jicalán Viejo, Michoacán. In *Archaeometallurgy in Mesoamerica*, edited by Aaron N. Shugar and Scott E. Simmons, 29-50. Boulder: University Press of Colorado.

Rovira, Salvador

1999 Una propuesta metodológica para el estudio de la metalurgia prehistórica: el caso de Gorny en la región de Kargaly (Orenburg, Rusia)." *Trabajos de Prehistoria* 56(2):85-113. DOI:10.3989/tp.1999.v56.i2.277.

Salkield, Leonard U.

1987 Una historia técnica de las minas de Riotinto: algunas notas sobre la explotación desde la época prefenicia hasta los años cincuenta. Madrid: Instituto de Ingeniería Minera.

Sellet, Frédéric

1993 Chaîne opératoire: el concepto y sus aplicaciones. *Tecnología Lítica* 18(1):106-112.

Shugar, Aaron N., and Scott E. Simmons, eds.

2013 *Archaeometallurgy in Mesoamerica: Current Approaches and New Perspectives*. Boulder: University Press of Colorado.

Shimada, Izumi

1995 *Pampa Grande and the Mochica Culture*. Austin: University of Texas Press.

Smith, Michael E.

2018 *At Home with the Aztecs: An Archaeologist Uncovers Their Daily Life*. London: Routledge.

Thornton, Christopher P., and Benjamin W. Roberts

2009 Introduction: The Beginnings of Metallurgy in Global Perspective. *Journal of World Prehistory* 22(3):181-184.

Trigger, Bruce G.

2006 *A History of Archaeological Thought*. 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press.

Soressi, Marie, and Jean-Michel Geneste

2011 La historia y la eficacia del enfoque de la chaîne opératoire para el análisis lítico." *PaleoAnthropology* 2011:334-350.

Tylecote, Ronald F.

1987 *The Early History of Metallurgy in Europe*. London: Longman.

1992 *A History of Metallurgy*. 2nd ed. London: Maney Publishing.

Warren, J. Benedict

1968 Minas de cobre de Michoacán, 1533. *Anales del Museo Michoacano*, 2a época, 6:35-52.