



HAL
open science

Caracterización espacial de un paisaje de extracción prehispanico: el yacimiento de dacita de Las Minas, Zacapu, Michoacán

Osiris Quezada Ramírez, Véronique Darras

► **To cite this version:**

Osiris Quezada Ramírez, Véronique Darras. Caracterización espacial de un paisaje de extracción prehispanico: el yacimiento de dacita de Las Minas, Zacapu, Michoacán. *Ancient Mesoamerica*, 2023, Special Section “Archaeology and Landscape in northern Michoacán: Revisiting the Zacapu Malpaís archaeology from LIDAR data perspective”, pp.1-29. 10.1017/S0956536122000025 . hal-04076105

HAL Id: hal-04076105

<https://hal.science/hal-04076105v1>

Submitted on 6 Jan 2025

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

Research Article

Caracterización espacial de un paisaje de extracción prehispánico: el yacimiento de dacita de Las Minas, Zacapu, Michoacán

Osiris Quezada Ramírez^a  y Véronique Darras^b 

^aUniversidad Nacional Autónoma de México, Fundación Stresser-Péan, Ciudad de México, México y ^bCNRS/Université Paris I, París, France

Resumen

En la cuenca lacustre de Zacapu a lo largo de su ocupación prehispánica (100 a.C. a 1450 d.C.), la dacita, una roca de origen volcánico, fue un recurso estratégico dentro de la economía regional, con el cual los antiguos habitantes de la zona elaboraron una serie de artefactos líticos ligados tanto a actividades de subsistencia y artesanales como rituales. Las investigaciones iniciadas en 2011 en dos minas-taller del yacimiento de dacita del Cerro Vicente expusieron una explotación extensa y organizada en torno a este recurso. En 2015, a partir de la cobertura LiDAR, se identificó un tercer complejo minero con evidencias de una explotación a cielo abierto y subterránea, esta vez en el yacimiento de Las Minas. Con el fin de comprender los mecanismos de explotación de la dacita, se ha llevado a cabo un análisis espacial de este sitio con distintas escalas de aproximación, para caracterizar las evidencias materiales vinculadas con la actividad extractiva. La combinación en nuestra investigación de la información que aporta el LiDAR y la proveniente de la prospección en el campo, nos ofrece un panorama completo del yacimiento, su organización espacial y funcional en un contexto más amplio como un paisaje prehispánico de extracción.

Abstract

Dacite, a volcanic rock with high silica composition, was a strategic resource for the ancient inhabitants living in the lacustrine basin of Zacapu (Michoacan), between 100 B.C. and A.D. 1450. It was used to make a diverse range of artifacts for subsistence, craft, and ritual activities. Our research started in 2011 at the Cerro Vicente deposit and unexpectedly revealed that dacite had been intensively exploited through well-organized quarry-workshops as complex as those developed for obsidian (Darras et al. 2017). In 2015, another important mining complex was identified, thanks to a LiDAR survey, on the dacite lava flow known as Las Minas.

This article aims to demonstrate how the use of LiDAR data, combined with other information sources (field survey and mapping, quarry and workshops areas characterization, and stratigraphic excavations), provides a powerful tool to investigate dacite exploitation strategies. The application of LiDAR technology in such a context makes it possible to acquire a complete and integrated assessment of a mining complex and thus to discuss the quarry landscape concept defined by Bloxam and Haldal (Bloxam et al. 2007; Haldal and Bloxam 2008; Stöllner 2003, 2008, 2014).

The site of Las Minas (Mich. 428) is located on a lava flow northwest of the Zacapu basin, which is integrated into the Middle Pleistocene Las Flores volcanic dome complex (Reyes-Guzmán et al. 2018; Siebe et al. 2014). To understand the mechanisms of anthropic dacite exploitation, different scales of spatial analysis were carried out to characterize the evidence linked to mining and workshop activities. Four complementary steps were followed. First, topographic anomalies potentially related to mining activities were methodically identified on the LiDAR image; these were then verified in the field through a systematic survey covering the entire site. A thorough surface study was then conducted in order to classify the different production modules of the Las Minas site and to understand their spatial organization and interconnection. Finally, three extraction units were chosen for further surface analysis and excavation.

The mapping and inventory of the archaeological evidence revealed an extension of 40 ha organized in six areas, which were regrouped in three functional entities: (a) exploitation zones dedicated to mining and workshop activities: 71 extraction units registered; (b) the areas with agricultural terraces; and (c) those with an architectural complex. Results highlight that open-pit mining was the principal extraction method, as evidenced by depressions, trenches, and extraction fronts that were implemented to take advantage of the surficial and/or shallow deposits. However, the need for high-quality raw material also resulted in the digging of

Correspondence author: Osiris Quezada Ramírez, email: oquezadar@yahoo.com.mx

Cite this article: Quezada Ramírez, Osiris, y Véronique Darras (2023) Caracterización espacial de un paisaje de extracción prehispánico: el yacimiento de dacita de Las Minas, Zacapu, Michoacán. *Ancient Mesoamerica* 34, 797–825. <https://doi.org/10.1017/S0956536122000025>

© The Author(s), 2023. Published by Cambridge University Press. This is an Open Access article, distributed under the terms of the Creative Commons Attribution licence (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), which permits unrestricted re-use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

subterranean mines, in the form of horizontal galleries. Fieldwork suggests that these mining activities were mainly developed during the Epiclassic period—that is, A.D. 600–900. The combination of these different approaches allowed us to glimpse the spatial organization of the activities at different scales carried out at the site of Las Minas.

To achieve our objectives, the high-resolution digital elevation model obtained from the LiDAR data was a fundamental. However, the information provided by the LiDAR image was fragmentary and needed thorough ground-trothing fieldwork to be completed. For example, surface extraction and workshops areas were identified only through surveys and excavations. These complementary methods helped to visualize the site of Las Minas as a pre-Hispanic quarry landscape. The coexistence of well-structured exploitation areas with architectural complexes and agricultural terraces reveals that dacite was part of a composite socioeconomic system and was clearly integrated into a broader regional network.

En las producciones líticas documentadas en contextos del centro y del occidente de Mesoamérica, las rocas volcánicas de grano fino, como el basalto, la dacita, la andesita y la riolita, son materiales predominantes dentro de los conjuntos artefactuales de piedra tallada, particularmente de los asentamientos ubicados en las regiones marcadas por el vulcanismo del Cinturón Volcánico Transmexicano (Darras 1993, 1998; Faugère-Kalfon 1996; Jackson 1990; MacNeish et al. 1967; Náñez 1990; Niederberger 1976, 1987; Rebnegger 2013; Reveles 2005). Este tipo de rocas, junto con la obsidiana, constituyeron la base principal de los recursos pétreos aprovechados y gestionados de manera diferencial, conforme con sus cualidades y con las necesidades de cada grupo en los diferentes períodos de la historia prehispánica.

Sin embargo, las rocas volcánicas de grano fino, en contraste con el vidrio volcánico, han sido poco estudiadas, pese a que tuvieron un gran peso dentro de la economía local y regional de los asentamientos. De hecho, hay que destacar que estas materias primas pueden llegar a tener una frecuencia relativamente mayor o equiparable al de la obsidiana, y que con ellas se manufacturaron una gama de instrumentos para diversas funciones. Además, se puede demostrar que las rocas volcánicas de grano fino fueron seleccionadas de una serie de recursos abióticos presentes en cada región, bajo criterios específicos (calidad, textura, dureza, facilidad para la talla, etc.). Sobre estas materias primas pesa el prejuicio de ser recursos profusos y disponibles, cuyo proceso extractivo se presupone poco complejo y estructurado—por no decir oportunista—ideas que tienden a acentuarse en ambientes volcánicos (García Payón 1979; Pollard 1996; Rebnegger 2013). Estos supuestos, no siempre comprobados, han dejado al margen aspectos cruciales relacionados con el aprovechamiento de este tipo de materiales, como son los factores socioeconómicos, culturales y tecnológicos que han influido en la selección de estas materias primas, la estructura organizativa en torno a su explotación, y desde una perspectiva práctica, la identificación misma de sus fuentes y el estudio de los contextos arqueológicos de obtención y transformación de la materia prima. No obstante, algunos estudios muestran que estas materias primas también pudieron ser objeto de un aprovechamiento sistemático y organizado equiparable al de la obsidiana. En Hidalgo, Baja California Sur y Sonora se han identificado sitios con evidencia de explotación de riolita, andesita y basalto (Fujita 2009:3; Fujita y Poyatos de Paz 2007; Rees 1990; Sánchez 2016; Toohey 2007).

Los trabajos recientes realizados sobre fuentes de dacita en el norte de Michoacán cuestionan también el esquema generalmente aceptado de explotación por colecta, pues revelan un método complejo de explotación organizada (Darras et al. 2017; Quezada Ramírez y Darras 2018).

La finalidad de este artículo es mostrar como la utilización de datos de LiDAR, combinados con otras fuentes de información (recorridos de superficie y mapeo, caracterización de las áreas extractivas y de transformación de la materia prima y sondeos estratigráficos), es elemento clave que proporciona una valiosa herramienta de lectura, que permite comprender y discutir la diversidad y la complejidad de las estrategias empleadas en el aprovechamiento de las rocas volcánicas de grano fino, así como de sus sistemas de explotación. La aplicación de la tecnología LiDAR en este contexto tan específico permitió adquirir una visión integral de un conjunto minero y, por lo tanto, explorar y debatir el concepto de paisaje antiguo de extracción (*quarry landscape*) definido por Bloxam y Heldal (Bloxam et al. 2007; Heldal y Bloxam 2008) y Stöllner (2003, 2008, 2014). Tomamos como ejemplo uno de los dos yacimientos de dacita identificados recientemente al noroeste de la cuenca de Zacapu, en Michoacán, y que fueron aprovechados por las poblaciones que se asentaron en esta región desde el formativo tardío (100 a.C.) hasta el posclásico medio (1200–1450 d.C.). Este yacimiento, llamado Las Minas, comprende una importante localidad con evidencia minera prehispánica inédita que fue identificada en 2015 mediante LiDAR y que recibió el nombre homónimo al de la fuente y la clave Mich. 428 (Figura 1). Su rasgo más importante y distintivo es la presencia de un sistema de minería subterránea, un método que en Mesoamérica sólo se había reconocido en fuentes líticas de obsidiana (Cobean 2002; Darras 1999; Pastrana 1986, 1998; Pastrana y Gómez 1988; Stocker y Cobean 1984) y de minerales como las de Querétaro (Herrera Muñoz 2011; Langenscheidt 1970) y Zacatecas (Schiavetti 1994; Weigand 1968).

En este artículo se sintetizan algunos de los resultados obtenidos durante los trabajos de campo subsecuentes al descubrimiento del sitio gracias al LiDAR (2016–2019), los cuales consistieron en verificar y caracterizar las anomalías topográficas observadas en el LiDAR, así como completar la información en campo. Los datos obtenidos a través de distintas fuentes de información nos permiten delinear la configuración espacial y funcional del sitio, establecer el patrón general de explotación y su posible temporalidad, así como proponer una clasificación de los

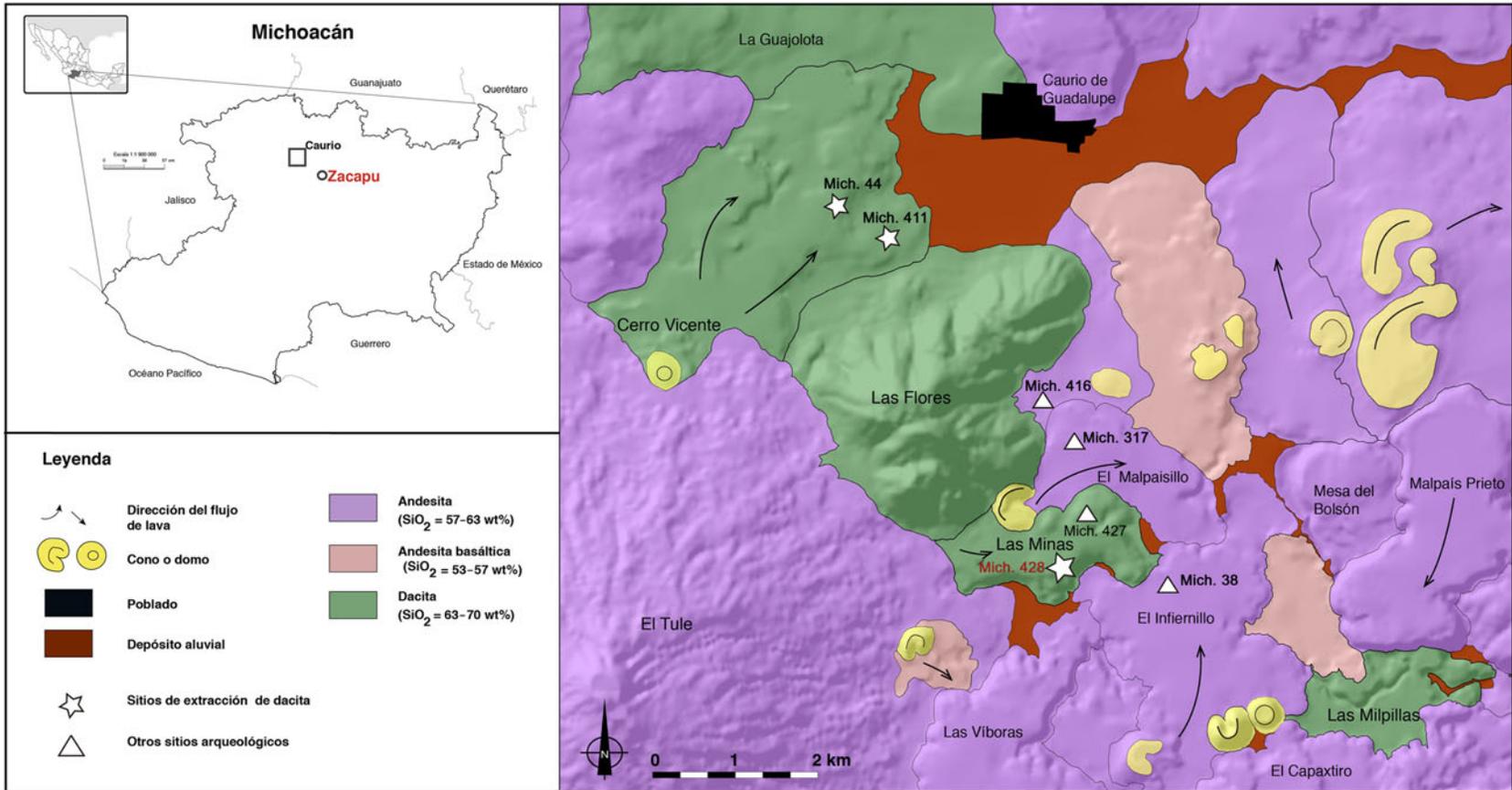


Figura 1. Mapa con la ubicación de los sitios arqueológicos de extracción de dacita e indicaciones de las composiciones geológicas de los flujos. Mapa por Quezada Ramírez y N. Reyes.

tipos de estructuras de extracción, con base en sus rasgos reconocibles en superficie.

Asimismo, el LiDAR ha permitido visualizar un paisaje prehispánico de extracción, y entenderlo en relación con otras fuentes de dacita que también fueron aprovechadas en la región, y con los sitios consumidores circundantes—es decir, como parte de un paisaje extendido de explotación de recursos líticos.

Estudios en torno a la dacita en México y otras regiones de América

En México la documentación referente a la explotación prehispánica de rocas volcánicas de grano fino es modesta si se contrasta con la abundante bibliografía que hay sobre la obsidiana. Hasta ahora, el único estudio del que disponemos sobre explotación de la dacita atañe al yacimiento del Cerro Vicente en la región de Zacapu (Darras y Déodat 2011; Darras et al. 2017). Sin embargo, existen otras investigaciones que aportan evidencia sobre sitios con actividad extractiva y de talla de materias primas como la riolita, la andesita y el basalto. Tal es el caso de la cantera-taller Magoni en el área de Tula (Mastache y Cobean 1990; Rees 1990); las de riolita y de andesita en El Pulguero (Fujita 2009; Fujita y Poyatos de Paz 2007) y en San José del Cabo, en Baja California Sur (Toohey 2007) respectivamente; y el yacimiento de basalto en el sitio El Bajío, Sonora (Sánchez 2016).

En otras partes del continente americano, desde inicios de la década de los noventa, en torno a la dacita se han desarrollado investigaciones enfocadas en el aprovisionamiento y gestión diferencial de materias primas, en la caracterización de artefactos y en la identificación geoquímica de fuentes (Bakewell 1993, 1996).

En la región Noroeste del Pacífico, que incluye parte del territorio de los Estados Unidos y Canadá (Bakewell 2005; Bakewell e Irving 1994; Duke 2013; Kenady et al. 2002; Mallory-Greenough et al. 2002; Osiensky 2014; Rousseau 2015), así como en el suroeste de los Estados Unidos (Dello-Russo 2005; Shackley 2005, 2011, 2013), los estudios han contribuido en el reconocimiento de importantes complejos de minas de dacita (Bakewell 2000; Baumler 2008; Mierendorf 1997; Moore e Irwin 2006; Smits y Davis 2015), dejando clara la relevancia que tuvo este recurso para los grupos prehistóricos que habitaron estos territorios (Dello-Russo 2005; Irwin y Steponaitis 2006; Vierra et al. 2012).

En años más recientes, los estudios hechos en Argentina y Chile han mostrado una gestión diferencial de recursos líticos, en la cual destaca el uso predominante de dacita en distintos períodos (Alberti 2016; Charlin 2005; Charlin y Pallo 2015; Cordero 2003; Crivelli Montero y Ramos 2010–2012; Rees y De Souza 2004). La caracterización de artefactos y yacimientos de este material han permitido, por un lado, establecer precisiones geológicas sobre esta roca, frecuentemente confundida con basalto (Charlin 2005:41; De Souza 2004:64), e identificar fuentes precisas y potenciales (Charlin et al. 2010; Morales et al. 2007; Sanguinetti et al. 2005; Seelenfreud et al. 2004, 2009). Además, se ha demostrado que, si bien la dacita es un recurso aprovechado localmente en algunos de los sitios de las regiones estudiadas,

también fue una materia prima que entró en circuitos de consumo de larga distancia, especialmente la considerada de alta calidad (Rees y De Souza 2004:464–465). Asimismo, las investigaciones señalan que hubo una explotación organizada en torno a la dacita testificada por la cantera-taller Paso Lymay (Cordero 2003:127) y el taller lítico LY 041-La Divisoria (Crivelli Montero y Ramos 2010–2012), ambos en la provincia de Río Negro en la Patagonia.

La dacita como recurso estratégico en la cuenca de Zacapu

En la cuenca de Zacapu la industria de la piedra tallada está marcada por la coexistencia de dos materias primas principales: la obsidiana y la dacita; no hay duda, ambas complementaron las necesidades de las poblaciones que se asentaron en esta región a lo largo de su historia de ocupación prehispánica. Las investigaciones realizadas por Darras (1999, 2008), desde finales de los ochenta, han dejado clara la relevancia que tuvieron los yacimientos de obsidiana de Zináparo, del Varal y del cerro Prieto en la economía de la cuenca a lo largo de toda la ocupación.

No obstante, aquí nos interesa destacar el papel estratégico de la dacita como un recurso base dentro de la economía de estas poblaciones desde las etapas más tempranas. Este papel se demuestra por la continuidad de esta materia prima en los conjuntos arqueológicos; por la amplia gama de instrumentos fabricados, con tipos de artefactos formales (puntas, cepillos y cuchillos de medialuna); por la selectividad de la dacita con respecto de otros recursos líticos disponibles y abundantes en la región, como la andesita (Figura 1), cuya representación en los conjuntos arqueológicos es más discreta; y principalmente por las estrategias organizativas desarrolladas en torno a su explotación en los dos yacimientos conocidos para la región de Zacapu.

El aprovechamiento de esta materia prima está plenamente documentado a partir de la fase Loma Alta (100 a.C. al 500 d.C.) en los sitios emplazados en el área palustre de Las Lomas (Arnauld et al. 1993; Darras 1993) y su utilización se extendió hasta la fase Milpillás (1200–1450 d.C.) en los asentamientos ubicados dentro del Malpaís de Zacapu (Darras et al. 2005; Migeon 2015; Pereira y Forest 2010; Pereira et al. 2013). Sin embargo, en los sitios fechados para las fases Lupe (600–850 d.C.) y la Joya (850–900 d.C.), tanto en la cuenca de Zacapu como en algunos sitios de la vertiente del Lerma (Arnauld et al. 1993; Carot 1994; Faugère-Kalfon 1996), es donde la dacita está más representada. En este período se incrementó la población y la ocupación del territorio, y el usufructo de recursos, entre ellos los líticos (Dorison 2019; Faugère-Kalfon 1996; Pereira et al. 2015, 2016, 2018).

La producción lítica de dacita abarca una amplia serie de artefactos ligados a actividades de subsistencia, artesanales, rituales y bélicas (Cochin 2014:47; Pereira 1999:179). También, se elaboraron objetos que fueron integrados dentro de los conjuntos funerarios que por su contexto se consideran de élite (Pereira 1999:178–180; Pereira et al. 2018:115–124; Figura 2). Este conjunto de instrumentos son el resultado tanto de una industria expedita como de una

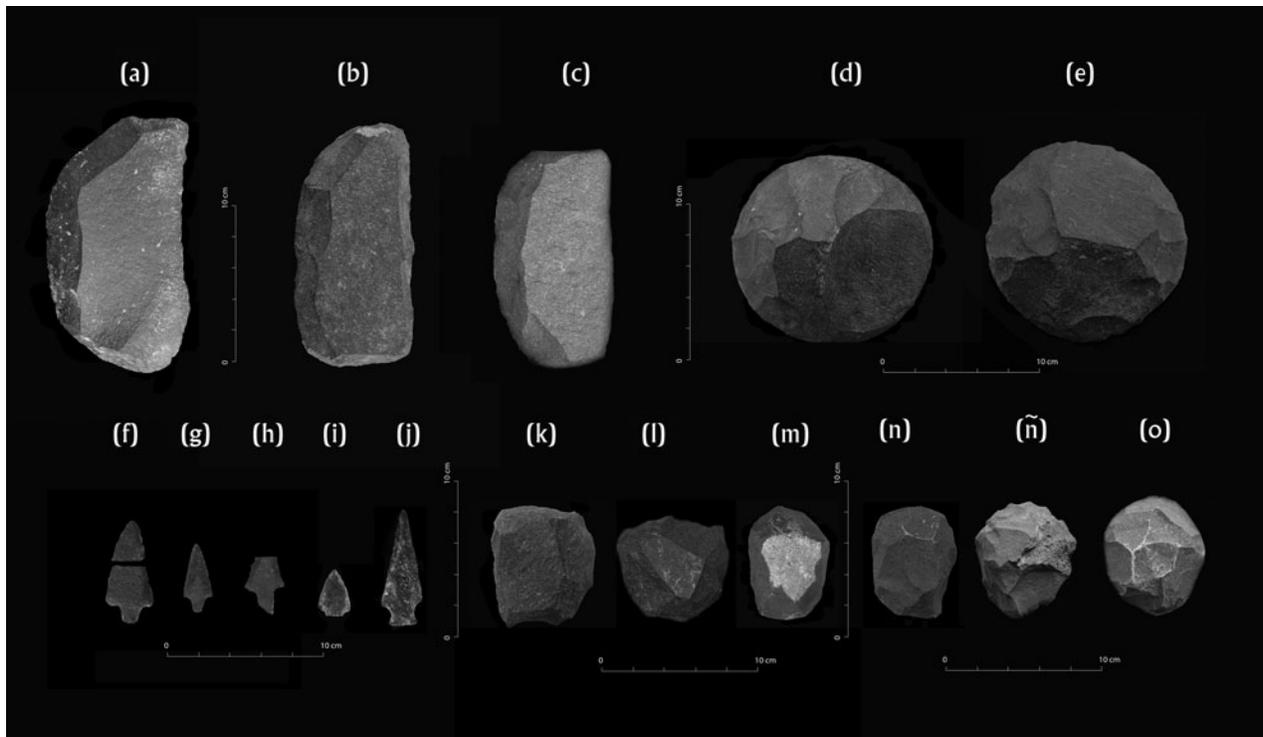


Figura 2. Instrumentos de dacita de sitios del epiclásico en la región. Cuchillos (a–b) Mich. 215-Potrero de Guadalupe; (c) Mich. 416-El Rincón de las Flores; cepillos (d) Mich. 215; (e) Mich. 416; puntas (f–h) Mich. 215; (i–j) Mich. 416; raspadores (k–l) Mich. 215; (m–n) Mich. 416; (ñ–o) Mich. 317-El Malpaisillo. Fotos por Quezada Ramírez.

industria que requirió de un grado de conocimientos técnicos más especializados. Sin embargo, a pesar de la presencia consistente de artefactos de dacita en las colecciones arqueológicas de la región, su estudio quedó en un nivel subyacente.

Concretamente sobre las fuentes de las cuales provenía esta materia prima, durante varias décadas no se supo con exactitud dónde se localizaban; únicamente se había propuesto que los yacimientos eran locales y que probablemente se ubicaban en alguno de los flujos del Malpaís de Zacapu (Darras 1993:168, 2010). Sería en 2011 cuando se identificó y registró de manera formal el primer sitio de minas-taller de dacita, de los cuatro documentados hasta el momento para la región de Zacapu (Darras et al. 2017). Este hallazgo abrió el panorama alrededor de este recurso en la región, no sólo porque hasta entonces las fuentes eran desconocidas, sino porque mostró que los espacios de explotación eran extensos, con tipos de extracción diversificados y con una organización estructurada.

Entre 2011 y 2015, durante los trabajos de prospección conducidos por Darras (Darras y Déodat 2011; Darras et al. 2015, 2017) al norte del Cerro de Las Flores en el marco del Proyecto Uacúsecha, se registraron dos sitios prehispánicos de extracción y talla de dacita: Las Lajitas (Mich. 44) y La Tronconera (Mich. 411; Darras et al. 2017), ambos emplazados sobre el flujo dacítico del Cerro Vicente (Reyes-Guzmán 2017). De ambos sitios se realizó un mapeo para su delimitación mediante caminatas y el uso de GPS,

cartografía preliminar que se complementó con datos topográficos de INEGI (Darras y Déodat 2011:26–27). Asimismo, en 2015 se hizo un estudio en superficie más detallado, particularmente del sitio de Mich. 44, donde se documentaron numerosas depresiones topográficas que corresponden a pozos de extracción a cielo abierto, asociados con áreas destinadas al trabajo de talla y con elevaciones de escombro de extracción y talla (Darras et al. 2015, 2017). El análisis tecnomorfológico in situ muestra que la producción estaba focalizada en elaborar preformas de cepillos circulares planos de dorso alto en forma de domo o cúpula (Darras et al. 2017:227–228).

En 2015, en el marco de los proyectos Uacúsecha y Mésomobile, se obtuvo la cobertura LiDAR de una superficie de 91.3 km², la cual casi abarcó la totalidad del Malpaís de Zacapu y sus alrededores (Forest et al. 2019; Pereira et al. 2016; véase Pereira en esta Sección Especial). Esta adquisición de datos permitió identificar una tercera zona de explotación prehispánica, ubicada esta vez en la colada dacítica de Las Minas, de la cual trataremos en este escrito.

A partir de una revisión preliminar y general de la imagen LiDAR, se observó una serie de cavidades, más o menos similares, distribuidas a lo largo de las laderas suroeste y este del flujo cuya morfología recordaba a las oquedades de extracción del sitio de las Lajitas. Una primera etapa de prospección en el sitio confirmó nuestra suposición, por lo que se plantearon una serie de objetivos de investigación por desarrollar.

Los retos de la arqueología minera

Independientemente del tipo de recurso lítico, y a pesar de que la identificación geoquímica de fuentes ha mejorado considerablemente en los últimos 50 años, los trabajos desarrollados directamente en los sitios de explotación tienden a ser poco frecuentes, y los existentes han privilegiado el análisis de los espacios de talla y las evidencias materiales de las fases tempranas de fabricación de los objetos, para determinar la naturaleza de la producción (Darras 1994b; Esparza 2004, 2008; García Cook 2014; Gaxiola y Guevara 1989; López Aguilar et al. 1989; Pastrana y Domínguez 2009; Spence et al. 2002; Weigand y García de Weigand 1994). En estos mismos contextos, los estudios consignados a documentar los procesos, la tecnología y la organización de la extracción, son minoría (Cárdenas García 1990; Charlton y Spence 1982; Darras 1996, 1999; Healan 1997, 2004; Pastrana 1986, 1998; Pastrana y Gómez 1988; Stocker y Cobean 1984; Weigand y Spence 1982), y más aún los que han logrado cartografiar de manera integral estos sitios que suelen ser muy extensos (véase, por ejemplo, Pastrana y Gómez 1998); no obstante, existen excepciones, como es el caso del yacimiento de la Sierra de las Navajas. Hasta la fecha, es uno de los pocos sitios donde los trabajos de investigación desarrollados en los últimos 40 años han permitido obtener una visión integrada, tanto en la sincronía como en la diacronía de la explotación y la estructura organizativa desde el período prehispánico hasta las primeras etapas de la Colonia (Pastrana 1998; Pastrana y Carballo 2016; Pastrana y Domínguez 2009; Pastrana et al. 2019).

Si bien la escasez de trabajos centrados en la tecnología de extracción de materias primas, y en sus indicios más reconocibles como son las minas y canteras, nos podría llevar a asumir que es el resultado de un desinterés científico, antes cabría admitir que son contextos con problemáticas específicas, cuyo estudio, concretamente en el campo, implica desafíos metodológicos para los cuales la literatura sobre esquemas y herramientas específicas de análisis, similares a los desarrollados para los estudios del patrón de asentamiento, tienen una tradición menos extendida.

Uno de los problemas principales concierne a cómo ubicar los vestigios culturales de explotación. Las fuentes de origen generalmente son formaciones geológicas que abarcan vastas superficies de un paisaje, las cuales deben ser prospectadas de manera detallada y en toda su extensión para detectar áreas precisas de extracción. A nivel de terreno, la disposición y morfología de los puntos de extracción están en estrecho vínculo con el tipo de geofoma, lo que influye dónde fueron emplazados (cima, ladera o al pie), su distribución dentro del yacimiento (agrupada o dispersa) y su grado de alteración (Heldal y Bloxam 2008). Además, no siempre son evidentes ni fácilmente reconocibles, y en ciertos casos pueden ser inaccesibles. En este mismo sentido, las ideas preconcebidas de cómo debería verse una mina o una cantera (Beardsley y Goles 2001), o la manera en la cual pudo ser explotado un recurso (Pétrequin et al. 2012), también pueden dificultar su identificación en el campo.

Por otro lado, las herramientas técnicas de teledetección, como la fotografía aérea y las imágenes satelitales, si bien han mostrado ser aptas para el rastreo de fuentes líticas (Borie et al. 2019; Carr y Turner 1996), son menos eficaces cuando se trata de identificar restos específicos como minas o canteras, en especial si están situados bajo áreas con una cobertura vegetal abundante y tupida como la de un bosque (Risbøl 2012) o una selva.

Otro problema atañe a la delimitación de una fuente. Para establecer los límites de un yacimiento, debe tenerse claro a qué tipo de estructura geológica corresponde (colada, domo, cono, etc.), y cuál ha sido su proceso de formación. De este modo se puede determinar la relación entre un afloramiento potencialmente explotable y las áreas específicas de extracción (Pastrana y Gómez 1988), rasgos que ayudan en la demarcación.

El como documentar y analizar las evidencias materiales en estos sitios también es una dificultad. Este tipo de contextos son complejos: además de estar compuestos por diferentes espacios funcionales, normalmente son el resultado de una actividad extractiva prolongada, la cual puede ser continua o con interrupciones temporales de laboreo. Así, las evidencias materiales de estas actividades, sostenidas o intermitentes, en general son voluminosas, repetitivas, con múltiples capas, difíciles de datar y de interpretar (Doelman 2005; Ericson 1984; Finkel et al. 2016; Heldal y Bloxam 2008; Purdy 1984; Stöllner 2003; Tripcevich y Contreras 2013; Tripcevich y Vaughn 2013).

El registro sistemático de estos vestigios, su mapeo, y en general la colecta de datos requieren articularse con distintas fases y métodos de trabajo, y llevarlo a cabo puede ser un proceso largo y laborioso. Un terreno accidentado, una visibilidad disminuida por una vegetación espesa y el tamaño de un sitio pueden condicionar el alcance de una topografía (Budziszewski et al. 2019; Trubitt 2005), así como la información que se representa. Tales aspectos parecen ser el denominador común que han limitado las posibilidades de estudio arqueológico de estos contextos.

Para el desarrollo de la investigación, hemos retomado y adaptado a nuestro contexto problemáticas y objetivos algunas de las nociones y herramientas metodológicas propuestas por Bloxam y Heldal (Bloxam et al. 2007; Heldal y Bloxam 2008), para el análisis del paisaje antiguo de extracción (*quarry landscape*); por ejemplo, las definiciones de sitio, unidad, área, complejo y paisaje de extracción. Asimismo, nuestro método se nutre de algunas de las ideas y procedimientos formulados por Stöllner (2003, 2008, 2014) desde la perspectiva de la arqueología minera (*Montanarchäologie*), así como de la arqueominería (Orejas Saco del Valle 1996; Orejas Saco del Valle y Sánchez-Palencia Ramos 2014).

Para completar el marco conceptual, ha sido necesario tener en cuenta algunas aportaciones de la arqueología del paisaje, especialmente en lo que compete al término “paisaje” (Ashmore 2004; Darvill 1999; Ingold 1993; Knapp y Ashmore 1999), y retomar aspectos de la cadena operativa (*chaîne opératoire*), como herramienta analítica (Lemonnier 1976; Leroi-Gourhan 1964; Sellet 1993).

A grandes rasgos, *quarry landscape* es un enfoque multidisciplinario fundamentado en principios de la arqueología

del paisaje, la geoarqueología, la arqueología social y la etnografía (Bloxam 2009; Heldal 2009; Orejas 1996). Emplea como herramientas de análisis técnicas arqueológicas, geológicas e históricas y ha sido desarrollado con el objetivo de aproximarse a la importancia cultural que tuvieron los sitios de extracción antigua, como paisajes dinámicos y socialmente construidos (Abu-Jaber y Al Saad 2007; Bloxam 2009; Heldal 2009; Knapp y Ashmore 1999; Orejas 1996). La metodología parte del supuesto de que es factible reconocer y documentar en el registro arqueológico aquellos elementos de la cultura material que definen un paisaje de extracción, para su posterior análisis (Barkai et al. 2006; Heldal 2009:125–126; Heldal y Bloxam 2008:8).

Desde esta visión, la noción de “paisaje de extracción” engloba toda evidencia material reconocible en un sitio, ligada a los diversos procesos para la explotación de materias primas de origen geológico. Tanto aquellos enfocados puntualmente en la producción (extracción y la manufactura), como los que están asociados con la logística (desplazamiento del material al interior o exterior—camino, rampas—almacenamiento de material bruto o productos semi-acabados) y la infraestructura de subsistencia de quienes se dedicaban a la extracción (habitaciones temporales o permanentes, fogones, cerámica, etc.; Heldal 2009:127; Heldal y Bloxam 2008:6; Heldal et al. 2007:90; Uhlig 2015:24).

Hay que precisar que el término “paisaje de extracción” involucra tanto a los métodos a cielo abierto como los subterráneos, así como los diferentes grados de intensidad en la explotación. Además, esta noción no implica necesariamente que la población del lugar se haya dedicado de manera exclusiva ni especializado en el usufructo de una materia prima. En este contexto, los términos como *quarry landscapes* (Barkai y Gopher 2009; Heldal y Bloxam 2008), *extraction landscapes* o *landscapes of extraction* (Barkai et al. 2002; Gopher y Barkai 2011), *mining landscapes* (Orejas 1996; Stöllner 2008, 2014) e incluso, en algunos casos, *lithic landscapes* (Foley y Mirazon Lahr 2015), pueden considerarse como equivalentes.

Los sitios de extracción pueden contener grupos de canteras o minas que están separados por un límite natural, como un barranco o un fluvial; a estas agrupaciones se les denomina área de extracción (Heldal y Bloxam 2008:24). Tal como se define el término y lo empleamos, los conjuntos están determinados por un rasgo geográfico y no cultural, por lo cual un área puede abarcar minas de diferentes períodos.

La entidad mínima de análisis es la mina o la cantera, consideradas como una unidad de producción de piedra (UP), limitada y conectada en espacio y tiempo, que ha sido explotada de forma continua para un propósito específico (Heldal y Bloxam 2008:11; Stöllner 2003:429). No obstante, al tratarse de espacios dinámicos, en pocas ocasiones una UP mantiene su actividad incesante, estable y homogénea, por lo cual la gran mayoría tendrá una o más pausas en la producción. En este aspecto, debe tenerse en cuenta que la explotación de un depósito puede ser esporádica, estacional o permanente (Stöllner 2014:138). De igual manera, podrán contener varias capas de

explotación para diferentes propósitos, y ser el resultado de un día de trabajo o de decenas de años (Heldal y Bloxam 2008:11).

¿De qué se compone una unidad de producción? Cada una se conforma por dos o más espacios funcionales que mantienen una relación, y que individualmente atañen a fases de una cadena de trabajo (Bloxam et al. 2007:6; Darras 1994a:292; Heldal 2009:127; Stöllner 2003:429–430). Estos espacios reconocibles en el campo pueden ser: un frente de extracción, un lugar para el procesamiento de materias primas, un espacio destinado al escombro, un área de almacenamiento, entre otros directamente asociados con la producción.

Con base en la idea anterior, el método permite analizar por separado y de forma sistemática los elementos constitutivos de la unidad o las unidades de producción de un sitio, desde un enfoque multidisciplinario y mediante una serie de características comunes y rasgos descriptivos que constituyen un primer acercamiento.

En nuestra investigación hemos integrado una entidad de análisis aún más reducida que la UP. Se trata de la noción de unidad de extracción (UEX), la cual se refiere exclusivamente al espacio de sustracción de la piedra (pozo, galería, trinchera, frente, colecta superficial, etc.). La UEX nos permite examinar de manera separada cada uno de los espacios funcionales adyacentes, para determinar cómo se articulan entre sí las áreas de actividad, su nivel de interdependencia y de correlación individual y de conjunto, y de este modo, particularizar cada UP, y a una mayor escala, poder interpretar cómo se estructuraba la dinámica espacial y de laboreo en el yacimiento.

A nivel de la organización espacial, una unidad productiva autónoma (UPA) es aquella en la que diferentes fases de la cadena de trabajo están presentes (extracción, talla y desecho), cuyas unidades funcionales o áreas de actividad son contiguas y de las cuales es posible establecer una correlación estrecha y que no es compartida con otras unidades productivas.

Este primer nivel de análisis es el que permite construir la imagen compuesta del proceso en la cantera y su contexto social; a partir del cual es posible inferir la existencia de un complejo de extracción—es decir, un conjunto de unidades de producción relacionadas entre sí que comparten infraestructura y logística (Heldal y Bloxam 2008:12). Además de los criterios mencionados, para definir un conjunto las distintas unidades de producción deberán compartir al menos uno de los siguientes elementos: temporalidad; una tecnología de extracción o de manufactura similar; un propósito de explotación análogo, ya sea para utensilios, como material constructivo o para ornamento; o un mismo producto.

El segundo nivel de análisis del estudio de *quarry landscapes* es la fase interpretativa. En esta etapa se busca comprender a los complejos de canteras desde un contexto histórico y geográfico más amplio. Por poner un ejemplo, se consideran las relaciones de los centros de producción con los lugares de consumo, “en términos de identificar las relaciones sociales interculturales entre las personas, centradas en el comercio y el consumo de piedra” (Bloxam y Heldal 2008:16).

Diseño metodológico

La comprensión y reconstitución del sistema minero de Las Minas se enmarca dentro de un análisis espacial, con un enfoque de escalas múltiples de observación, y que en conjunto han permitido construir una imagen más completa del sitio. No obstante, se debe reconocer que la perspectiva elegida no ofreció un nivel de detalle homogéneo en la información colectada.

Al tratarse de un contexto nuevo y sin antecedentes de ninguna índole, en la escala más amplia de nuestro análisis, elaborar una cartografía lo más completa posible, efectuar un inventario de los vestigios y delimitar el sitio, eran metas obligadas. En este mismo nivel jerárquico, identificar y caracterizar los indicadores arqueológicos vinculados con la actividad extractiva fueron propósitos sustanciales para comenzar a producir nuestro cuerpo de datos. Además, sirvieron de ancla para diseñar la metodología y trazar los objetivos del trabajo de campo. Se proyectaron cuatro grandes etapas de trabajo, todas complementarias:

- (1) La etapa inicial de trabajo y previa a la prospección en el sitio consistió en revisar sistemáticamente la imagen LiDAR, para buscar anomalías de carácter antrópico asociadas a la minería—es decir, elevaciones (montículos de desecho, estructuras) o depresiones topográficas (pozos, socavones, zanjas) asociados con montículos de desecho. Para evaluar qué anomalías podrían ser antrópicas y cuáles posiblemente naturales, se consideraron las características del terreno y la recurrencia de estas. En la imagen LiDAR se notaron oquedades que, considerando la geoforma de la colada y su regularidad, difícilmente podrían ser naturales. Además, la revisión LiDAR se apoyó también en la observación de imágenes satelitales del área para observar otros elementos de alteración del paisaje relacionados con actividad de cultivo de aguacate y maíz, común en la zona.
- (2) Una vez identificadas las anomalías LiDAR, la segunda etapa consistió en su verificación en el campo mediante una prospección global de reconocimiento. El recorrido no se limitó a las anomalías evidentes del LiDAR, también se incluyeron aquellas cuya interpretación era problemática sólo a partir de la imagen y que no era evidente si eran naturales o antrópicas. Asimismo, los elementos registrados en campo fueron integrados a una base de datos espacial por medio del programa Pathfinder Office, instalado en un GPS diferencial (Trimble Geo 7X). La imagen LiDAR y la base se cargaron previamente en el GPS, lo cual facilitó ordenar, manejar y visualizar los datos desde campo, y de este modo se pudo afinar la calidad de la información desde el sitio.

Una vez cubierta la etapa de verificación, se hizo un reconocimiento a partir de caminatas en transectos para abarcar la totalidad del sitio. Esta fase de exploración permitió distinguir UEx no visibles en el LiDAR, así como áreas de escombros asociadas con la actividad extractiva o con el procesamiento de la materia prima. Su delimitación y registro también se hizo con GPS y se completó con mediciones con cinta y una descripción de

cada uno de los elementos. Para el procesamiento de la información recuperada en el campo y la elaboración del mapa se usó QGIS 2.18.3, en el cual se integró el dato LiDAR.

Esta segunda fase, que implicó trabajo de campo, permitió esbozar a grandes rasgos la configuración del sitio, distinguir las áreas que lo componen, y establecer los diferentes sistemas de extracción presentes (colecta en superficie, a cielo abierto y subterráneo). Permitted establecer una cartografía del sitio y definir sus límites.

- (3) Con base en los resultados de la prospección, se eligió una de las áreas para desarrollar un estudio de superficie más detallado, a partir del cual se pudo definir una tipología de UEx considerando aspectos morfológicos, geológicos y de emplazamiento dentro de la colada. Asimismo, esta etapa se enfocó en diferenciar y establecer los vínculos organizativos entre cada unidad y otros espacios funcionales. Permitted aproximarnos a la funcionalidad de los espacios mediante la caracterización de los vestigios visibles y su análisis in situ, así como una recolección selectiva de una muestra representativa de material lítico para su análisis posterior en el laboratorio.
- (4) Finalmente, fueron seleccionadas tres tipos de UEx para hacer un análisis minucioso, tanto de superficie como de excavación, enfocado en documentar las secuencias operativas en los espacios mineros, que en la medida de lo posible permitieran plantear hipótesis sobre los modos de extracción, así como recuperar materiales cerámicos y líticos para otorgar una dimensión temporal a la explotación de la dacita en el yacimiento.

Presentación general del sitio

El sitio de Las Minas (Mich. 428, registro de sitio Proyecto Uacúsecha) se enclava sobre un flujo de lava al noroeste de la cuenca de Zacapu y es en el costado suroeste de la colada donde se localizan la mayoría de los vestigios mineros, los cuales están distribuidos de este a oeste, de modo heterogéneo, en una franja de 1.200 m de largo por 330 m de ancho y que hemos dividido en seis áreas (Figuras 1 y 3). En el noreste de la colada se localiza otro pequeño conjunto de ocho minas a cielo abierto, identificado en el mapa como área 7 (Figura 3). Estas ocho cavidades se ciñen dentro de una superficie de 161 m de largo por 105 m de ancho y forman parte del sitio de La Mesa (Mich. 427, registro de sitio Proyecto Uacúsecha), por lo cual no las hemos considerado dentro del análisis que presentamos en este artículo.

Contexto geológico

El flujo de lava con nombre homónimo al del sitio forma parte de las múltiples estructuras volcánicas que originaron y modelaron el entorno de la cuenca desde hace 4,5 millones de años (Dorison et al. 2018; Kshirsagar et al. 2015; Reyes-Guzmán 2017; Reyes-Guzmán et al. 2018; Siebe et al. 2014; Figura 1).

Los estudios vulcanológicos en la región occidental de la cuenca de Zacapu desarrollados por Siebe y Reyes-Guzmán han permitido identificar 47 volcanes formados durante el cuaternario (Reyes-Guzmán et al. 2018:8). La gran mayoría

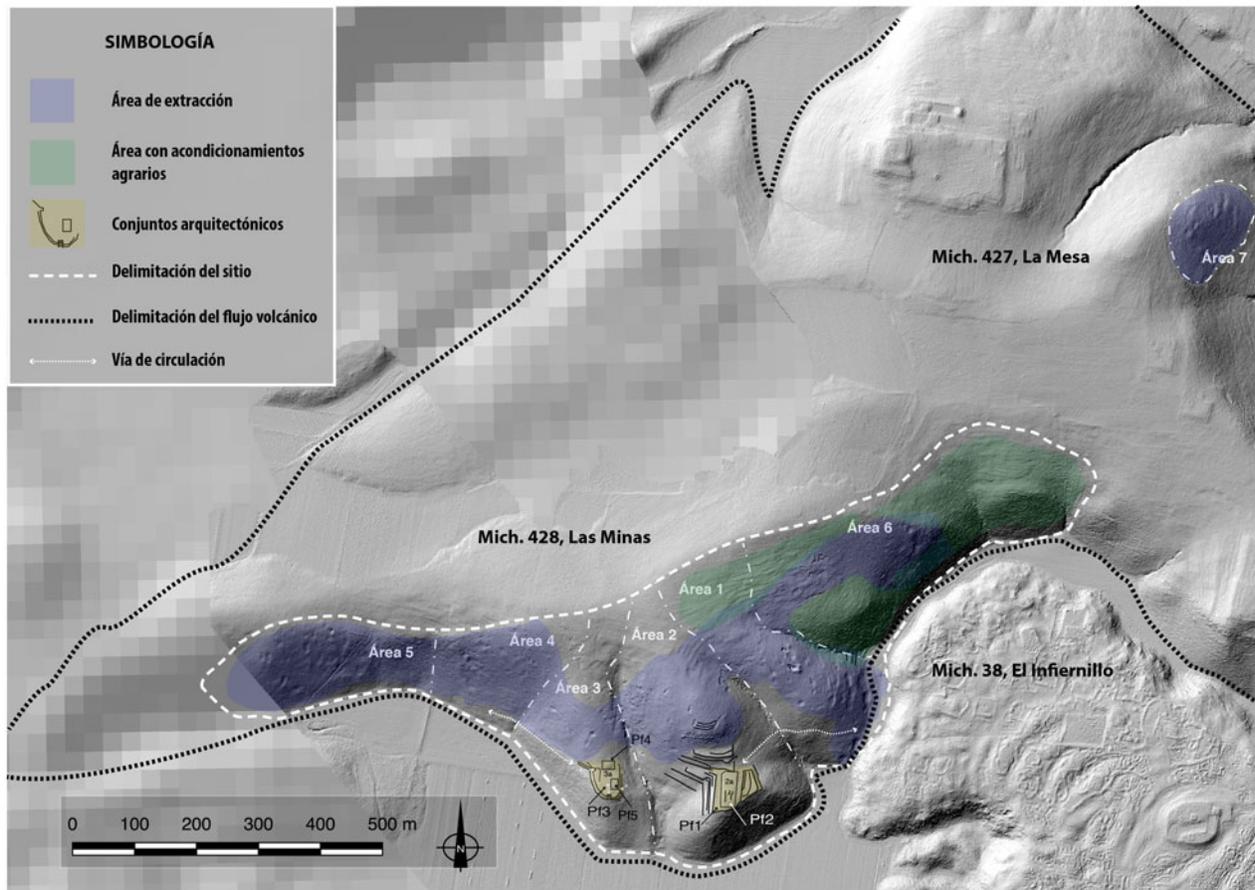


Figura 3. Mapa general de las distintas áreas funcionales en el flujo de Las Minas. Mapa por Quezada Ramírez.

de estas estructuras presentan una composición dominante andesítica. En cambio, las dacitas ocupan un lugar más discreto con sólo cinco formaciones (Reyes-Guzmán et al. 2018:9–10). Entre las estructuras de dacita están el cono de escoria del Cerro Vicente y su colada, el conjunto de domos de Las Flores, las coladas de Las Minas, de Las Milpillitas Sur y de la Guajolota (Figura 1). Aunque en su mayoría comparten características, tienen sus particularidades y no todas fueron explotadas en la época prehispánica.

La colada de Las Minas se asocia con la formación del conjunto de domos de Las Flores, ambos datan del pleistoceno medio (1 Ma–100 ka) y se ubican entre las formaciones más antiguas de este período (Reyes-Guzmán 2017; Siebe et al. 2014).

La fuente de Las Minas es una lava originada por un magma con una composición dacítica ($\text{SiO}_2 = 63\text{--}70$ wt%; Reyes-Guzmán 2017). Fluyó de oeste a este, formando una amplia meseta alargada con frentes lobulados y sus taludes generalmente abruptos (pendiente de entre 30° y 45°). La colada está recubierta por una capa de suelo arcilloso cuyo espesor máximo se estima en un 1 m; sin embargo, su cobertura del suelo no es homogénea. La capa más gruesa se ha formado a lo largo y ancho de la meseta, mientras que en las pendientes el grosor disminuye. En los frentes lobulados

del flujo de lava, el suelo es particularmente escaso y en sus laderas empinadas los afloramientos rocosos son extensos y muy visibles—un aspecto que favoreció la explotación de la materia prima y que explica la concentración de la mayoría de los puntos de extracción en estas áreas.

El magma dacítico de Las Minas dio como resultado una colada brechada de tipo bloque, con una textura heterogénea, así como una corteza de enfriamiento con pequeñas vesículas (Claus Siebe, comunicación personal 2016; Reyes-Guzmán et al. 2018). La colada presenta al menos dos texturas reconocibles en sus rocas:

- (1) La primera corresponde a rocas compactas y densas de grano fino, color gris oscuro y con una corteza de enfriamiento con pequeñas vesículas visibles. Al exterior del flujo se observan los bloques de diferente tamaño (5–80 cm de diámetro). En el interior, además de bloques, se reconocen lascas cuyo grosor oscila entre 10 y 15 cm y la corteza de enfriamiento es inexistente. Un rasgo importante de esta textura es que su matriz tiene un alto contenido de vidrio, el cual alcanza un 49 vol.% (Reyes-Guzmán 2017). Este atributo hizo de esta roca un material ideal para obtener buenos filos—característica que motivó la extracción de esta materia prima y potenció su aprovechamiento.

- (2) La segunda textura se caracteriza por un bandeamiento laminar, sin vesículas visibles, compacta pero deleznable, y de un color gris claro. Son rocas en laja de hasta 50 cm de diámetro. Ocurre en vetas discontinuas, y su fragilidad la convierte en un material inadecuado para la talla tanto como para obtener instrumentos como para elementos constructivos, razones por las cuales esta textura de roca no fue explotada.

Características morfológicas del sitio

Las Minas abarca una superficie aproximada de 40 ha que hemos segmentado en seis áreas. A partir de los datos LiDAR y del análisis en campo, hemos podido definir y delimitar tres sectores de distinta naturaleza y funcionalidad, que coexisten dentro del sitio (Figura 3).

El primer sector funcional corresponde a las zonas de explotación, centro del análisis, hacia el cual converge una variedad de UEx articuladas con otros espacios como escombreras y lugares destinados a la talla. Estos elementos de carácter minero comprenden una superficie de 18 ha, y como se observa en el mapa de la Figura 3, se distribuyen a lo largo de una franja este-oeste que abarca las seis áreas del sitio.

La cifra total de UEx contabilizadas asciende a 71; pero como describiremos más adelante, su distribución dentro de las seis áreas no es homogénea. Como se aprecia en la Tabla 1, el número más alto de minas se agrupa en el área 1 ($n=31$), donde también se presenta la mayor variedad de tipos de cavidades. En las otras áreas (2-6), la repartición está más equilibrada numéricamente, aunque se observa una disminución en la diversidad de tipos de UEx (Tabla 1).

El segundo sector funcional incumbe a las zonas con acondicionamientos agrarios, las cuales cubren una superficie de 10 ha (Figura 3). La red de terrazas se emplazó en la vertiente sureste del sitio e inicia casi de manera ininterrumpida desde la base hasta la cima de la meseta, entrelazando los barrancos. Las terrazas están concentradas en el área 6 del sitio donde ocupan gran parte de la superficie. Los acondicionamientos se alargan ligeramente al oeste sobre la parte alta de la pendiente del área 1 y a lo largo de su barranco, mientras que al este se prolongan traspasando el límite que circunscribe al sitio de Las Minas y conecta con el grupo sureste del sitio de La Mesa (Mich. 427).

En este complejo se identificaron dos tipos de acondicionamientos agrarios que funcionan de manera conjunta. El primero corresponde a lo que Dorison (2019) define como terrazas transversales de barranco, cuya finalidad es permitir la retención de suelo y agua durante la época de lluvias (Dorison 2019:541). El segundo tipo son las terrazas de nivelación estrechas (Dorison 2019:533), enfocadas en la contención de los suelos sensibles a la erosión.

El tercer sector funcional lo conforman dos conjuntos arquitectónicos situados a media pendiente de las circunvoluciones de las áreas 2 y 3 respectivamente. Cada uno coexiste en la misma área con grupos de minas, pero su emplazamiento está bien diferenciado. Ambos conjuntos se caracterizan por ser espacios amplios, abiertos y nivelados artificialmente, sobre los cuales se colocaron una o varias construcciones separadas entre sí. Este tipo de conjuntos entran en la subcategoría de “espacios descubiertos tipo explanada” definidos para el área (véase Pereira et al. 2023).

Las vías de circulación están marcadas por escalinatas y por caminos que comunican a la zona de las explanadas con las áreas de extracción (Figura 3).

El primer conjunto se localiza en el área 2 y se designa como 2A (Figuras 3 y 4); se trata de un espacio abierto y nivelado con una superficie de 5,6 ha. Lo componen dos plataformas (Pf1 y Pf2) bordeadas por líneas de muros que se cortan por afloramientos rocosos, y que en conjunto sirvieron para acondicionar y contener el escarpe. Sobre la plataforma principal (Pf1) se desplanta una segunda plataforma baja (Pf2), la cual tiene algunos tramos de muros, pero ninguna estructura clara, por lo cual resulta difícil establecer su función. Las excavaciones realizadas en este conjunto (UT-168 y UT-169) tampoco brindan pistas que permitan elucidar su uso. Pese a la ausencia de estructuras bien definidas, la sobreposición de una plataforma con algunos tramos de muros sugiere la idea de un conjunto inconcluso.

El segundo conjunto arquitectónico está ubicado en el área 3 (3A); presenta una superficie nivelada de 2,5 ha (Pf3), con una escalinata de acceso en el extremo sur que marca el eje principal de la explanada (Figuras 3 y 4). Sobre este espacio se desplantan otras dos estructuras tipo plataforma. La Pf5 es rectangular y poco elevada, mientras que la estructura designada como Pf4 es de planta cuadrangular elevada y adosada a la pendiente, y su eje central está

Tabla 1. Cuadro recapitulativo de las unidades de extracción registradas por área y por tipo.

Tipo de unidad de extracción	Área 1	Área 2	Área 3	Área 4	Área 5	Área 6	Total por tipo de extracción	Superficie total calculada (m ²)
Depresión	7	3	-	-	8	-	18	736
Trinchera	2	4	-	2	1	-	9	685
Frente	18	2	4	7	4	2	37	4.747
Galería	2	-	-	-	-	-	2	498
Extracción superficial	2	-	-	1	-	2	5	9.182
Total de unidades por área	31	9	4	10	13	4	71	15.848

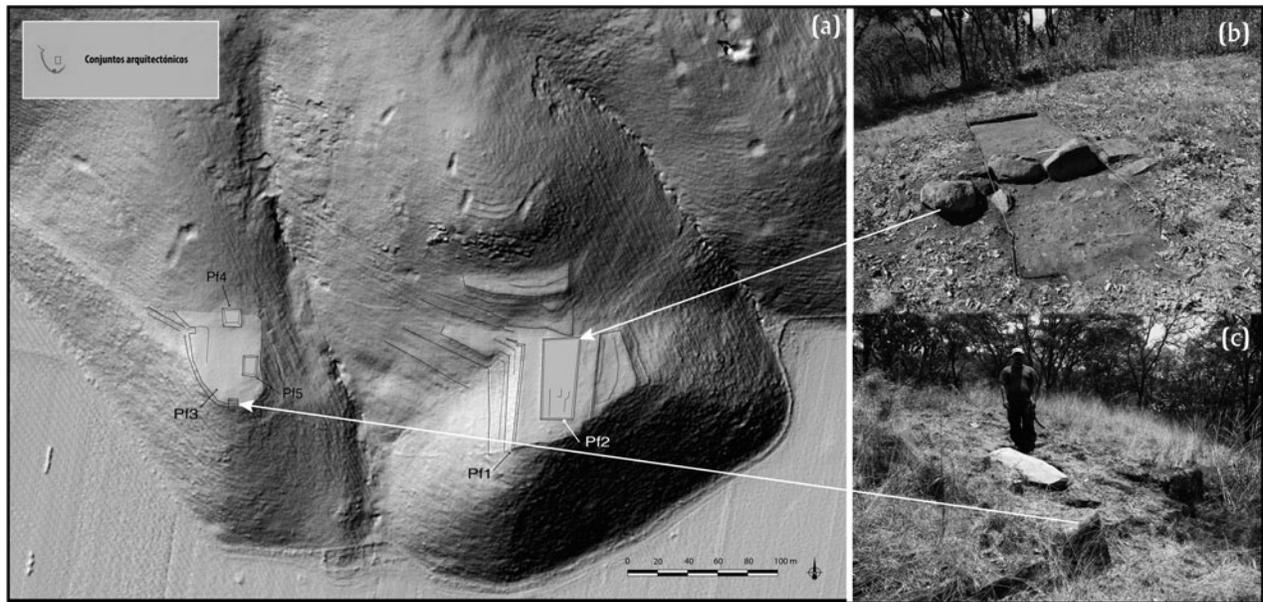


Figura 4. (a) Detalle de los conjuntos arquitectónicos del sitio situadas en los áreas 2 y 3; (b) muro de la plataforma Pf2; (c) escalinata de acceso al conjunto 3, con sus alfardas y peldaños bajos. Plano LIDAR y fotos por Quezada Ramírez.

alineado norte-sur, al igual que la escalinata central de ingreso al conjunto. Las características y disposición de esta construcción (Pf4) son consistentes con una edificación posiblemente de uso ritual; sin embargo, los datos de superficie aún son insuficientes para afirmar que ésta fue su función.

Hay que precisar que, en la zona de extracción no se identificaron restos de habitaciones temporales o permanentes, tal como sucedió en los yacimientos de la Sierra de las Navajas (Pastrana y Domínguez 2009:132) o de Orizaba (Stocker y Cobean 1984:85). Esto se debe seguramente a la cercanía de las áreas habitacionales permanentes ubicadas a menos de media hora de marcha y en las cuales pudieron haber vivido los artesanos (véase Pereira et al. 2023). Asimismo, esta proximidad facilitó el traslado de productos terminados, preformas e incluso materia prima en bruto fuera del sitio.

Indicadores cronológicos de la ocupación

Entre los indicios directos está la fecha de carbono 14 obtenida de las excavaciones realizadas en la mina UEx-2, un espacio mixto de extracción de piedra a cielo abierto y subterráneo. La excavación permitió diferenciar cinco estratos de relleno de la mina, los cuales corresponden a diferentes elevaciones de la superficie que afectaron el nivel del plano de circulación y el arreglo inicial de las áreas funcionales que la componen. Estas modificaciones sugieren una continuidad funcional de la mina, con al menos cuatro momentos distintos de actividad extractiva y de reorganización de sus espacios. Aunque no conocemos el lapso total en el cual la mina estuvo activa, a partir de la fecha obtenida por carbono 14 es posible afirmar que uno de

sus momentos de actividad ocurrió durante el epiclásico (600–900 d.C.).

La muestra orgánica de material carbonizado que permitió la datación proviene de la cara interna de un fragmento cerámico, el cual se recuperó en la base del tercer relleno que estratigráficamente atañe al inicio del tercer momento de explotación de la mina. Es importante resaltar que en este tipo de contextos los materiales cerámicos son particularmente raros; en nuestro caso únicamente se obtuvieron siete tiestos poco diagnósticos y sólo dos tenían restos carbonizados. Tomando en cuenta lo señalado, ha sido excepcional no sólo hallar estos materiales, sino también una fecha. La medida obtenida por AMS (*accelerator mass spectrometry*) es de 1214 ± 22 B.P. (GhrM 20292; Centre for Isotope Research, Groningen), que después de su calibración arroja un período de 720–885 d.C. (calibrado a 2σ a 95,4%, con el programa OxCal, versión 4.3 [Ramsey 2017]; curva de calibración IntCal13 [Reimer et al. 2016]). Esta datación nos permite situar el fin del segundo y el inicio del tercer momento durante la fase Lupe (600–850 d.C.), cuyo cese de actividad probablemente ocurrió en la fase La Joya (850–900 d.C.).

En este mismo orden de ideas, entre los artefactos analizados procedentes tanto de las excavaciones (UT-146 y 147) y de superficie (UT-148, UE1300) en el sitio, destacan productos terminados y preformas de cuchillos de medialuna—un tipo de artefacto que en los sitios consumidores de la región se ha documentado desde el clásico tardío (fase Jarácuaro, 550–600 d.C.), pero principalmente en los sitios fechados para el epiclásico (fases Lupe y La Joya; Figura 2).

Asimismo, el análisis de los materiales cerámicos colectados de los conjuntos arquitectónicos en el sitio (áreas 2 y 3), y de las excavaciones en la plataforma Pf2 (UT-168 y UT-169; Figura 16), indica que la ocupación de estos espacios ocurrió

durante la fase La Joya—es decir, en la etapa final del epiclásico. Añadiremos que la dacita es la materia prima predominante en la muestra lítica de estas áreas.

Con respecto a los materiales provenientes de los sitios consumidores excavados en la región de Zacapu, su análisis muestra que, si bien la dacita como materia prima tiene una presencia importante desde las ocupaciones del clásico, hay un marcado contraste con las del epiclásico, donde la frecuencia de este material es significativamente más elevada (Figura 2), en particular en los sitios fechados para este período, próximos al yacimiento como son: La Mesa (Mich. 427), El Malpaisillo (Mich. 317) y El Rincón de las Flores (Mich. 416; Figura 1); así como aquellos situados en la Ciénega: Potrero de Guadalupe (Mich. 215) y Loma Alta (Mich. 66).

Durante el epiclásico, la explotación de la dacita, al parecer, coincide con transformaciones que experimentó la región de Zacapu en su dinámica de ocupación y aumento demográfico (Arnauld y Faugère-Kalfon 1998; Faugère-Kalfon 1996; Migeon 1998; Pereira et al. 2016), en los sistemas funerarios que son más elaborados (Michelet et al. 2005; Pereira 1999; Pereira et al. 2018), así como con un crecimiento en la explotación de los yacimientos de obsidiana (Darras 1999).

Si bien no podemos afirmar a qué período cronológico corresponde toda la secuencia de explotación del sitio de Las Minas, a la luz de varios indicadores ya señalados, y a modo de hipótesis, podemos proponer que el momento de auge de la explotación en el sitio ocurrió durante el epiclásico.

La actividad minera revelada por el LiDAR

La fase inicial de verificación y registro ayudó a construir un mapa en el cual se aprecia la distribución espacial de los elementos identificados (Figura 3). De las seis áreas en las que se dividió el sitio, el área 1 fue la en que se observó una mayor concentración y variedad morfológica de UEx y de elementos asociados con la explotación, por lo cual se decidió hacer un estudio sistemático en esta zona, enfocado en caracterizar todas las evidencias visibles en superficie e identificar los rasgos que las definen (Figura 5). De este modo, atributos como la forma, la dirección de la sustracción y las dimensiones de las cavidades permitieron generar una tipología de UEx que se empleó en el resto del sitio (Figura 6). Igualmente, los amontonamientos del escombro, producto de la explotación, fueron caracterizados. En este caso se tomó en cuenta su posición con respecto a los puntos de remoción de piedra (perimetral, laterales, ladera abajo, contiguos, aislados, etc.) y su conformación (en elevación, en talud, esparcido o nivelado). Para establecer la naturaleza del desecho (extracción y talla), fue necesario reconocer qué rasgos definen tanto a la materia prima útil como a la no aprovechable, pero también describir atributos como el tamaño, la forma y la distribución de los fragmentos que conformaban las acumulaciones. En suma, estos datos han permitido discernir cómo están articulados los espacios, pero también evidenciar pasos ligados a diferentes procesos de trabajo.

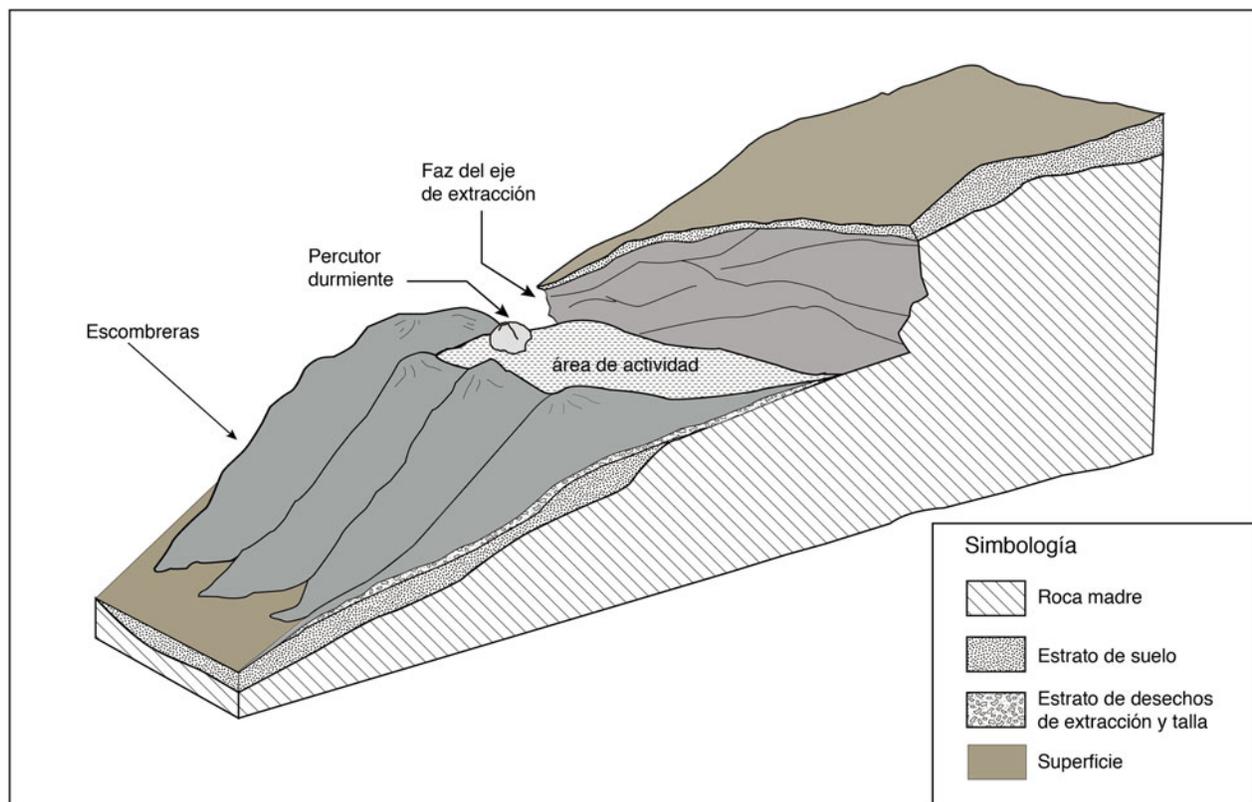


Figura 5. Ilustración esquemática de una UEx. Dibujo por Quezada Ramírez.

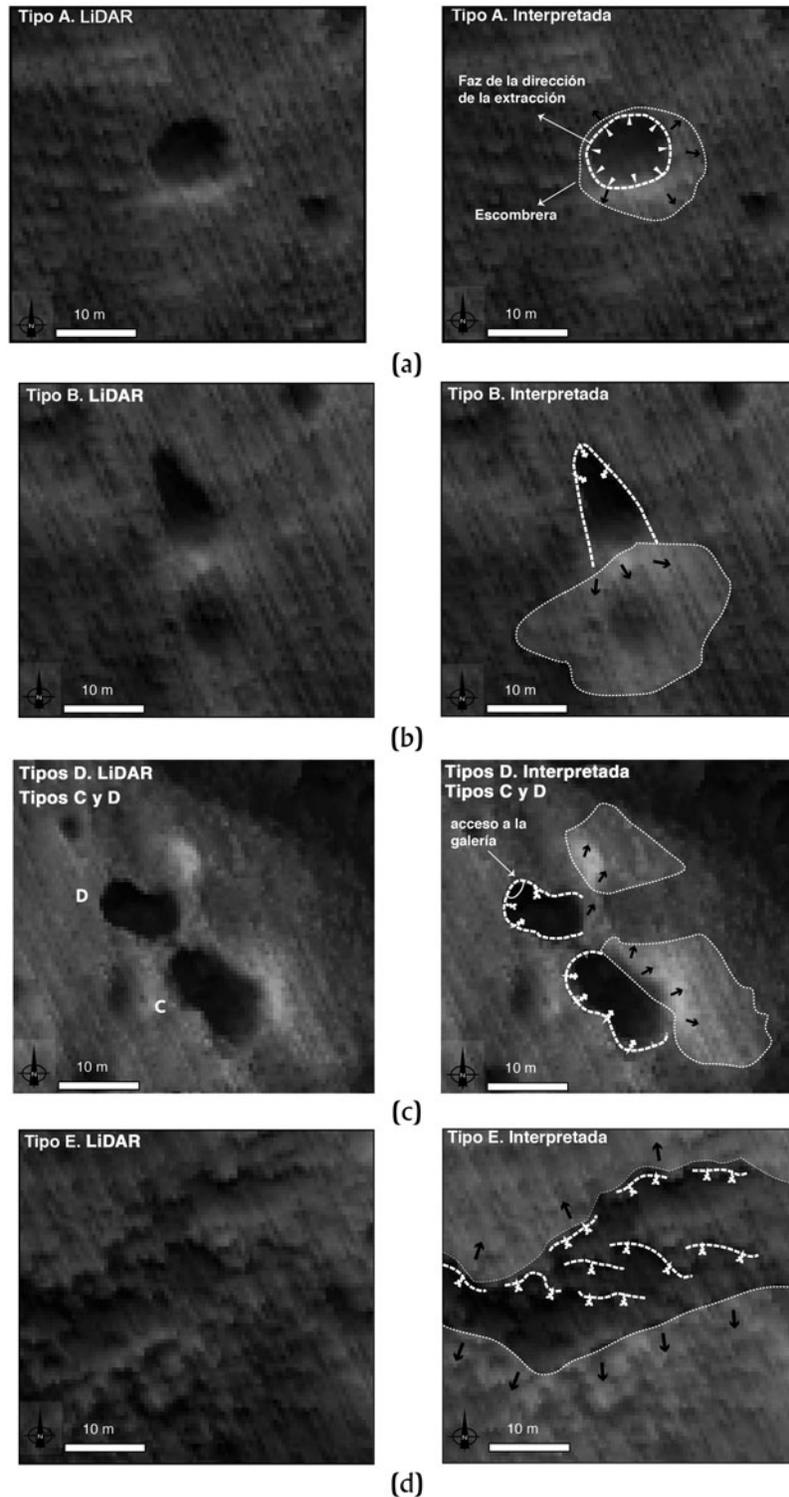


Figura 6. (a–d) Visualización en el LiDAR de los tipos de UEx y su interpretación a partir de las observaciones en campo. Mapa por Quezada Ramírez; tratamiento del LiDAR por Antoine Dorison.

En este estudio, el término concentración designa un área de elevada densidad de material lítico (desecho de extracción y/o de talla) en el cual no se aprecia una modificación evidente de la topografía natural del terreno. En cambio, cuando estas concentraciones se asocian con

una elevación artificial que sugiere un cúmulo de material, empleamos de manera genérica los términos de acumulación, montículo, amontonamientos. Los términos de vertedero o escombrera refieren a tipos de amontonamientos que se ubican a la salida de las cavidades de

extracción, y que corresponden específicamente a la evacuación de los desechos de extracción y talla. Estos señalan un área funcional concreta y que atañe de manera directa a la actividad minera: la evacuación de los escombros.

Tipología de unidades de extracción

En el área 1 se registró un total de 31 UEx, las cuales están distribuidas a lo largo de la pendiente, y presentan diferencias en su morfología, tamaño, profundidad y en la dirección de sustracción de la piedra (vertical, perpendicular a las curvas de nivel, paralela, etc.). Tales atributos permitieron definir cinco tipos de unidades; cada uno incumbe a distintas estrategias de adquisición y pueden agruparse en dos sistemas de explotación: a cielo abierto y subterráneo. Uno de los criterios principales de la clasificación es la correspondencia entre la proporción largo-ancho de las cavidades, la dirección que sigue la extracción de piedra y la morfología resultante de estos dos aspectos. En todos los casos, el ancho siempre estará en correspondencia y será paralelo al sentido natural de las curvas de nivel, mientras que el largo será perpendicular a éstas. En su mayoría (tipos B–D), el largo coincide con el sentido de la extracción, de cara a la vertiente, con dos excepciones (tipos A y E). La definición de cada tipo que se presenta a continuación se completó al integrar los datos de las cavidades presentes en las otras áreas (Figura 6; Tabla 1).

Tipo A: Depresión o fosa

Se trata de concavidades a cielo abierto, con un contorno cerrado que presentan formas habitualmente circulares u ovaladas, con un diámetro máximo que oscila entre 3 y 10 m de diámetro (Figura 6a).

La remoción parte de un filón del cual se va retirando la piedra en sentido vertical y concéntrico, lo que propicia que estas cavidades tengan un frente perimetral, el cual tiende a estrecharse conforme se ahondan y adquieren la morfología de un cono invertido por lo que nunca llegan a formar un verdadero pozo. A nivel de superficie la profundidad de estas fosas varía entre los 50 y 170 cm. En este tipo de oquedades, el escombro se deposita gradualmente a su alrededor, donde se va acumulando una acción que puede resultar tanto en montones poco espesos como en auténticos cúmulos de desecho de más de 1 m de altura. Asimismo, la forma de la deposición de desecho en el contorno de la cavidad hace que éstas no tengan un acceso bien delimitado.

Tipo B: Trinchera

Son cavidades a cielo abierto con formas semi-ovaladas y con un lado abierto hacia la pendiente (Figura 6b). En las cavidades de tipo trinchera, la proporción de largo es mayor con respecto del ancho, y la altura del perfil frontal en superficie oscila entre 1,20 y 2,50 m.

En las trincheras la sustracción de la roca es horizontal y perpendicular a las curvas de nivel. La remoción de material en este sentido favorece que el trabajo se haga en una sola faz y siempre frontal a la vertiente (Figura 6b).

Además, es un proceso que propicia la creación artificial y gradual de una superficie allanada, la cual permite transitar cómodamente por este espacio, evacuar los escombros y avanzar de forma progresiva y con mayor seguridad en la remoción de roca. Tocante a la profundidad de estas UEx, la excavación de una cavidad de tipo B (UEx-6, UT-147) muestra que éstas pueden alcanzar 150 cm.

La evacuación principal de los desechos se hacía cuesta abajo, lo que formó abanicos artificiales de escombro que pueden llegar a tener amplias crestas de talud (1–3 m aproximadamente) y extenderse varios metros sobre la pendiente (3–8 m); pueden llegar a tener más de 3 m de espesor. La deposición también podía realizarse alternadamente a cada costado de la trinchera, conformando amontonamientos someros o poco elevados en uno o ambos lados. La excavación ha permitido advertir que el vertido del escombro podía hacerse casi contiguo a la entrada de estas cavidades, aunque con cierta distancia para evitar desbordamientos internos.

Tipo C: Frente

Este tipo de concavidades a cielo abierto se caracterizan por ser extensas y tener libre el borde hacia la pendiente. Su ancho es mayor en proporción con su largo, por lo que este tipo de cavidades pueden tener un contorno similar al de una elipse o de un semicírculo, según varíe el ancho (Figura 6c).

En los frentes, al igual que en las trincheras, la extracción se inicia de cara a la vertiente, para generar un plano de trabajo y de desplazamiento. No obstante, en los frentes esta superficie es menos pronunciada, y se diferencian porque su eje de avance en la remoción de roca es horizontal y paralelo a las curvas de nivel, una trayectoria que favorece la formación progresiva de amplios frentes.

En el sitio, el ancho de las cavidades pequeñas del tipo C mide 8–15 m, el de las medianas, 17–30 m, mientras que las más grandes están entre los 40 y 50 m. La deposición del escombro se hace pendiente abajo, conformando amontonamientos lineales en talud (Figura 12a).

Tipo D: Galería

Son unidades de extracción subterránea donde la excavación de los túneles se ha hecho mediante ejes horizontales para alcanzar los filones profundos del lecho rocoso. Las galerías pueden originarse mediante cortes directos y frontales en la pendiente, pero también por accesos indirectos, verticales o diagonales a partir de pozos, como sucede con las galerías registradas en el sitio (Figura 6c).

Las dos minas tipo D se sitúan en la parte alta de la vertiente y próximas entre sí. En cada una, su acceso está enlazado con la superficie a partir de una cavidad a cielo abierto que les antecedió, ya sea una depresión (UEx-1) o una trinchera (UEx-2). Presentan en su interior una cámara principal y cavidades de extracción anexas (Figura 7). En el interior de estas galerías se observa en las paredes y en el techo un predominio de una dacita de grano fino en forma de bloques tabulares sin corteza y sin alteraciones

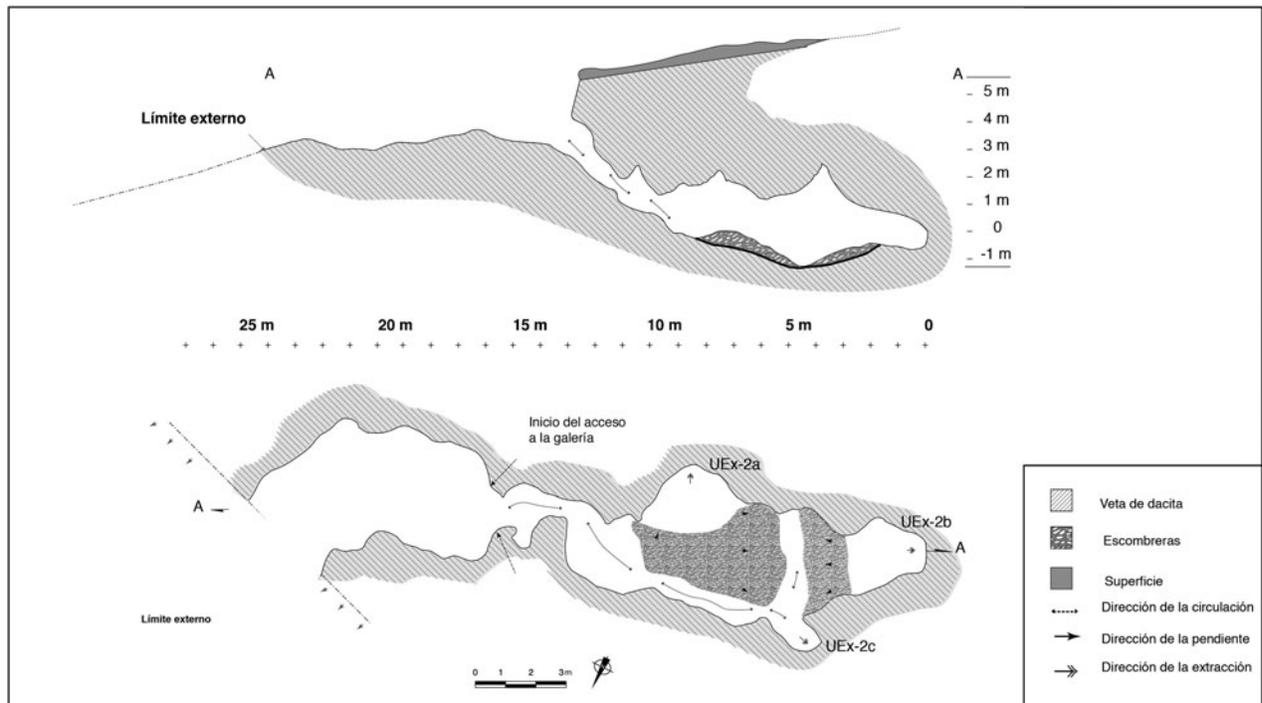


Figura 7. Planta y corte de la mina UEx-2 (Mich. 428). Dibujo por Quezada Ramírez.

que se entremezclan con bloques angulares de la misma roca (Figura 8).

En la UEx-2, ésta la conforma una cavidad tipo trinchera (7×6 m), semicircular y con una profundidad aproximada de 4,5 m (en la excavación no se llegó a la base). A los 3 m de profundidad se excavó una abertura en el frente rocoso que alcanzó los 4 m de ancho. A partir de esta ventana se socavó horizontalmente en el sustrato de roca hasta que se formó una cámara que se extiende 15 m de este-oeste y 6 m de norte-sur, y cuyo punto más alto de la bóveda está a 4 m de altura. La UEx-2 la constituyen tres cavidades (UEx-2a: $3,5 \times 3,0 \times 1,5$ prof. \times 1,0 m alto; UEx-2b: $2,5 \times 3,0 \times 1,2$ m alto; y UEx-2c: $2,0 \times 1,5 \times 1,0$ m), cuya remoción del material ha sido a partir de un eje horizontal, y sólo en un caso (UEx-2c) frontal o descendente, lo que formó un pequeño conducto. La galería fue adecuada para establecer un acceso, una vía para el desplazamiento interno y de evacuación del escombros, para el almacenaje de la materia prima y rampas artificiales para alcanzar las vetas altas (Figura 7).

Para el manejo del escombros se identificaron dos estrategias. La primera corresponde al empleo del material rechazado para la generación de infraestructura—por ejemplo, como relleno para la creación de superficies de circulación horizontales, o para la elaboración de rampas que permiten vincular espacios en distintos niveles. En esta primera estrategia, una buena parte del desecho, producto de la extracción o de la materia prima considerada como inadecuada para la talla, no se evacuó. Se empleó como relleno para acondicionar tanto el interior como el exterior de las cavidades. La excavación de la UEx-2 nos ha permitido identificar al menos cuatro nivelaciones externas y dos en el interior que corresponden al momento en que la

explotación subterránea estaba activa. Asimismo, en la cámara de la UEx-2 se documentó una rampa constituida por escombros, mediante la cual se accedía a una veta situada en un nivel más alto (UEx-2b). En el caso de la UEx-1, la casi nula sedimentación al interior permitió observar que la capa más superficial del plano de circulación también está formada por residuos de piedra acumulada y apisonada (Figura 7).

La segunda estrategia corresponde a la evacuación del escombros para depositarlos en una zona contigua pendiente abajo, formando taludes o escombreras.

Tipo E: Extracción superficial

Se trata de una explotación enfocada en la remoción de la capa más superficial de una veta en la que predominan los bloques pequeños o nódulos de dacita (10–20 cm por lado) que afloran y aún permanecen adheridos a la matriz arcillosa del suelo. La sustracción se realizaba desprendiendo los bloques, siguiendo el filón hasta agotar el estrato superficial. Se trata de un proceso que una vez agotada la veta, ésta se abandonaba y no se explotaban capas más profundas. No tiene una geometría ni un tamaño específicos; muestran contornos irregulares, pero sí definidos, y que siguen la curva de nivel (Figura 6d). Hay que hacer hincapié en que estos espacios de extracción en su estadio final se caracterizan por tener expuesta la matriz de suelo, la presencia de rocas de un estrato más profundo meteorizadas, y en los cuales la vegetación está casi ausente.

La identificación de este tipo de UEx es la más compleja, pues en el campo aquellas en las que la veta ha sido agotada, fácilmente pueden confundirse con superficies de suelo erosionado; y las que se quedaron en una fase intermedia

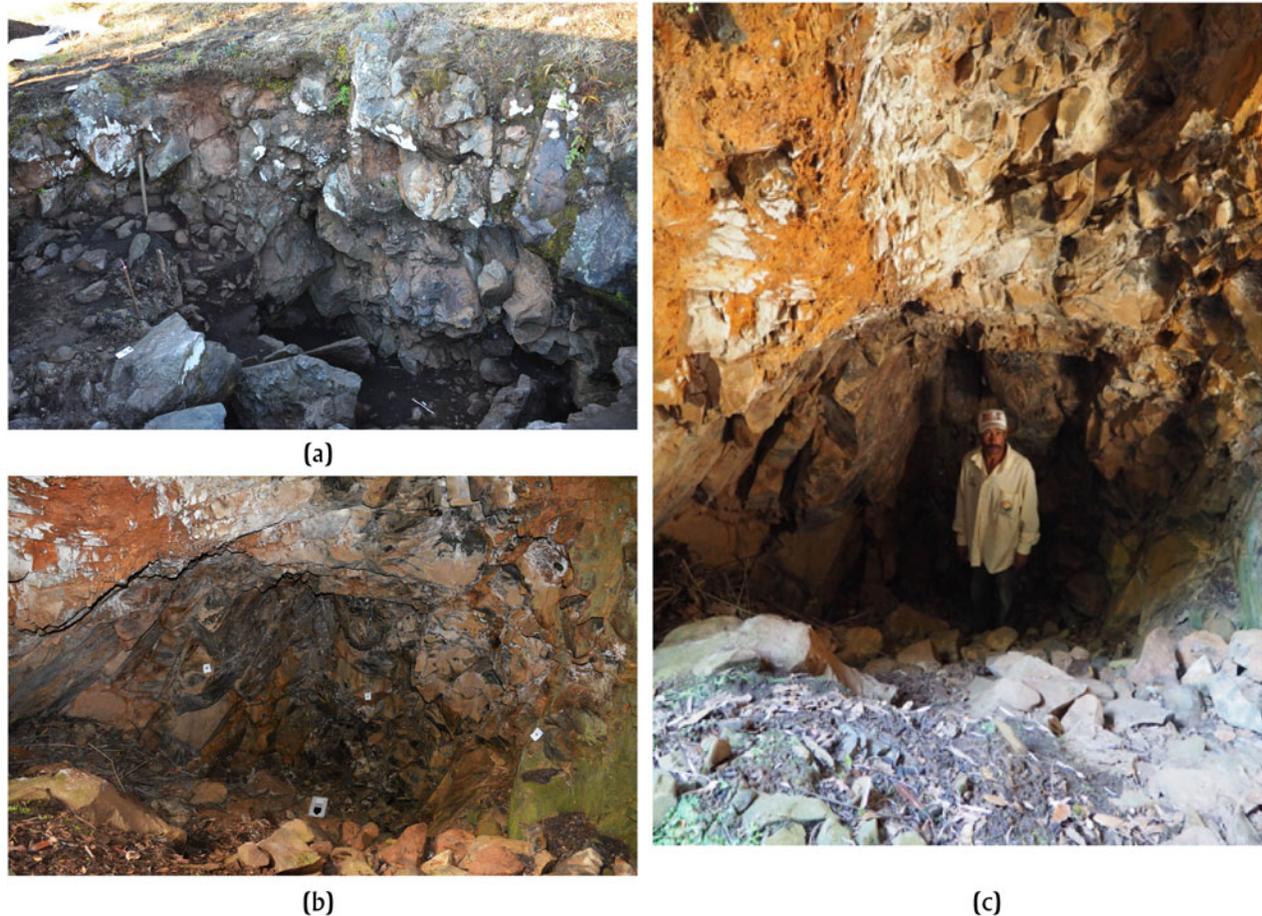


Figura 8. (a) Detalle de un frente de extracción externo en la mina UEx-2; (b–c) detalles de un frente en el interior de la galería de la mina UEx-I. Fotos por Quezada Ramírez.

pueden presentar una apariencia de un frente rocoso sin explotar. Referente a la evacuación del escombro, éste se esparce en las áreas contiguas a la UEx, por lo cual no se forman elevaciones tan prominentes, como las de talud, pero sí tienen una extensión mayor (Figura 12b). Hay que señalar que las vetas superficiales suelen tener poca roca no aprovechable, por lo cual el escombro asociado corresponde primordialmente al trabajo de talla más que al de extracción, aunque pueden reconocerse en sus alrededores bloques desprendidos que no fueron trabajados.

Los indicadores de la actividad minera no reconocibles en el LiDAR

Si bien varios indicadores de la actividad minera pudieron ser identificados desde la imagen LiDAR y ser caracterizados en conjunto con los datos y análisis en campo, existen otros que sólo fueron reconocibles y definibles in situ (Figura 11).

Los vertederos y concentraciones de escombros son componentes que frecuentemente no son distinguibles a partir del LiDAR, en particular si los amontonamientos son bajos o han sido esparcidos, como en el caso de los restos asociados con la extracción superficial. Aun cuando las acumulaciones alcancen una altura excepcional que las haga lo

suficientemente visibles, a partir de la imagen no es posible discernir si éstas son exclusivamente el resultado del manejo de los residuos de extracción o forman parte de otras áreas funcionales—por ejemplo, las enfocadas en la manufactura y las cuales tienen sus propios montículos de desechos asociados (Figura 10c).

En este sentido, a partir de la documentación y análisis de las evidencias realizadas directamente en el campo, se pudieron reconocer y delimitar las concentraciones y los amontonamientos de escombro. Mediante su caracterización se estableció la naturaleza de los desechos (extracción o fabricación), se identificaron los lugares dedicados a la talla y se delinearon a grandes rasgos las relaciones funcionales entre estos espacios.

El estudio en superficie mostró que las UEx generalmente están asociadas con acumulaciones y concentraciones compuestas por material que evidencia distintas fases de trabajo (escombro, materia prima en bruto, reducción de bloques, lascas corticales y no corticales, lascas pequeñas, preformas de útiles e instrumentos descartados). En las áreas en las que la poca cobertura vegetal permitió una mejor visibilidad de los desechos superficiales, se pudieron hacer observaciones más afinadas con respecto a su manejo y organización. En algunos casos, se advirtió que en una

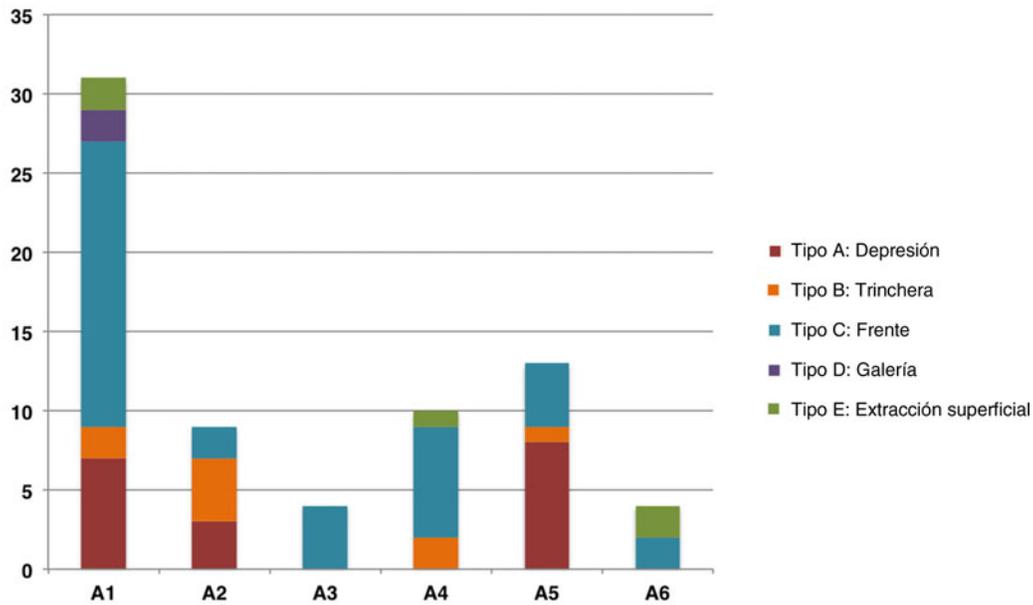


Figura 9. Gráfica de barra indicando la frecuencia de los distintos tipos de extracción, según las seis áreas del sitio de Las Minas. Gráfica por Quezada Ramírez.

misma área la materia prima en bruto se había acumulado en lugares más próximos a las UEx, mientras que los desechos grandes de reducción de bloques se ubicaban en otros espacios, al igual que los de lascas más pequeñas. En este mismo sentido, los datos provenientes de excavación muestran alternancia y sobreposición en el tipo de desechos que componen los amontonamientos registrados; a un estrato de material bruto, se sobrepone uno de residuos de manufactura, incluyendo preformas e instrumentos rechazados, y así sucesivamente. Un aspecto que sugiere que, al menos en algunos casos, las tareas de extracción y

de talla no se hacían de manera simultánea, sino consecutiva. También se identificaron extensos espacios donde predominan las concentraciones de material lítico, cuyo desecho se relaciona sólo con la actividad de talla (Figura 13). Se observan tanto residuos de desbaste relacionados con la preparación de preformas como de elaboración de utensilios (acumulaciones de microlascas; Figuras 15f–15m).

Por otro lado, en asociación directa con las UEx y con algunos de los espacios de talla del área 1, fueron identificados percutores durmientes (*percuteur dormant*;

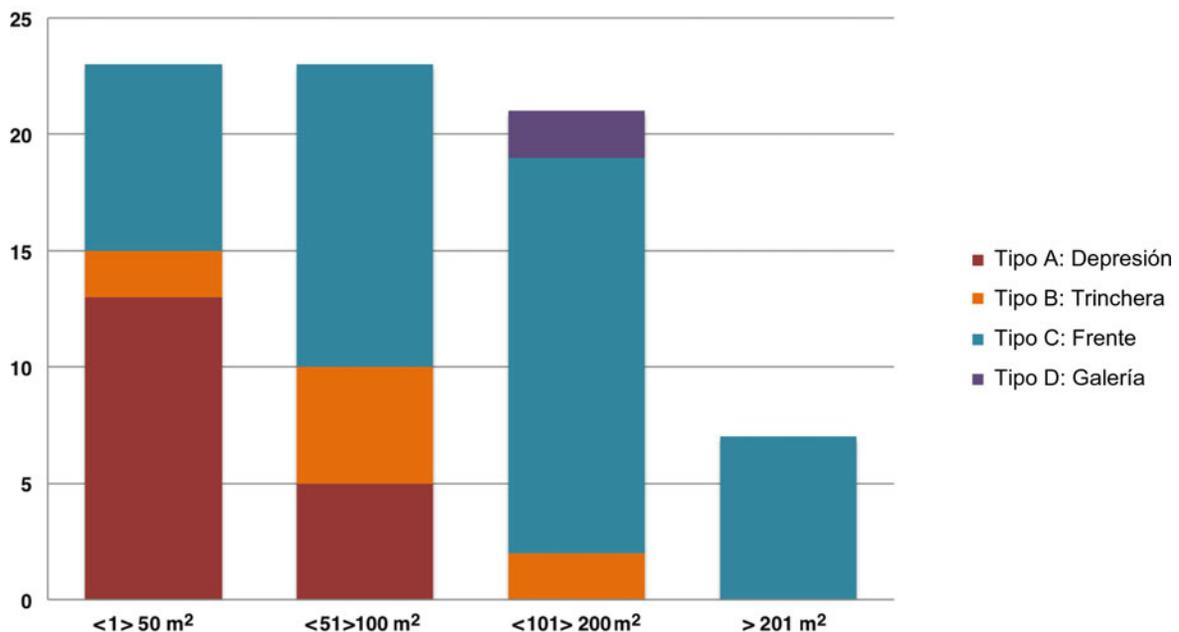


Figura 10. Gráfica de barra indicando la distribución de las UEx por tipo y superficie. Gráfica por Quezada Ramírez.

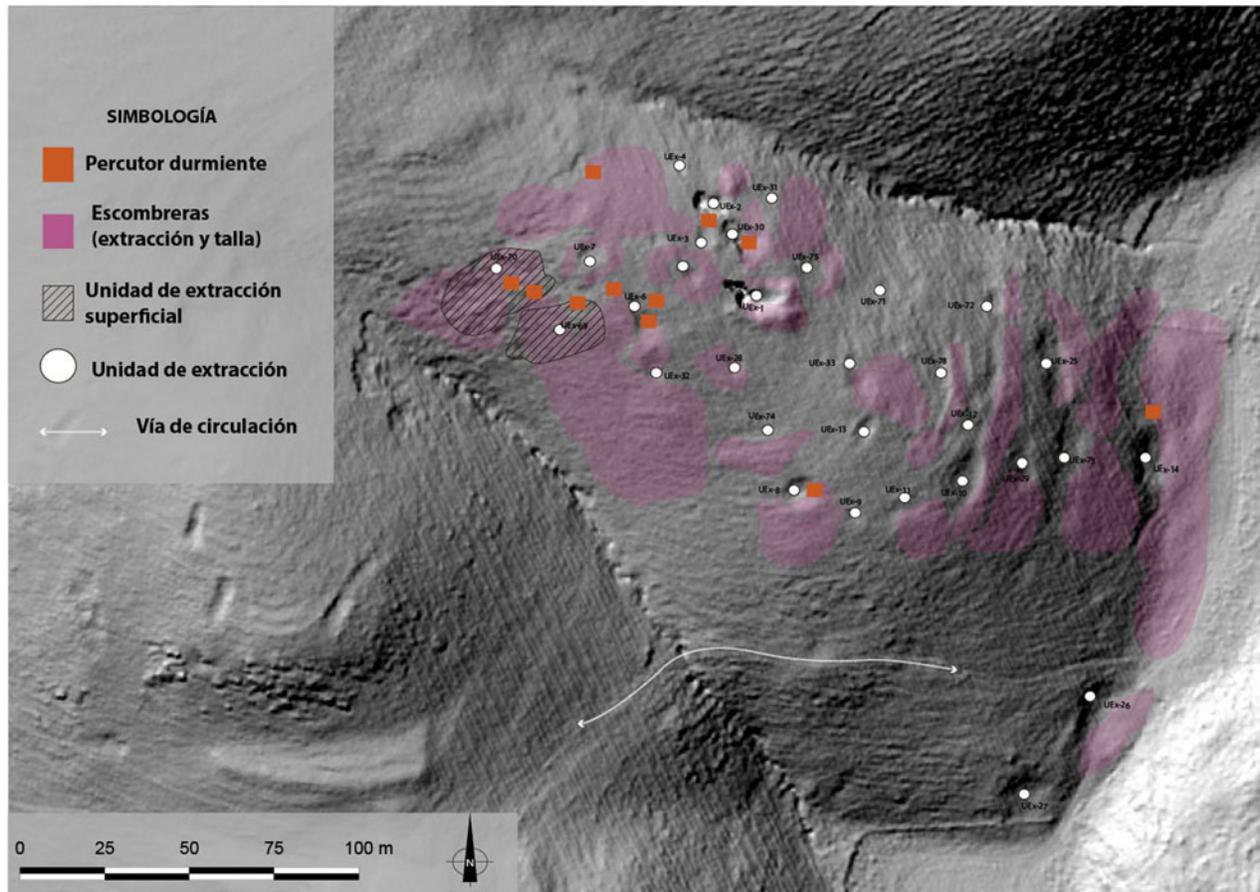


Figura 11. Mapa del área I de Las Minas (Mich. 428) indicando la distribución de las UEx, de las escombreras y de los percutores durmientes. Mapa por Quezada Ramírez.

Figuras 11 y 14). Este tipo de instrumento, a veces referido en la literatura como yunque (*enclume* en francés, *anvil* en inglés), es descrito como un bloque de roca pesado, generalmente de gran tamaño y empotrado en el terreno, con una saliente marcada por numerosos impactos de percusión (Bordes 1947:17, 2000 [1961]:18; Inizan et al. 1995:145; Mourre y Colonge 2009-2010:37; Odell 2004:61). En la técnica de percusión asociada con este útil, el percutor se mantiene inmóvil y es el núcleo o el bloque para desbastar el que se golpea contra una arista o protuberancia del yunque (Bordes 1947; Mourre y Colonge 2009-2010:37). Esta técnica generalmente se emplea cuando la materia prima proviene de bloques grandes, y se enfoca en obtener también lascas para manufacturar piezas grandes (Bordes 1947:17; Breuil y Lantier 1951:68; Mourre y Colonge 2009-2010:39; Pétrequin y Pétrequin 2002:106).

Los percutores durmientes registrados en el sitio de Las Minas coinciden con la descripción anterior. Se trata de bloques grandes (50–80 cm) y pesados de roca dacítica densa y compacta, situados en un punto limítrofe a las cavidades o distribuidos en los espacios de talla. Estos percutores están fijos en el terreno y presentan una arista con repetidas huellas de impacto, como son melladuras profundas y desprendimientos laterales que han dejado negativos en el útil (Figura 14).

Además de los percutores durmientes, se registró una variedad de instrumentos para el trabajo de extracción, como son martillos, picos y percutores de mano, con morfologías y tamaños diferentes (Figura 15). Estas características sugieren que se implementaron en distintas etapas de la extracción y la talla. Los martillos y picos (Figuras 15a–15e), con extremos perfilados y en punta, posiblemente se emplearon para excavar, expandir grietas naturales y producir fracturas en las paredes de los afloramientos de pozos y galerías. Algunos de estos implementos muestran cicatrices de un uso repetido como melladuras y desprendimientos (Figura 15a). Los percutores de mano con formas esféricas se emplearon para la talla (Figura 15f). Todo el instrumental requerido fue elaborado directamente en el sitio, aprovechando como materia prima la dacita (Figura 15).

Distribución espacial de las unidades de extracción

El análisis de los datos obtenidos permite construir a grandes rasgos una imagen integral del sitio. Se observa primero que el método de extracción predominante en el yacimiento es a cielo abierto (97% [$n = 69$] de las unidades), mientras que solamente dos casos atañen a la minería subterránea.

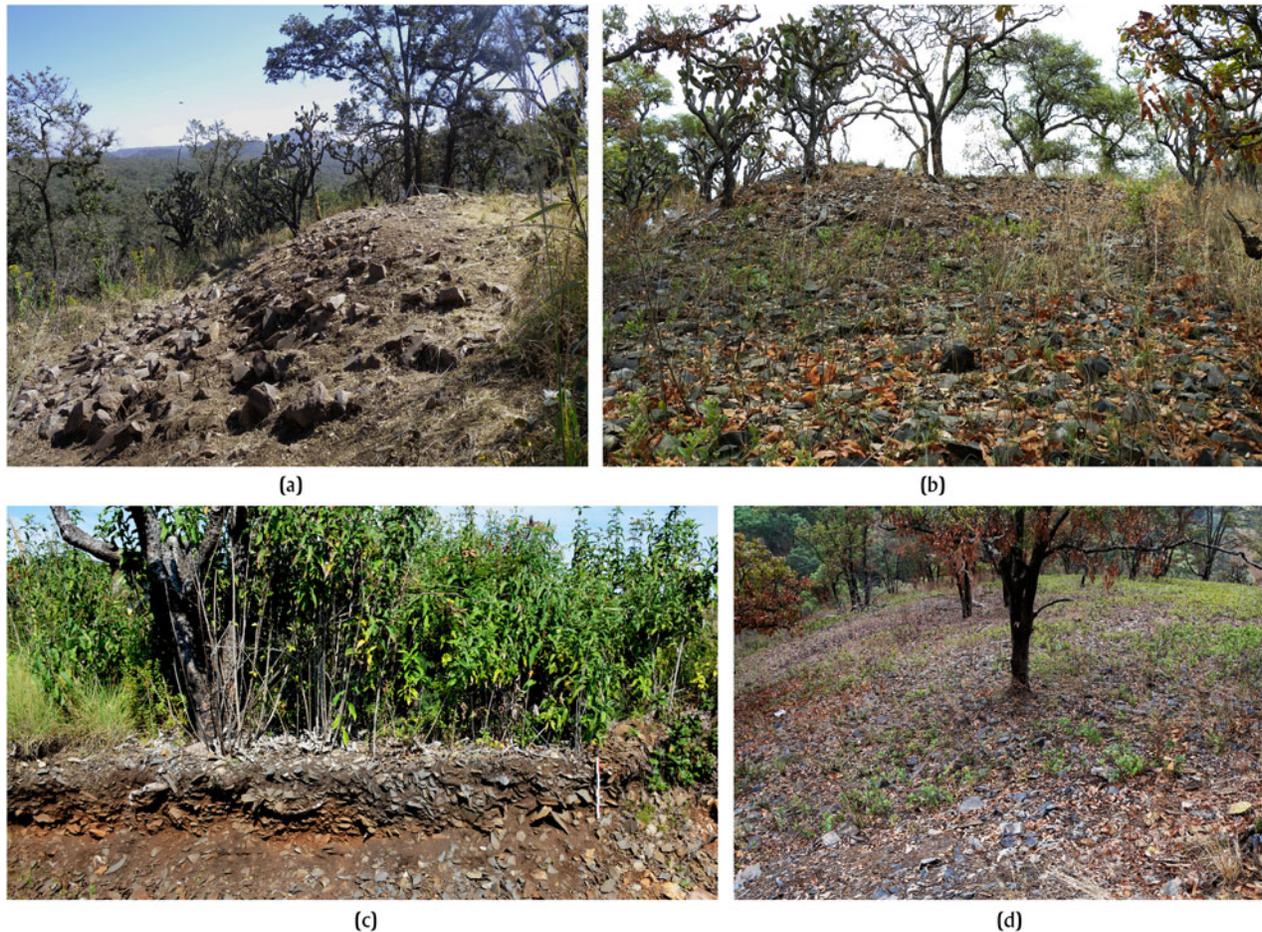


Figura 12. (a) Escombrera en forma de montículo con talud; (b) vista frontal de una escombrera perimetral con montículo de desecho (1,90 m altura); (c–d) perfil y vista general de acumulaciones horizontales en superficie. Fotos por Quezada Ramírez.

Pese a lo anterior, notamos que ni el número ni el tipo de UEx se distribuye de una manera semejante ni balanceada en las diferentes áreas del sitio. Tomado en cuenta únicamente el número de cavidades por área, observamos que área 1 concentra el número más elevado de cavidades (44% [$n = 31$]), mientras que en las otras cinco áreas la proporción de cavidades es significativamente menor y más equilibrada (Figura 16; Tabla 1).

También, en el mapa de distribución puede apreciarse que dentro del conjunto hay tipos de cavidades que tienen una mayor presencia sobre otras. El frente (tipo C) es la categoría dominante, tanto por el número de UEx como por su repartición en cada área del sitio y por la superficie que en conjunto representan (Figuras 9 y 16; Tabla 1). Las depresiones (tipo A) son el segundo tipo de cavidades más frecuentes dentro del sitio; sin embargo, su distribución está más limitada (áreas 1, 2 y 5) y la superficie global que representan también es significativamente menor. Las UEx de tipo trinchera (tipo B) están menos representadas en el sitio, y los ejemplares están dispersos en la colada y menos agrupados (Figuras 9 y 16; Tabla 1).

Las galerías (tipo D) tienen un lugar discreto en términos numéricos dentro del yacimiento ($n = 2$), pero no respecto a su relevancia como únicos ejemplos que atestiguan una

minería mixta—a cielo abierto y subterránea. En lo que concierne a la extracción superficial (tipo E), su distribución es en puntos concretos del sitio (áreas 1, 4 y 6) que en su mayoría se ubicaron en la parte alta de la ladera (Figuras 9 y 16; Tabla 1).

Con relación al tamaño de las cavidades también observamos algunas tendencias. Las depresiones (tipo A), en su gran mayoría, están en el rango por debajo de los 50 m², por lo que las pequeñas son las más abundantes. Las trincheras (tipo B), que están en la categoría de >51 m² <100 m², son las más numerosas. En el caso de los frentes (tipo C) y las galerías (tipo D), las unidades con una superficie entre 101 y 200 m² son las más abundantes (Figuras 10 y 16; Tabla 1). En lo que concierne a la extracción superficial (tipo E), dada su naturaleza, la extensión de este tipo de unidades es mayor y no puede compararse con las otras categorías de cavidades.

Discusión

La lectura de los datos presentados por ahora no permite formular conclusiones definitivas, pero sí posibilitan plantear algunas hipótesis sobre las distintas estrategias de extracción observadas.



Figura 13. (a) Vista general de una concentración de material lítico con desecho de talla; (b–c) detalles de las concentraciones de talla en distintas partes del sitio Mich. 428. Fotos por Quezada Ramírez.



Figura 14. Percutores durmientes asociados a la UEx-6. En ambos se pueden observar los impactos, melladuras y desprendimientos derivados del uso. Fotos por Quezada Ramírez.

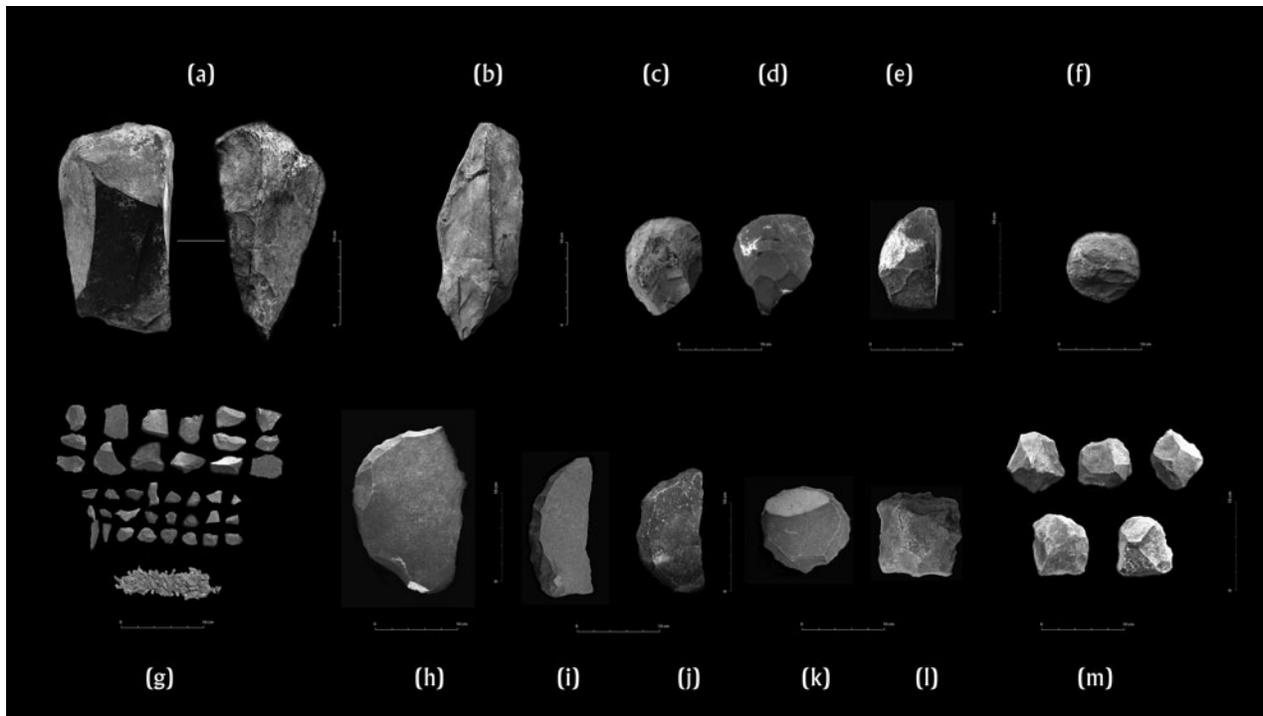


Figura 15. Instrumental de trabajo para la explotación y talla (a–e) recuperado en superficie y excavación (UT-146). Percutor para la talla (f). Desechos de talla y preformas (g–i) UT-146; (j) preforma en superficie; preformas de cepillos (k–l) y de raspadores (m) UT-148. Fotos por Quezada Ramírez.

Los resultados obtenidos resaltan que para el aprovechamiento de la dacita se estableció un esquema de explotación enfocado en el usufructo de los depósitos superficiales o poco profundos, y para el cual se implementaron cuatro métodos distintos (tipos A, B, C y E). No obstante, también se desarrolló la minería subterránea (tipo D). ¿A qué obedece esta diversificación de las estrategias de explotación en el sitio? En realidad, para contestar este cuestionamiento, se deben considerar varios aspectos, como el contexto geológico y las cualidades de la materia prima, los métodos empleados para la extracción y grados de conocimiento técnico y, finalmente, la temporalidad de las actividades.

Suponemos que el desarrollo de la minería a cielo abierto estuvo favorecido por la naturaleza geológica del yacimiento. Si bien se trata de un derrame de lava del pleistoceno medio con una cobertura de suelo y una vegetación arbórea y pastos, la inclinación abrupta de sus laderas permite que la dacita aflore de manera natural, particularmente a la mitad y en la parte baja de la vertiente, donde la capa de suelo es poco espesa. La roca, aunque expuesta, se mantiene parcialmente cubierta de suelo, por lo que una recolección directa era poco factible en todas las áreas. En todos los casos, el aprovechamiento de los afloramientos en el sitio implicó excavar a diferentes profundidades para extraer la materia prima. En la liberación de los bloques se aprovecharon las fisuras del flujo dacítico fracturado naturalmente durante su formación. Para su desprendimiento fue necesario usar instrumentos como picos o percutores de piedra (varios ejemplares fueron recuperados en excavación y en

superficie; véase [Figura 15](#)) y probablemente palancas de madera.

El denominador común que comparten los cuatro métodos de minería a cielo abierto es el tipo de materia prima aprovechada. La dacita de estas vetas tiene como característica su corteza de enfriamiento con vesículas, y presentarse en bloques angulares con formas y tamaños variables, dispuestos en brecha. Algunos de los módulos útiles que fueron explotados para tallar se encuentran en un rango entre los 10 y 40 cm por lado, aproximadamente.

Las distintas estrategias de minería a cielo abierto parecen ser el resultado de la explotación de vetas a diferentes profundidades. La extracción en superficie (tipo E) se enfocó en aprovechar los depósitos más superficiales en los cuales podían obtenerse bloques pequeños y medianos de 10–20 cm por lado. La excavación de una unidad tipo E (UT-148 y UT-149) ha permitido advertir que probablemente el objetivo de esta clase de extracción fue obtener módulos sobre los cuales manufacturar instrumentos como raspadores y cepillos (Quezada Ramírez y Darras 2018). De igual manera, las depresiones tipo A también parecen haber aprovechado sólo los depósitos someros. No conocemos la profundidad alcanzada por este tipo de extracción, pero la mayoría son pequeñas, un aspecto que nos hace suponer que no son muy hondas, pues la acumulación circundante de los desechos estrecha las paredes del frente y las torna inestables e inseguras.

Las cavidades de tipo trinchera (B) y frente (C) aprovecharon no sólo los depósitos superficiales con corteza de enfriamiento, sino también vetas subprofundas, en las

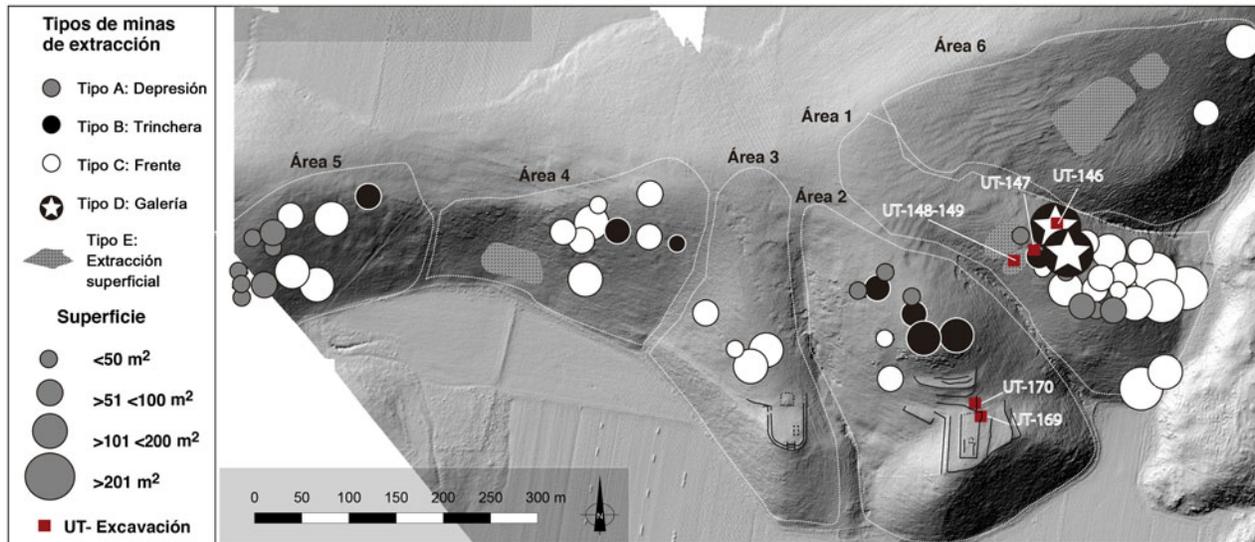


Figura 16. Mapa de distribución de las unidades de extracción por tipo y rango de superficie en las seis áreas del sitio de Las Minas (Mich. 428). Mapa por Quezada Ramírez.

cuales la materia prima está menos alterada y no presenta la típica corteza con vesículas, sino una superficie fina, áspera y rugosa. Las trincheras permiten alcanzar una mayor profundidad en los ejes vertical y horizontal y obtener una roca de mejor calidad y de mayor tamaño. Sin embargo, también es un método que debió implicar una inversión extra de esfuerzo para seleccionar y separar la roca no aprovechable. La naturaleza de los desechos recuperados en la excavación de una unidad tipo trinchera (UT-147) nos da una idea de la finalidad de este tipo de extracción: bloques grandes (30–40 cm) para la obtención de lascas grandes sobre las cuales manufacturar cuchillos de medialuna y cepillos. Por otra parte, aunque los frentes también pueden alcanzar depósitos subprofundos, observamos que en un número significativo de cavidades ($n = 14$) los mineros se inclinaron por explotar bancos masivos someros, que les permitían abarcar una superficie más grande y también obtener un volumen de materia prima mayor.

La búsqueda de una materia prima de alta calidad dio como resultado el desarrollo de una minería subterránea, representada por dos cavidades horizontales tipo galería (D). Las operaciones subterráneas en el sitio están antecedidas por amplias cavidades a cielo abierto, lo que nos hace suponer que en un inicio las actividades mineras se enfocaron en explotar depósitos superficiales y poco profundos. Por la proximidad entre las dos galerías y en que ambas se sitúan en una misma cota en la pendiente del flujo, inferimos que a ese nivel los depósitos con material poco alterado y sin alterar estaban más próximos a la superficie. Éste fue un aspecto que facilitó a los mineros acceder a una materia prima de alta calidad rápidamente. En la parte media y baja de la pendiente el espesor del depósito superficial con corteza de enfriamiento y subprofundo se estima en varios metros (Claus Siebe 2016, comunicación personal), por lo que operativamente hacer una excavación subterránea para alcanzar las vetas profundas hubiese implicado remover un volumen considerable

de roca y desecho: una inversión de trabajo y tiempo poco rentables.

Por su parte, la minería subterránea se enfocó en obtener una materia prima de alta calidad, carente de corteza y que se presenta en bloques tabulares. Sin duda, las actividades subterráneas complejizaron los procedimientos. Para ello fue necesario preparar y acondicionar los espacios, pero también reconfigurar los existentes, concebidos en su origen para una explotación a cielo abierto. En ambas galerías es notable que la organización externa e interna se adaptó al tamaño y características del espacio interior. Por ejemplo, mientras que la extensión de la galería de la mina UEx-2 permitió el almacenamiento de la materia prima en el interior, en el caso de la galería de la mina UEx-1 no fue así. En este caso, tanto los desechos como los bloques fueron evacuados y depositados en el margen exterior de la mina, cerrando el perímetro y creando una loma artificial de escombro y bloques de casi 2 m de altura, sobre la cual también se llevaban a cabo las actividades de talla.

Si bien las diferentes estrategias al parecer son el resultado de un aprovechamiento diferencial de los depósitos, estuvieron orientadas hacia la obtención de una materia prima con distinto grado de calidad, forma y tamaño. También destaca el hecho de que estas estrategias no están representadas ni distribuidas de una manera homogénea en el sitio. Tal como se observa en el mapa de la Figura 16, el conjunto más importante está en el área 1, donde se concentra la mayor parte de cavidades, y donde consideramos que se llevó a cabo un aprovechamiento más intensivo y organizado. Esta intensidad de explotación no sólo se expresa por el número de cavidades, sino también por la pluralidad de estrategias presentes, así como de los talleres asociados a cada estructura de extracción (Figuras 9, 11 y 16). Esta multiplicidad de métodos nos hace suponer que esta área probablemente fue explotada por artesanos bien instruidos, con

conocimientos geológicos empíricos, quienes gestionaron acorde a las necesidades de la producción y de rentabilidad los diferentes depósitos de materia prima, en un marco cronológico que por ahora no está bien definido, pero que a partir de indicadores cerámicos y de dataciones radiométricas, proponemos que ocurrió durante el epiclásico.

En las otras áreas (2-5) del yacimiento se pueden observar concentraciones más discretas de UEx que en su mayoría forman grupos reducidos, donde predominan las cavidades pequeñas (<50 m²) y medianas (>51 <100 m²). Con base en ello, conjeturamos que estas zonas tuvieron un aprovechamiento de menor intensidad en cuanto a lo que se observa en el área principal (Figuras 10 y 16).

En el área 6 la extensa red de terrazas indica que el espacio se consigné principalmente para el cultivo, mientras que la actividad extractiva fue más limitada.

Por otra parte, aunque en las áreas 2-5 las diferentes estrategias están presentes en mayor o menor medida, hay que resaltar que algunas parecen concentrarse en ciertos sectores, como sucede en el área 2, donde las trincheras (tipo B) predominan sobre otro tipo de UEx. Estas cavidades se implantaron en la parte alta de la vertiente sobre un depósito masivo de dacita, al que se asocia un área extensa de desechos de talla. Estas trincheras se sitúan sobre la misma cota en la que se ubican las minas y trincheras del área 1, un nivel donde el espesor de los depósitos superficiales es menor, y donde con mayor prontitud se alcanzan las vetas poco alteradas.

Hasta el momento, el análisis de las 71 estructuras de extracción de la muestra señala que el 52% pertenece a cavidades tipo frente (C), una estrategia que, como se observa en el plano general (Figura 16), está presente en todo el sitio y que supera a otras estrategias, como las trincheras (12%) o las galerías (2%), en las cuales se podían obtener materiales de mejor calidad. Esta inclinación a la extracción a partir de frentes quizá refleje una elección basada en la rentabilidad de los depósitos en términos del volumen, el trabajo y tiempo invertido en la extracción, donde los artesanos dieron más peso a materias primas con mayor variabilidad en su calidad, pero con una explotación más provechosa de los depósitos.

En relación con los espacios ligados a la explotación, podemos señalar que cada UEx, independientemente de la estrategia, funciona de manera coordinada con un taller y algunas tienen por lo menos un área contigua destinada al escombros, en su mayoría ubicada pendiente abajo. Los espacios específicos para la talla aislados no son frecuentes, y los que en un inicio se identificaron como tales, posteriormente se pudo corroborar que fueron talleres vinculados con unidades de extracción superficial. En este sentido podemos afirmar que cada UEx funcionaba bajo el esquema de una UPA en la cual se observan diferentes fases de la cadena de trabajo.

La presencia de percutores durmientes en varias de las UEx registradas permite proponer que las primeras fases de desbastes sucedían tan pronto se extraían los bloques, y que en el límite inmediato se llevaba a cabo la reducción y manufactura de preformas e incluso

instrumentos. Asimismo, esta autonomía de cada unidad productiva no sólo se expresa por la individualización de las áreas funcionales, sino también espacialmente. La implantación de las UEx no es continua; aunque pueden estar sobre una misma cota, entre ellas mantienen una distancia que puede variar entre 15 y 30 m, un aspecto que les otorgaba cierta independencia y facilitaba una circulación en torno a las cavidades y a los espacios funcionales adyacentes.

Conclusiones

En el presente estudio, hemos procurado acercarnos a un paisaje antiguo de extracción (*quarry landscape*) mesoamericano vinculado con la explotación de una roca volcánica de grano fino: la dacita. Gracias a un registro y mapeo sistemático de los indicios de actividad minera observados en el sitio de Las Minas, hemos conseguido definir varias estrategias extractivas y examinar su organización espacial a diferentes escalas. Para lograr este objetivo, el modelo digital de elevación de alta resolución obtenido por LiDAR ha sido un instrumento fundamental, pues ha permitido detectar anomalías topográficas asociadas con la minería y entender el contexto topográfico en que se desarrollaron estas antiguas actividades. No obstante, hemos notado que esta información es parcial y que debe ser completada con datos obtenidos por recorridos sistemáticos de superficie, los cuales permiten mapear los indicios poco visibles en la imagen LiDAR. En conjunto coadyuvan en construir una imagen más completa del complejo minero.

Los resultados obtenidos muestran una faceta hasta ahora poco documentada para las rocas volcánicas de grano fino: un proceso extractivo complejo y bien estructurado. Aunque aún quedan muchos aspectos por resolver, el análisis muestra que las estrategias de extracción y la organización en el sitio de Las Minas puede equipararse con los complejos mineros prehispánicos de obsidiana, cuyos ejemplos más próximos son los ubicados en la región de Zináparo-Prieto (Darras 1994a, 1999) y Zinapécuaro-Ucareo (Healan 1997, 2004) en Michoacán.

En Zináparo la materia prima se obtuvo mediante dos métodos: por una extracción a cielo abierto y por una extracción subterránea a partir de galerías. Mientras que en Ucareo-Zinapécuaro la explotación se desarrolló únicamente a cielo abierto. Las depresiones, las trincheras (sólo en Ucareo) y la recolección en superficie fueron las estrategias más comunes en ambas regiones. Pero más allá de estos rasgos compartidos entre los tres yacimientos, es el esquema de organización de unidad de extracción-taller, descrito para Zináparo (Darras 1999:155-163) y delineado para Ucareo-Zinapécuaro (Healan 1997:86-87, 92), el atributo que nos interesa destacar, pues es el que permite evidenciar que en Las Minas se desarrolló un aprovechamiento bien estructurado.

Así, este análisis confirma que recursos volcánicos distintos a la obsidiana pudieron ser objeto de un aprovechamiento sistemático e intensivo por parte de grupos artesanos expertos en este tipo de actividad. En el caso de la región de Zacapu, no cabe duda de que la dacita fue un

recurso estratégico en la economía regional, ya que permitió a sus antiguos habitantes conseguir toda una gama de utensilios esenciales para llevar a cabo sus actividades agrícolas, artesanales, bélicas e incluso rituales. Asimismo, la coexistencia de amplias áreas de explotación bien estructuradas con conjuntos arquitectónicos y acondicionamientos agrarios revela también que este recurso formaba parte de un sistema socioeconómico más complejo. Es innegable que su explotación se integraba en una red económica regional plenamente organizada.

Las cualidades mecánicas de la dacita del sitio de Las Minas, otorgada por un alto porcentaje de sílice y vidrio, explican probablemente su popularidad. Si bien hemos notado que era un material frecuente en los sitios de la cuenca de Zacapu y en particular en los del período epiclásico, aún falta definir con mayor detalle su área de difusión y el papel que tuvo con respecto a los otros yacimientos de dacita explotados en la zona.

Agradecimientos. La investigación presentada en este artículo se realizó en el marco del proyecto arqueológico Uacúsecha dirigido por Grégory Pereira. Queremos agradecer a los dictaminadores anónimos por sus comentarios y correcciones que enriquecieron el presente artículo.

Información de financiación. La investigación presentada en este artículo se financió por el Ministère de l'Europe et des Affaires Étrangères de Francia, el CNRS y Universidad de París 1 Panthéon-Sorbonne. Se desarrolló también gracias al proyecto Mesomobile "Movilidades, territorios y mutaciones sociopolíticas en Mesoamérica centro-occidental" dirigido por Véronique Darras y financiado por la Agence Nationale de la Recherche (Projet-ANR-14-CE31-0016). La investigación recibió también el apoyo logístico del CEMCA y fue autorizada por el Consejo de Arqueología del Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH). Agradecemos a CONACYT por el apoyo otorgado para la realización de la tesis de maestría de Osiris Quezada Ramírez (CVU-621861) en el marco del Posgrado de Estudios Mesoamericanos, también a la fundación Stresser-Péan por el apoyo otorgado para la escritura del manuscrito.

References

- Abu-Jaber, Nizar y Ziad Al Saad (editores)
2007 *Landscapes, Provenance and Conservation of Stone Source from Selected Archaeological Sites in Jordan*. EU Report INCO-CT-2005-015416-Project QuarryScapes. Work Package 1, Deliverable No. 1. Documento electrónico, www.quarryscapes.no, accedido el 17 de noviembre de 2021.
- Alberti, Jimena
2016 *Disponibilidad y explotación de fuentes de materias primas en la costa de Norpatagonia: Un enfoque regional*. South American Archaeology Series 27. Archaeopress, Oxford.
- Arnould, Charlotte, Patricia Carot y Marie-France Fauvet Berthelot
1993 *Arqueología de las Lomas en la cuenca lacustre de Zacapu, Michoacán, México*. Cuadernos de Estudios Michoacanos 5. Centro de Estudios Mexicanos y Centroamericanos, Ciudad de México.
- Arnould, Charlotte y Brigitte Faugère-Kalfon
1998 Evolución de la ocupación humana en el centro-norte de Michoacán (proyecto Michoacán, CEMCA) y la emergencia del estado Tarasco. En *Génesis, espacios y culturas en Michoacán*, coordinado por Véronique Darras, pp. 13–24. Centro de Estudios Mexicanos y Centroamericanos, Ciudad de México.
- Ashmore, Wendy
2004 Social Archaeologies of Landscape. En *A Companion to Social Archaeology*, editado por Lynn Meskell y Robert W. Preucel, pp. 255–271. Blackwell, Oxford.
- Bakewell, Edward F.
1993 Shades of Gray: Lithic Variation in Pseudobasaltic Debitage. *Archaeology in Washington* 5:23–32.
1996 Petrographic and Geochemical Source-modeling of Volcanic Lithics from Archaeological Contexts: A Case Study from British Camp. *Geoarchaeology* 11(2):119–140. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1520-6548\(199603\)11:2<119::AID-GEA2>3.0.CO;2-8](https://doi.org/10.1002/(SICI)1520-6548(199603)11:2<119::AID-GEA2>3.0.CO;2-8).
2000 Classification and Distribution of Debitage at the Keatley Creek Housepit Village. En *The Ancient Past of Keatley Creek. Volumen I: Taphonomy*, editado por Brian Hayden, pp. 267–298. Simon Fraser University, Burnaby.
2005 *The Archaeopetrology of Vitrophyric Toolstone, with Applications to Archaeology in the Pacific Northwest*. Ph.D dissertation, Department of Anthropology University of Washington, Seattle.
- Bakewell, Edward F. y Anthony J. Irving
1994 Volcanic Lithic Classification in the Pacific Northwest: Petrographic and Geochemical Analyses of Northwest Chipped Stone Artifacts. *Northwest Anthropological Research Notes* 28(1):29–37.
- Barkai, Ran y Avi Gopher
2009 Changing the Face of the Earth: Human Behavior at Sede Ilan, an Extensive Lower–Middle Paleolithic Quarry Site in Israel. En *Lithic Materials and Paleolithic Societies*, editado por Brian Adams y Brooke Blades, pp. 173–184. Blackwell, Singapore.
- Barkai, Ran, Avi Gopher y Philip La Porta
2002 Palaeolithic Landscape of Extraction: Flint Surface Quarries and Workshops at Mt Pua, Israel. *Antiquity* 76:672–680.
2006 Middle Pleistocene Landscape of Extraction: Quarry and Workshop Complexes in Northern Israel. En *Axe Age: Acheulian Toolmaking from Quarry to Discard*, editado por Naama Goren-Inbar, Avi Gopher, Ran Barkai y Gonen Sharon, pp. 7–44. Equinox, Oxford.
- Baumler, Mark
2008 Assault on Basalt: The Cashman Quarry Site. *Montana: The Magazine of Western History* 58(2):74–76.
- Beardsley, Felicia y Gordon Goles
2001 Sampling for Provenance: Tailings from Prehistoric Stone Quarries in the South Pacific. *Journal of Archaeological Science* 28:587–595.
- Bloxam, Elizabeth
2009 New Directions in Identifying the Significance of Ancient Quarry Landscapes: Four Concepts of Landscape. En *QuarryScapes: Ancient Stone Quarry Landscapes in the Eastern Mediterranean*, editado por Nizar Abu-Jaber, Elizabeth Bloxam, Patrick Degryse y Tom Heldal, pp. 165–181. Special Publication 12. Geological Survey of Norway, Trondheim.
- Bloxam, Elizabeth, Tom Heldal y Per Storemyr (editores)
2007 *Characterisation of Complex Quarry Landscapes: An Example from the West Bank Quarries, Aswan*. EU Report INCO-CT-2005-015416-Project QuarryScapes. Work Package 4, Deliverable No. 4. Documento electrónico, www.quarryscapes.no, accedido el 8 de febrero de 2020.
- Bordes, François
1947 Étude comparative des différentes techniques de taille du silex et des roches dures. *L'Anthropologie* 51(1–2):1–29.
2000 [1961] *Typologie du Paléolithique ancien et moyen*. Documento electrónico, <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k33368868>, accedido el 21 de febrero de 2023. CNRS Éditions, Paris.
- Borie, César, César Parcero-Oubiña, Youngsang Kwon, Diego Salazar, Carola Flores, Laura Olguín y Pedro Andrade
2019 Beyond Site Detection: The Role of Satellite Remote Sensing in Analysing Archaeological Problems. A Case Study in Lithic Resource Procurement in the Atacama Desert, Northern Chile. *Remote Sensing* 11(7):869.
- Breuil, Henri y Raymond Lantier
1951 *Les Hommes de la pierre ancienne: Paléolithique et Mésolithique*. Payot, Paris.
- Budziszewski, Janusz, Michał Jakubczak, Katarzyna Radziszewskay y Michał Szubski
2019 Prehistoric Flint Mine Detection by Airborne Laser Scanning (ALS): Experiences from Poland 2011–2015. *Anthropologica et Præhistorica* 128/2017:143–156.
- Cárdenas García, Efraín
1990 Explotación de obsidiana en el sector occidental del eje neovolcánico. Tesis de licenciatura, Departamento de Arqueología, Escuela Nacional de Antropología e Historia, Ciudad de México.

- Carot, Patricia
1994 Loma Alta: Antigua Isla funeraria en la ciénega de Zacapu, Michoacán. En *Arqueología del occidente de México: Nuevas aportaciones*, coordinado por Eduardo Williams y Robert Novella, pp. 93–121. El Colegio de Michoacán, Zamora.
- Carr, Thomas y Mort Turner
1996 Investigating Regional Lithic Procurement Using Multi-Spectral Imagery and Geophysical Exploration. *Archaeological Prospection* 3:109–127.
- Charlin, Judith
2005 Utilización de materias primas líticas en el campo volcánico Pali Aike (Provincia Santa Cruz, Argentina): Una primera aproximación a partir del análisis de los núcleos. *Revista Werken* 7:39–55.
- Charlin, Judith, Nora Franco y Massimo D'Orazio
2010 El campo volcánico Pali Aike y las fuentes potenciales de aprovisionamiento lítico: Primeros resultados geoquímicos. En *Arqueología de Pali Aike y Cabo Vírgenes (Santa Cruz, Argentina)*, editado por Luis Borrero y Judith Charlin, pp. 31–54. Editorial Dunken, Buenos Aires.
- Charlin, Judith y María Cecilia Pallo
2015 Disponibilidad de rocas y costos de aprovisionamiento en el extremo austral de Patagonia meridional: Integración de resultados en una escala regional. *Intersecciones en Antropología* 16:125–138.
- Charlton, Thomas y Michael W. Spence
1982 Obsidian Exploitation and Civilization in the Basin of Mexico. *Anthropology* 6:7–86.
- Cobean, Robert H.
2002 *Un mundo de obsidiana*. Instituto Nacional de Antropología e Historia, Ciudad de México.
- Cochin, Christine
2014 Estudio traceológico de herramientas prehispánicas en piedra andesítica en la región de Michoacán, México. *Arqueología* 47:33–50.
- Cordero, José Agustín
2003 Organización de la tecnología lítica en el valle del río Limay, desde Alicurá hasta la confluencia con el río Collón Curá. Tesis de licenciatura, Facultad de Filosofía y Letras, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires.
- Crivelli Montero, Eduardo y Mariano Ramos
2010–2012 El taller lítico LY 041-La Divisoria (Departamento Pilcaniyeu, Provincia de Río Negro). *Anales de Arqueología y Etnología* 65–67:183–203.
- Darras, Véronique
1993 La lítica tallada de las Lomas. En *Arqueología de las Lomas en la cuenca lacustre de Zacapu, Michoacán*, editado por Charlotte Arnaud, Patricia Carot y Marie-France Fauvet Berthelot, pp. 168–190. Cuadernos de Estudios Michoacanos 5. Centro de Estudios Mexicanos y Centroamericanos, Ciudad de México.
1994a Les Mines-Ateliers d'obsidienne de la région de Zinaparo-Prieto, Michoacan, Mexique. *Bulletin de la Société Préhistorique Française* 91:290–301.
1994b Las actividades de talla en los talleres de obsidiana del conjunto Zinaparo–Prieto, Michoacán. En *Arqueología del Occidente de México*, editado por Eduardo Williams y Roberto Novella, pp. 139–158. El Colegio de Michoacán, Zamora.
1996 Economía de la obsidiana en Michoacán: Modalidades de abastecimiento e implicaciones político-culturales. *Arqueología* 15:41–54.
1998 La obsidiana en la Relación de Michoacán y en la realidad arqueológica: Del símbolo al uso o del uso de un símbolo. En *Génesis, Cultura y Espacios en Michoacán*, coordinado por Véronique Darras, pp. 61–88. Centro de Estudios Mexicanos y Centroamericanos, Ciudad de México.
1999 *Tecnologías prehispánicas de la obsidiana: Los centros de producción de la región de Zinaparo-Prieto, Michoacán*. Cuadernos de Estudios Michoacanos 9. Centro de Estudios Mexicanos y Centroamericanos, Ciudad de México.
2008 Estrategias para la producción de navajas de obsidiana en la región de Zacapu y la vertiente del Lerma (Michoacán, México): Entre el epiclásico y el posclásico tardío. *Ancient Mesoamerica* 19:243–264.
2010 Paysans-artisans du centre-ouest mésoaméricain: Approche techno-économique et sociale. Tesis de HDR, École d'histoire de l'art et d'archéologie, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne.
- Darras, Véronique, Alain Demant y Jean Louis Joron
2005 Economía y poder: La obsidiana entre los tarascos del Malpaís de Zacapu, Michoacán (fase Milpillan, 1200 a 1450 d.C.). En *Reflexiones sobre la industria lítica*, coordinado por Leticia González Arratia y Lorena Mirambell, pp. 243–298. Colección Científica 474. Instituto Nacional de Antropología e Historia, Ciudad de México.
- Darras, Véronique y Laure Déodat
2011 Construction d'un SIG pour l'ensemble de la région de Zacapu et l'économie de l'obsidienne. Informe en el Archivo de la Commission des fouilles, Ministère de l'Europe et des Affaires étrangères, Paris.
- Darras, Véronique, Camilo Mireles, Claus Siebe, Osiris Quezada, Alejandra Castañeda y Nanci Reyes-Guzmán
2017 The Other Stone: Dacite Quarries and Workshops in the Prehispanic Tarascan Territory, Michoacán, Mexico. *Journal of Archaeological Science: Reports* 12:219–231.
- Darras, Véronique, Camilo Mireles y Osiris Quezada
2015 La zona de Caurio: levantamiento de los talleres de andesita y revisión de los sitios vecino. Trabajos realizados en las minas-taller de andesita "Las Lajitas" y la "Tronconera", México. En Proyecto Uacúsecha. Temporada 7 (2015–2016), editado por Grégory Pereira, pp. 125–145. Informe entregado al Consejo de Arqueología del Instituto Nacional de Antropología e Historia, Ciudad de México.
- Darvill, Timothy
1999 The Historic Environment, Historic Landscapes, and Space-Time-Action Models in Landscape Archaeology. En *The Archaeology and Anthropology of Landscape Shaping your Landscape*, editado por Peter Ucko y Robert Layton, pp. 106–120. Routledge, Nueva York.
- Dello-Russo, Robert
2005 *Recent Work on Late Paleindian Sites at the Sargent Wildlife Management Area, Chama, New Mexico: Overview and Prospects for the Future*. New Mexico Department of Game and Fish, Santa Fe.
- De Souza, Patricio
2004 Tecnologías de proyectil durante los períodos arcaico y formativo en el Loa superior (norte de Chile): A partir del análisis de puntas líticas. *Chungara: Revista de Antropología Chilena* 36:61–76.
- Doelman, Trudy
2005 Quarrying Masses of Information: An Approach to the Recording and Interpretation of a Quarry Assemblage. *Archaeology in Oceania* 40:50–61.
- Dorison, Antoine
2019 Archéologie des systèmes agraires préhispaniques de la région de Zacapu, Michoacán, Mexique VIIe–XVe siècle apr. J.-C. Tesis doctoral, École d'histoire de l'art et d'archéologie, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne.
- Dorison, Antoine, Claus Siebe y Nanci Reyes Guzmán
2018 El Malpaís de Zacapu: Un entorno modelado por volcanes. En *La ciudad perdida: Raíces de los soberanos tarascos*, pp. 21–27. Centro de Estudios Mexicanos y Centroamericanos, Instituto Nacional de Antropología e Historia, Ciudad de México.
- Duke, Daron
2013 The Exploded Fine-Grained Volcanic Sources of the Desert West and the Primacy of Tool Function in Material Selection. *North American Archaeologist* 34:323–354.
- Ericson, Jonathon E.
1984 Toward the Analysis of Lithic Production Systems. En *Prehistoric Quarries and Lithic Production*, editado por Jonathon E. Ericson y Barbara A. Purdy, pp. 1–10. Cambridge University Press, Cambridge.
- Esparza López, Rodrigo
2004 Minería prehispánica de obsidiana en la región central de Jalisco. En *Tradiciones Arqueológicas*, coordinado por Efraín Cárdenas, pp. 79–88. El Colegio de Michoacán, Zamora.
2008 Los yacimientos de obsidiana de El Pedernal-La Mora: Una explotación constante durante el desarrollo de la tradición Teuchitlán. En *Tradición Teuchitlán*, editado por Phil Weigand, Chris Beekman y Rodrigo Esparza, pp. 143–166. El Colegio de Michoacán, Zamora.

- Faugère-Kalfon, Brigitte
1996 *Entre Zacapu y Río Lerma: Culturas en una zona fronteriza*. Cuadernos de Estudios Michoacanos 7. Centro de Estudios Mexicanos y Centroamericanos, Ciudad de México.
- Finkel, Meir, Avi Gopher y Ran Barkai
2016 Extensive Paleolithic Flint Extraction and Reduction Complexes in the Nahal Dishon Central Basin, Upper Galilee, Israel. *Journal World Prehistory* 29:217–266.
- Foley, Robert A. y Marta Mirazon Lahr
2015 Lithic Landscapes: Early Human Impact from Stone Tool Production on the Central Saharan Environment. *PLoS ONE* 10(3): e0116482.
- Forest, Marion, Laurent Costa, Andy Combey, Antoine Dorison y Grégory Pereira
2019 Testing Web Mapping and Active Learning to Approach LiDAR Data. *Advances in Archaeological Practice* 8:25–39.
- Fujita, Harumi
2009 Rhyolite Bifacial Preform Production at El Pulguero: A Prehistoric Quarry and Workshop Site in the Cape Region of Baja California. *Proceedings of the Society for California Archaeology* 22:1–6.
- Fujita, Harumi y Gema Poyatos de Paz
2007 Prehistoric Quarrying and Stone Tool Production at El Pulguero, Baja California Sur, Mexico. *Pacific Coast Archaeological Society Quarterly* 39(2–3):23–36.
- García Cook, Ángel
2014 Los talleres estatales de Cantona. En *Estudio de la lítica arqueológica en Mesoamérica*, editado por Leticia González Arratia y Lorena Mirambell, pp. 105–166. Colección Arqueológica. Instituto Nacional de Antropología e Historia, Ciudad de México.
- García Payón, José
1979 *La zona arqueológica de Tecaxic-Calixtlahuaca y los matlazincas: Etnología y arqueología (textos de la segunda parte)*, editado por Wanda Tommasi de Magrelli y Leonardo Manrique Castañeda. Biblioteca Enciclopédica del Estado de México, Ciudad de México.
- Gaxiola, Margarita y Jorge Guevara
1989 Un conjunto habitacional en Huapalcalco, Hidalgo, especializado en la talla de obsidiana. En *La obsidiana en Mesoamérica*, editado por Margarita Gaxiola y John Clark, pp. 227–242. Colección Científica 176. Instituto Nacional de Antropología e Historia, Ciudad de México.
- Gopher, Avi y Ran Barkai
2011 Sitting on the Tailing Piles: Creating Extraction Landscapes in Middle Pleistocene Quarry Complexes in the Levant. *World Archaeology* 43:211–229.
- Healan, Dan
1997 Prehispanic Quarrying in the Ucareo-Zinapécuaro Obsidian Source Area. *Ancient Mesoamerica* 8:77–110.
2004 Extracción prehispánica de obsidiana en Ucareo-Zinapécuaro, Michoacán. En *Bienes estratégicos del antiguo occidente de México: Producción e intercambio*, editado por Eduardo Williams, pp. 77–112. El Colegio de Michoacán, Zamora.
- Heldal, Tom
2009 Constructing a Quarry Landscape from Empirical Data: General Perspectives and a Case Study at the Aswan West Bank, Egypt. En *QuarryScapes: Ancient Stone Quarry Landscapes in the Eastern Mediterranean*, editado por Nizar Abu-Jaber, Elizabeth Bloxam, Patrick Degryse y Tom Heldal, pp. 125–153. Special Publication 12. Geological Survey of Norway, Trondheim.
- Heldal, Tom, Elizabeth Bloxam y Per Storemyr
2007 Unravelling Ancient Stone Quarry Landscapes in the Eastern Mediterranean: Three Egyptian Case Studies. En *Broadening Horizons: Multidisciplinary Approaches to Landscape Study*, editado por Bart Ooghe y Geert Verhoeven, pp. 90–112. Cambridge Scholars Publishing, Newcastle.
- Heldal, Tom y Elizabeth Bloxam
2008 *QuarryScapes Guide to Ancient Stone Quarry Landscapes: Documentation, Interpretation and Statement of Significance*. INCO-CT-2005-015416-Project Quarry Scapes, Work Package 9, Deliverable No. 11. Documento electrónico, www.quarryscapes.no, accedido el 14 de enero de 2017.
- Herrera Muñoz, Alberto Juan
2011 *Minería de Cinabrio en la región del Doctor, Querétaro, México: Una mirada desde la arqueología*. Editorial Académica Española, Saarbrücken.
- Ingold, Tim
1993 The Temporality of the Landscape. *World Archaeology* 25:152–174.
- Inizan Marie-Louise, Michel Reduron-Ballinger, Hélène Roche y Jacques Tixier
1995 *Technologie de la pierre taillée: Préhistoire de la Pierre Taillée*, vol. 4. Meudon-CREP, París.
- Irwin, Jeffrey y Vincas Steponaitis
2006 Introduction. En *Stone Quarries and Sourcing in the Carolina Slate Belt*, editado por Vinca P. Steponaitis, Theresa E. McReynolds, Jeffrey D. Irwin y Christopher R. Morre, pp. 1–10. Research Report 25. Research Laboratories of Archaeology, University of North Carolina, Chapel Hill.
- Jackson, Donald
1990 Análisis sobre la producción y el uso de lítica en el sitio La Mesa. En *Las industrias líticas Coyotlatelco en el área de Tula*, editado por Alba Guadalupe Mastache, Robert Cobean, Charles Rees y Donald Jackson, pp. 145–297. Colección Científica 221. Instituto Nacional de Antropología e Historia, Ciudad de México.
- Kenady, Stephen M., Robert R. Mierendorf y Randall F. Schalk
2002 An Early Lithic Site in the San Juan Islands: Its Description and Research Implications. Entregado al National Park Service Pacific, Northwest Region, Seattle.
- Knapp, Bernard y Wendy Ashmore
1999 Archaeological Landscapes: Constructed, Conceptualized, Ideational. En *Archaeologies of Landscapes: Contemporary Perspectives*, editado por Bernard Knapp y Wendy Ashmore, pp. 1–30. Blackwell, Malden.
- Kshirsagar, Pooja, Claus Siebe, Marie Noël Guilbaud, Sergio Salinas y Paul W. Layer
2015 Late Pleistocene Alberca de Guadalupe Maar Volcano (Zacapu Basin, Michoacán): Stratigraphy, Tectonic Setting, and Paleo-Hydrogeological Environment. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 304:214–236.
- Langenscheidt, Adolphus
1970 Las minas y minería prehispánica. En *Minería prehispánica en la Sierra de Querétaro*, pp. 45–47. Secretaría del Patrimonio Nacional, Ciudad de México.
- Lemonnier, Pierre
1976 La Description des chaînes opératoires: Contribution à l'analyse des systèmes techniques. *Techniques & Cultures* 1:101–150.
- Leroi-Gourhan, André
1964 *Le geste et la parole: Technique et langage*. Albin Michel, París.
- López Aguilar, Fernando, Rosalba Nieto Calleja y Robert Cobean
1989 La producción de obsidiana en la Sierra de las Navajas. En *La obsidiana en Mesoamérica*, editado por Margarita Gaxiola y John E. Clark, pp. 193–198. Colección Científica 176. Instituto Nacional de Antropología e Historia, Ciudad de México.
- MacNeish, Richard, Antoinette Nelken-Terner y Irmgard Weitlaner
1967 *The Prehistory of the Tehuacan Valley*. University of Texas Press, Austin.
- Mallory-Greenough, Leanne M., James Baker y John D. Greenough
2002 Preliminary Geochemical Fingerprinting of Dacite Lithic Artifacts from the British Columbia Interior Plateau. *Canadian Journal of Archaeology* 26:41–61.
- Mastache, Guadalupe, y Robert H. Cobean
1990 La Cultura Coyotlatelco en el área de Tula. In *En Las Industrias líticas Coyotlatelco en el área de Tula*, editado por Alba Guadalupe Mastache, Charles Rees, Donald Jackson, y Robert H. Cobean, pp. 7–23. INAH, Mexico.
- Michelet, Dominique, Grégory Pereira y Gérald Migeon
2005 La llegada de los Ucacúsechas a la región de Zacapu, Michoacán: Datos arqueológicos y discusión. En *Reacomodos demográficos del clásico al posclásico en el centro de México*, editado por Linda Manzanilla, pp. 137–154. Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México.

- Mierendorf, Robert
1997 An Exploratory Archeological Survey for Glassy Volcanic Rock Sources in the Silver Creek Watershed. Informe entregado al Skagit Environmental Endowment Commission, Seattle.
- Migeon, Gérald
1998 El poblamiento del Malpaís de Zacapu y de sus alrededores, del clásico al posclásico. *Génesis, espacios y culturas en Michoacán*, coordinado por Véronique Darras, pp. 35–46. Centro de Estudios Mexicanos y Centroamericanos, Ciudad de México.
2015 *Residencias y estructuras cívico-ceremoniales posclásicas Tarascas de la región de Zacapu (Michoacán, México)*. Bar International Series 2729. Archaeopress, Oxford.
- Moore, Christopher y Jeffrey D. Irwin
2006 Quarries and Artifacts. En *Stone Quarries and Sourcing in the Carolina Slate Belt*, editado por Vinca P. Steponiatis, Theresa E. McReynolds, Jeffrey D. Irwin y Christopher R. Morre, pp. 16–41. Research Laboratories of Archaeology Report 25. University of North Carolina, Chapel Hill.
- Morales, J. R., S. Cancino, P. Miranda, M. I. Dinor y A. Seelenfreund
2007 Application of PIXE to the Characterization of Vitreous Dacites from Archaeological Sites in the Atacama Region in Northern Chile. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research* 264:333–339.
- Mourre, Vincent y David Colonge
2009–2010 La question du débitage de grands éclats à l'Acheuléen. *PALEO* número especial:35–48.
- Narez, Jesús
1990 *Materiales arqueológicos de Tlapacoya*. Colección Científica 204. Instituto Nacional de Antropología e Historia, Ciudad de México.
- Niederberger, Christine
1976 *Zohapilco: Cinco milenios de ocupación humana en un sitio lacustre de la Cuenca de México*. Colección Científica, Serie Arqueología 30. Instituto Nacional de Antropología e Historia, Ciudad de México.
1987 *Paléo-paysages et archéologie pré-urbaine du Bassin de Mexico*, 2 vols. Collection Études Mésoaméricaines 1–11. Centro de Estudios Mexicanos y Centroamericanos, Ciudad de México.
- Odell, George F.
2004 *Lithic Analysis*. Manuals in Archaeological Method, Theory and Technique. Springer, Nueva York.
- Orejas Saco del Valle, Almudena
1996 Arqueología de los paisajes mineros antiguos en la Península Ibérica. *Brocar* 20:7–29.
- Orejas Saco del Valle, Almudena y F. Javier Sánchez-Palencia Ramos
2014 Los paisajes mineros de Hispania y la investigación en arqueominería. *Cuadernos de Prehistoria y Arqueología de la Universidad de Granada* 24:319–344.
- Osiensky, Whitney Selina
2014 New Methods for Sourcing Fine-Grained Volcanic Artifacts in the Salish Sea: A Holistic Approach. Master's thesis, Western Washington University, Bellingham.
- Pastrana, Alejandro
1986 El proceso de trabajo de la obsidiana de las minas de Pico de Orizaba. *Boletín de Antropología Americana* 13:133–145.
1998 *La explotación azteca de la obsidiana en la Sierra de las Navajas*. Colección Científica 383. Instituto Nacional de Antropología e Historia, Ciudad de México.
- Pastrana, Alejandro y David Carballo
2016 Aztec Obsidian Industries. En *The Oxford Handbook of the Aztecs*, editado por Deborah L. Nichols y Enrique Rodríguez Alegría, pp. 329–341. Oxford University Press, Nueva York.
- Pastrana, Alejandro y Hernando Gómez R.
1988 Las minas de obsidiana del Pico de Orizaba, Veracruz. *Arqueología* 3:7–28.
- Pastrana, Alejandro y Silvia Domínguez
2009 Cambios en la estrategia de la explotación de la obsidiana de Pachuca: Teotihuacan, Tula y la triple alianza. *Ancient Mesoamerica* 20:129–148.
- Pastrana Cruz, Alejandro, Patricia Fournier García, William J. Parry y Cynthia L. Otis Charlton
2019 Obsidian Production and Use in Central Mexico after the Spanish Invasion. En *Technology and Tradition in Mesoamerica after the Spanish Invasion: Archeological Perspectives*, editado por Rani T. Alexander, pp. 15–33. University of New Mexico Press, Albuquerque.
- Pereira, Grégory
1999 *Potrero de Guadalupe: Anthropologie funéraire d'une communauté pré-tarasque du nord du Michoacán, Mexique*. BAR International Series 816. Archaeopress, Oxford.
- Pereira, Grégory, Antoine Dorison, Osiris Quezada Ramírez, Céline Gillot y Dominique Michelet
2023 Nueva perspectiva sobre el sistema de organización territorial epiclásico en la región de Zacapu, Michoacán. *Ancient Mesoamerica*. doi: 10.1017/S0956536121000651.
- Pereira, Grégory, Dominique Michelet, Antoine Dorison, Brigitte Faugère, Osiris Quezada, Karine Lefebvre, Isabel Medina, Isaac Barrientos, Hemmamuthé Goudiaby, Luis Barba, Jorge Blancas, Agustín Ortiz y Céline Gilot
2016 Proyecto Uacúsecha. Temporada 8 (2015–2016). Informe entregado al Consejo de Arqueología del Instituto Nacional de Antropología e Historia, Ciudad de México.
- Pereira, Grégory, Dominique Michelet, Antoine Dorison, Marion Forest, Méline Stevanato, Elsa Jadot y Aurélie Manin
2013 Proyecto Uacúsecha. Temporada 6 (2013). Informe entregado al Consejo de Arqueología del Instituto Nacional de Antropología e Historia, Ciudad de México.
- Pereira, Grégory, Dominique Michelet, Antoine Dorison, Véronique Darras, Brigitte Faugère, Luis Barba, Méline Stevanato, Osiris Quezada y Jorge Blancas
2015 Proyecto Uacúsecha. Temporada 7 (2014–2015). Informe entregado al Consejo de Arqueología del Instituto Nacional de Antropología e Historia, Ciudad de México.
- Pereira, Grégory, Dominique Michelet, Marion Forest, Osiris Quezada, Céline Gillot, Julien Sion, Divina Perla, Isaac Barrientos, Alejandra Castañeda, Véronique Darras, Elsa Jadot, Camilo Mireles, Jorge Blancas y Agustín Ortíz
2018 Proyecto Uacúsecha. Temporada 9 (2016–2017). Informe entregado al Consejo de Arqueología del Instituto Nacional de Antropología e Historia, Ciudad de México.
- Pereira, Grégory y Marion Forest
2010 Proyecto Uacúsecha. Temporada 3 (2010). Informe entregado al Consejo de Arqueología del Instituto Nacional de Antropología e Historia, Ciudad de México. Identificación Y Utilización De Los Espacios En El Sitio Posclásico El Malpaís Prieto Y En El Complejo Urbano Del Malpaís De Zacapu, Michoacán, México.
- Pétréquin, Pierre, Anne-Marie Pétréquin, Michel Errera y Frédéric Prodeó
2012 Prospections alpines et sources de matières premières. Historique et résultats. En *Jade: Grandes haches alpines du néolithique européen Ve et VIe millénaires av. J.-C.*, Vol. 1, editado por Pierre Pétréquin, Serge Cassen, Michel Errera, Lutz Klassen, Alison Sheridan y Anne-Marie Pétréquin, pp. 46–174. Collection Les Cahiers de la MSHE Ledoux 17. Presses Universitaires de Franche-Comté, Besançon.
- Pétréquin, Pierre y Anne-Marie Pétréquin
2002 *Écologie d'un outil la hache de Pierre en Irian Jaya (Indonésie)*. Monographie du CRA 12. CNRS Éditions, Paris.
- Pollard, Helen
1996 La transformación de élites regionales en Michoacán central. En *Las cuencas del occidente de México: Época prehispánica*, editado por Eduardo Williams y Phil C. Weigand, pp. 131–156. El Colegio de Michoacán/Centro de Estudios Mexicanos y Centroamericanos/Instituto de Investigación Científica para el Desarrollo en Cooperación, Zamora/Ciudad de México.
- Purdy, Barbara A.
1984 Quarry Studies: Technological and Chronological Significance. En *Prehistoric Quarries and Lithic Production*, editado por Jonathon E. Ericson y Barbara A. Purdy, pp. 119–127. Cambridge University Press, Cambridge.
- Quezada Ramírez, Osiris y Véronique Darras
2018 Recorrido y excavaciones en Las Minas (Mich. 428). En Proyecto Uacúsecha. Temporada 9, editado por Grégory Pereira, pp. 198–249. Informe entregado al Consejo de Arqueología del Instituto Nacional de Antropología e Historia, Ciudad de México.

- Ramsey, Christopher
2017 Methods for Summarizing Radiocarbon Datasets. *Radiocarbon* 59:1809–1833.
- Rebnegger, Karin J.
2013 *Obsidian Consumption and Production in the Tarascan State*. Tesis de doctorado, Anthropology Department, Michigan State University, East Lansing.
- Rees, Charles
1990 Estudio sobre la cantera-taller del sitio Magoni. En *Las industrias líticas Coyotlatelco en el área de Tula*, editado por Alba Guadalupe Mastache, Robert H. Cobean, Charles Rees y Donald Jackson, pp. 23–144. Colección Científica 221. Instituto Nacional de Antropología e Historia, Ciudad de México.
- Rees, Charles y Patricio De Souza
2004 Producción lítica durante el período formativo en la subregión del Río Salado. *Chungara: Revista de Antropología Chilena* 36:453–465.
- Reimer, Paula J., Edouard Bard, Alex Bayliss, J. Warren Beck, Paul G. Blackwell, Christopher Bronk Ramsey, Caitlin E. Buck, Hai Cheng, R. Lawrence Edwards, Michael Friedrich, Pieter M. Grootes, Thomas P. Guilderson, Hafid Hafidason, Irka Hajdas, Christine Hatté, Timothy J. Heaton, Dirk L. Hoffmann, Alan G. Hogg, Konrad A. Hughen, K. Felix Kaiser, Bernd Kromer, Sturt W. Manning, Mu Niu, Ron W. Reimer, David A. Richards, E. Marian Scott, John R. Southon, Richard A. Staff, Christian S. M. Turney y Johannes van der Plicht
2016 IntCal13 and Marine13 Radiocarbon Age Calibration Curves 0–50,000 Years cal B.P. *Radiocarbon* 55:1869–1887.
- Revelles, Javier
2005 La lítica de la cuenca de Sayula. En *Arqueología de la Cuenca de Sayula*, editado por Francisco Valdez, Otto Schöndube y Jean Pierre Emphoux, pp. 349–368. Universidad de Guadalajara/Instituto de Investigación Científica para el Desarrollo en Cooperación, Guadalajara/Ciudad de México.
- Reyes-Guzmán, Nanci
2017 *Geología volcánica de la región occidental de la cuenca lacustre de Zacapu, Michoacán y su importancia para la arqueología*. Tesis de licenciatura, Departamento de Ciencias de la Tierra, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México.
- Reyes-Guzmán, Nanci, Claus Siebe, Magdalena Oryaëlle Chevrel, Marie-Noëlle Guilbaud, Sergio Salinas y Paul Layer
2018 Geology and Radiometric Dating of Quaternary Monogenetic Volcanism in the Western Zacapu Lacustrine Basin (Michoacán, México): Implications for Archaeology and Future Hazard Evaluations. *Bulletin of Volcanology* 80:1–18.
- Risbøl, Ole
2012 Cultivating the “Wilderness”: How LiDAR Can Improve Archaeological Landscape Understanding. En *Interpreting Archaeological Topography Airborne Laser Scanning, 3D Data and Ground Observation*, editado por Rachel S. Opitz y David C. Cowley, pp. 51–62. Oxbow Books, Oxford.
- Rousseau, Mike K.
2015 Primary Toolstone Sources and Pre-Contact Period Quarrying Behaviour in the Thompson River Drainage of South Central British Columbia. En *Toolstone Geography of the Pacific Northwest*, editado por Terry L. Ozbun y Ron L. Adams, pp. 29–48. Archaeology Press, Simon Fraser University, Burnaby, British Columbia.
- Sánchez, Guadalupe
2016 *Los primeros mexicanos: Late Pleistocene and Early Holocene People of Sonora*. Anthropological Papers. University of Arizona Press, Tucson.
- Sanguinetti, Alicia, Adriana Chauvin y Fernando X. Pereira
2005 Aplicación de análisis petrológicos para determinar la procedencia de artefactos líticos: Metodología y resultados obtenidos en la Patagonia Septentrional Argentina. *Zephyrus* 58:213–221.
- Schiavetti, Vincent W.
1994 La minería prehispánica de Chalchihuites. *Arqueología Mexicana* 1(6):48–51.
- Seelenfreund, Andrea, Carole Sinclair A., Patricio De Souza H., María Inés Dinator R., Eugenia Fonseca P., Miguel Chesta A. y José Roberto Morales P.
2004 Caracterización de lavas vítreas de fuentes y sitios arqueológicos del formativo temprano en la subárea circumpuneña: Resultados preliminares y proyecciones para la prehistoria atacameña. *Estudios Atacameños* 28:45–57.
- Seelenfreund, Andrea, E. Fonseca., F. Llona, L. Lera, C. Sinclair y C. Rees
2009 Geochemical Analysis of Vitreous Rocks Exploited during the Formative Period in the Atacama Region, Northern Chile. *Archaeometry* 51:1–25.
- Sellet, Frédéric
1993 Chaîne opératoire: The Concept and its Applications. *Lithic Technology* 18:106–112.
- Shackley, Steven M.
2005 Source Provenance of Obsidian and Dacite Paleindian and Pueblo and Period Artifacts from Northern New Mexico. Informe preparado para el New Mexico Department of Game and Fish, Santa Fe. Documento electrónico, <https://escholarship.org/uc/item/8w00k3cz>, accedido el 22 de febrero de 2023.
- 2011 Sources of Archaeological Dacite in Northern New Mexico. *Journal of Archaeological Science* 38:1001–1007.
- 2013 Source Provenance of Obsidian and Dacite Artifacts from the Protohistoric Apache Punche Lake Tepee Site (LA 64805) Taos Plateau, Northern New Mexico. Informe preparado para el Departamento de Antropología, Stanford University. Documento electrónico, <https://escholarship.org/uc/item/30h526sm>, accedido el 22 de febrero de 2023.
- Siebe, Claus, Marie-Noëlle Guilbaud, Sergio Salinas, Pouja Kshirsagar, Magdalena Oryaëlle Chevrel, Juan Ramón de la Fuente, Athziri Hernández Jiménez y Lourdes Godínez
2014 Monogenetic Volcanism of the Michoacán-Guanajuato Volcanic Field: Maar Craters of the Zacapu Basin and Domes, Shields, and Scoria Cones of the Tarascan Highlands (Paracho-Paricutin Region). A Pre-Meeting Fieldtrip (November 13–17) prior to the 5th International Maar Conference (5IMC-IAVCEI), Querétarom Mexico, November 17–22, 2014. Departamento de Vulcanología, Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México, Mexico City.
- Smits, Nicholas y Sara Davis
2015 New Perspectives on the Stockhoff Quarry: Toolstone Procurement at a Quarry Complex in the Blue Mountains of Northeastern Oregon. En *Toolstone Geography of the Pacific Northwest*, editado por Terry L. Ozbun y Ron L. Adams, pp. 159–179. Archaeology Press, Simon Fraser University, Burnaby, British Columbia.
- Spence, Michael, Phil C. Weigand y María de los Dolores Soto de Arechavaleta
2002 Production and Distribution of Obsidian Artifacts in Western Jalisco. En *Pathways to Prismatic Blades: A Study in Mesoamerican Obsidian Core-Blade*, editado por Kenneth Hirth y Bradford Andrews, pp. 61–79. Cotsen Institute of Archaeology University of California, Los Ángeles.
- Stocker, Terrance y Robert Cobean
1984 Preliminary Report on the Obsidian Mines at Pico de Orizaba, Veracruz. En *Prehistoric Quarries and Lithic Production*, editado por Jonathon Ericson y Barbara Purdy, pp. 83–95. Cambridge University Press, Cambridge.
- Stöllner, Thomas
2003 Mining and Economy. A Discussion of Spatial Organisations and Structures of Early Raw Material Exploitation. En *Man and Mining / Mensch und Bergbau: Studies in Honour of Gerd Weisgerber on Occasion of his 65th Birthday*, editado por Thomas Stöllner, Gabriele Körlin y Gero Steffens, pp. 415–446. Deutsches Bergbau-Museum, Bochum.
- 2008 Mining Landscapes in Early Societies: Imprinting Processes in Pre- and Protohistoric Economies? En *Cultural Heritage and Landscapes in Europe Landschaften: Kulturelles Erbe In Europa. Proceedings of the International Conference, Bochum June 8–10, 2007*, editado por Christoph Bartels y Claudia Küpper-Eichas, pp. 65–92. Veröffentlichungen aus den Deutschen Bergbau-Museum, Bochum.
- 2014 Methods of Mining Archaeology (Montanarchäologie). En *Archaeometallurgy in Global Perspective, Methods and Syntheses*, editado por Benjamin W. Roberts y Christopher P. Thornton, pp. 133–159. Springer, Nueva York.
- Toohy, Jason L.
2007 Taller de San José: A Prehistoric Quarry Near San José del Cabo, Baja California Sur, México. *Pacific Coast Archaeological Society Quarterly* 39(2–3):37–52.

- Tripcevich, Nicholas y Daniel Contreras
2013 Archaeological Approaches to Obsidian Quarries: Investigations at the Quispisisa Source. En *Mining and Quarrying in the Ancient Andes: Sociopolitical, Economic and Symbolic Dimensions*, editado por Nicholas Tripcevich y Kevin Vaughn, pp. 23–44. Springer, Nueva York.
- Tripcevich, Nicholas y Kevin Vaughn
2013 An Introduction to Mining and Quarrying in the Ancient Andes: Sociopolitical, Economic and Symbolic Dimensions. En *Mining and Quarrying in the Ancient Andes: Sociopolitical, Economic and Symbolic Dimensions*, editado por Nicholas Tripcevich y Kevin Vaughn, pp. 1–19. Springer, Nueva York.
- Trubitt, Mary Beth D.
2005 Mapping a Novaculite Quarry in Hot Springs National Park . *Index of Texas Archaeology: Open Access Gray Literature from the Lone Star State* 2005(19): 17–33. <https://doi.org/10.21112/ita.2005.1.19>.
- Uhlir, Christian F.
2015 Historic Quarries Database and Heritage Values. En *European Quarry Landscapes Paisajes de Cantería en Europa*, pp. 23–30. Ayuntamiento de Teruel, Barcelona.
- Vierra, Bradley J., Margaret A. Jodry, M. Steven Shackley y Michael J. Dilley
2012 Late Paleoindian and Early Archaic Foragers in the Northern Southwest. En *From the Pleistocene to the Holocene: Human Organization and Cultural Transformations in Prehistoric North America*, editado por Britt Bousman y Bradley J. Vierra, pp. 171–195. Texas A&M University Press, College Station.
- Weigand, Phil C.
1968 The Mines and Mining Techniques of the Chalchihuites Culture. *American Antiquity* 33:45–61.
- Weigand, Phil C. y Acelia García de Weigand
1994 Minería prehispánica de Jalisco. *Estudios Jaliscienses* 17:5–21.
- Weigand, Phil C. y Michel Spence
1982 The Obsidian Mining Complex at La Joya. *Anthropology* 6:175–188.