



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN GEOGRAFÍA
GEOGRAFÍA AMBIENTAL

**ALTERACIÓN ANTRÓPICA DEL PAISAJE POR LA MINERÍA DE LA
OBSIDIANA EN SIERRA DE LAS NAVAJAS, HIDALGO. UN ESTUDIO DESDE
LA GEOGRAFÍA AMBIENTAL Y LA ARQUEOLOGÍA.**

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRA EN GEOGRAFÍA

PRESENTA:
IVONNE SIEGRID SCHÖNLEBER RIUSECH

TUTOR DE TESIS: DR. LORENZO VÁZQUEZ SELEM
INSTITUTO DE GEOGRAFÍA, UNAM

MIEMBROS DEL COMITÉ TUTOR:
DR. OSVALDO FRANCO RAMOS
INSTITUTO DE GEOGRAFÍA, UNAM
MTRA. NORMA LÓPEZ CASTAÑEDA
ESCUELA NACIONAL DE CIENCIAS DE LA TIERRA, ENCIT, UNAM
DR. SERAFÍN SÁNCHEZ PÉREZ
ESCUELA NACIONAL DE ANTROPOLOGÍA E HISTORIA, ENAH
DRA. MARIANA FAVILA VÁZQUEZ
CENTRO DE INVESTIGACIONES Y ESTUDIOS SUPERIORES EN
ANTROPOLOGÍA SOCIAL, CIESAS

CIUDAD UNIVERSITARIA, CIUDAD DE MÉXICO, NOVIEMBRE 2023



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Gracias eternamente

A mis papás Eckart Schönleber G.† y María Eugenia Riusech D.

**A mi compañero José Carlos Méndez
y a mi Eckart Méndez Schönleber**

¡Lo hicimos!

Agradecimientos

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, así como al Posgrado en Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México por el soporte económico recibido.

Le estaré eternamente agradecida al Doctor Lorenzo Vázquez Selem por el apoyo académico, que además creyó que sí podía, así como la confianza que depositó en mí desde el primer día. Se interesó en el tema, le gustó y fue mi cómplice para lograrlo. Al arqueólogo que está oculto en ti.

Doctor Serafín Sánchez Pérez mil gracias por las observaciones y comentarios para este trabajo y la amistad, siempre has visto cosas buenas en mí y has tenido fe en que lograré lo que me proponga. Esa confabulación para poder entender con detalle esta investigación va más allá de lo que esperaba.

Admiro mucho a ambos y les doy las gracias por aguantarme por tanto tiempo y con tantas cosas que acaecieron.

Doctora Mariana Favila Vázquez es un honor que me apoyes, antes fui tu maestra ahora tu eres mi sinodal, significa mucho que me acompañes en esta migración, muchas gracias por el tiempo invertido y tus observaciones.

Al Doctor Osvaldo Franco Ramos y a la Maestra Norma López Castañeda muchas gracias por los comentarios y observaciones, me hicieron ver la diferencia entre disciplinas y lo que daba por hecho desde la arqueología.

Muchas gracias a todos por aceptar ser parte de este proceso y acompañarme.

A mi mamá por estar siempre conmigo y aunque no sea lo suyo me apoya y le llama la atención, para mi papá donde sea que estés.

José Carlos gracias por aguantar tantos momentos de altas y bajas al igual que a Eckart (mi amor) que creció viendo a su mamá lograrlo y la ayudó en todo lo que pudo, espero ser un buen ejemplo.

Para Ana y Carlos que me han acompañado todo este tiempo en el proceso y finalización.

Jannu Lira Alatorre (hermano de corazón) y Nayelli Zaragoza Zúñiga lo logramos, parecía muy lejano y difícil, pero “LO HICIMOS” (cómplices por siempre).

Raúl Cervantes que fuimos a la par en el proceso de titulación y me apoyaste con la toma de fotos al igual que Erika Moranchel revisando el texto y enloqueciendo conmigo.

Alicia de la Torre Maya y Cesar Morales por ayudarme en el área de diseño, Martha López y Edgar Hernández por ser amigos siempre.

A los Profesores Socorro, Teutli, Javier Alán y Villakamel, por ser parte de la familia académica y sobre todo amigos.

A las almas de la Litoteca (que son más), actuales y del pasado, perdón por no mencionar a cada uno, no quiero errar, pero gracias por soportarme con todas mis locuras y acompañarme en este proceso, que fue largo, pero fructífero; al igual que a los amigos que nos van a visitar y nos ayudan con su conocimiento.

Que digo de los principales actores de este lugar “Mineros-Artesanos” y sus familias: Juan Castelán Mata, Sixto Arista y Fam. Pelcastre por permitirme entrar en sus vidas y que nos han mostrado sobre el mundo de la obsidiana y su quehacer.

Contenido

Resumen	3
Capítulo 1. Introducción	5
1.1 Justificación y planteamiento del problema	6
1.2 Objetivo General	7
Objetivos particulares	7
1.3 Hipótesis de trabajo	7
Capítulo 2. Marco teórico	9
2.1 Antecedentes	9
2.2 Marco conceptual	15
Capítulo 3. Metodología	21
3.1 Universo de Estudio	21
3.2 Métodos, técnicas e instrumentos de investigación	24
3.2.1 Análisis de suelo y estratigrafía	24
3.2.2 Análisis dendrocronológico	26
3.2.3 Fechamiento por Carbono 14	30
Capítulo 4. Área de investigación	31
4.1 Marco geográfico y arqueológico	31
4.2 El medio físico y la ocupación humana	37
4.2.1 Sierra de las Navajas	38
4.2.2 Ejido El Nopalillo	42
Capítulo 5. Resultados	46
5.1 Ubicación de sitios	46
5.2 Estratigrafía y suelos	47
Perfil CARSN1.	48
Perfil CARSN2.	51
Perfil CARSN3.	55
Perfil SNPE3.	58
Perfil SNPE4.	60
5.3 Fechamientos ¹⁴ C	62

5.4 Dendrocronología	68
Capítulo 6. Discusión	71
6.1 Interpretación de los contextos arqueológicos con base en estratigrafía, suelos, fechamientos ¹⁴ C y dendrocronología.	71
6.2 Identificación de los indicadores para la interpretación del contexto arqueológico.	75
(1 y 2) Suelo sepultado por la actividad minera y estratigrafía.	75
(3) Fechamiento por ¹⁴ C.....	76
(4) Fechamiento por dendrocronología.	77
Características de los Technosoles.....	78
6.3. Otras consideraciones.	82
Capítulo 7. Conclusiones	86
Bibliografía	89
Anexos.....	93
1. Hojas de descripción e interpretación de los perfiles de suelo	93
Perfil CARSN1	93
Perfil CARSN2	101
Perfil CARSN3	110
Perfil SNPE3.....	114
Perfil SNPE4.....	118
2. Hojas de descripción de campo de los perfiles de suelo.....	123
3. Definición de los calificadores de suelos.....	127

Resumen

La Sierra de las Navajas, situada al este de Pachuca en el estado de Hidalgo, ha sido una fuente primordial de obsidiana en el centro de México desde tiempos prehispánicos hasta nuestros días. La actividad minera ha producido cambios en el paisaje, con una sobreposición de elementos de perturbación de diferente antigüedad.

El objetivo de esta tesis es reconocer las modificaciones al paisaje debidas a la actividad minera en las áreas de extracción de obsidiana en la Sierra de las Navajas, específicamente en la zona del Durazno ubicada al sur-suroeste, desde la época prehispánica hasta nuestros días, con la finalidad de diferenciar los contextos arqueológicos de los de otros momentos históricos.

Se utiliza una perspectiva basada en la geografía ambiental, incluyendo elementos de la geoarqueología y la dendrocronología, para identificar indicadores o evidencias que permitan distinguir las alteraciones causadas en el paisaje por la minería prehispánica de las ocasionadas por la minería moderna.

El análisis partió de la descripción de los suelos y la estratigrafía de depósitos superficiales en las zonas de minas, para generar una cronología de suelos, suelos sepultados y capas de depósitos de desecho de minas de obsidiana. Se tomaron muestras para fechamiento por Carbono-14 en algunos suelos sepultados por desechos de mina. Las edades calibradas caen entre 1200 y 1630 d.C., lo cual indica que el sector estudiado estuvo en explotación minera desde el Postclásico tardío hasta el Colonial temprano. Adicionalmente se colectaron muestras dendrocronológicas de árboles que crecen sobre los depósitos de desechos de las minas para determinar la edad mínima de dichas áreas con base en la edad de los árboles. Los resultados indican que muchos de estos depósitos no son producto de la minería actual, ya que los árboles tienen hasta 133 años de edad.

Se concluye que el Carbono-14 es un método eficiente para determinar la antigüedad de las perturbaciones antrópicas asociadas a la actividad minera. Sin embargo, las edades de los árboles determinadas por medio de la dendrocronología son una manera más rápida y económica para definir la edad de los desechos de la minería y poder diferenciar los modernos (S.XX y S.XXI) de los del Postclásico tardío y Colonia temprana.

Capítulo 1. Introducción

Las alteraciones al paisaje causadas por la minería de la obsidiana en el piedemonte sur-suroeste de Sierra de las Navajas, Hidalgo, presentan una serie de características que permiten determinar, en los contextos¹ mineros de tipo arqueológico, en qué momento se llevó a cabo esta actividad, circunscribiendo el tiempo de la investigación desde la época prehispánica a nuestros días. (Figura.1)



Figura 1. Afectación al paisaje por la minería de la obsidiana en el piedemonte sur de la Sierra de las Navajas, Hidalgo, en el Ejido El Nopalillo. Se observan en primer plano montículos producto de la acumulación de desechos de las minas de obsidiana explotadas desde tiempos prehispánicos hasta la actualidad, en medio de un bosque de pino. Foto Ivonne Schönleber (2007)

La combinación de la perspectiva ofrecida por la geografía ambiental y la arqueología, amalgamadas en la subdisciplina interdisciplinaria denominada geoarqueología, posibilitan el entendimiento de los momentos en que fueron producidas las alteraciones por los seres humanos al paisaje por dicha actividad. Para ello se rescatan las evidencias que no son visibles al ojo del arqueólogo, pero sí al del geógrafo, denominadas indicadores.

¹ El concepto de contexto, “...deriva del verbo latino contextere: entrelazar, entreteter o conectar. En arqueología contexto implica una trama espacio-temporal de cuatro dimensiones susceptible de incluir tanto un medio cultural como medio no-cultural y de aplicarse tanto a un solo artefacto como a toda una constelación de yacimientos...” (Butzer, 1989: 3-12).

El paisaje se enmarca en un espacio y tiempo determinados que pueden ser representados de manera gráfica, esquemática y cartográfica (en el entendido de que son herramientas que proceden de la geografía), para su contrastación con la arqueología.

En la presente tesis se aplican diferentes técnicas y métodos tomados de la geografía física, arqueología y de la dendrocronología para la obtención e interpretación de indicadores de edad y preservación de los contextos arqueológicos, logrando un conocimiento más profundo de la región de Sierra de las Navajas, Hgo., apoyando a la investigación que se viene realizando desde 1999 dentro del *Laboratorio de Análisis Lítico y Experimentación. Litoteca de la Escuela Nacional de Antropología e Historia*, y que se ha enriquecido por el manejo de diferentes posturas multidisciplinarias.

1.1 Justificación y planteamiento del problema

A raíz de los trabajos de tipo arqueológico y etnográfico efectuados en el área de Sierra de las Navajas en el estado de Hidalgo desde 1999, como parte del *Laboratorio de Análisis Lítico y Experimentación. Litoteca, de la Escuela Nacional de Antropología e Historia*, se generó un corpus de conocimiento que cristalizó en la tesis de licenciatura denominada *La Minería de la Obsidiana Actual y Prehispánica en la Sierra de las Navajas, Hidalgo. Un Enfoque Arqueológico, Etnográfico y Geológico*, presentada por Ivonne Schönleber Riusech y Jannu Lira Alatorre (2007). Quedó la interrogante sobre cómo se pueden diferenciar los contextos de minería de tipo arqueológico contra los actuales y la alteración causada por la actividad minera de la obsidiana en el paisaje, siendo que el sistema extractivo no se ha modificado a lo largo del tiempo, excepto por los materiales usados en las herramientas de extracción. En otras palabras, hacía falta determinar indicadores o evidencias que nos ayuden a diferenciar contextos de minería de tipo arqueológico de los actuales.

Este problema puede ser analizado y resuelto desde la perspectiva de la geografía ambiental, incluyendo elementos de la geoarqueología y la dendrocronología, en el sentido de que estas disciplinas comparten un interés que se basa en el entendimiento de la acción del ser humano sobre el paisaje, ya que el objeto de estudio, tanto de la geografía como de la arqueología, es la comprensión de cómo este influye y transforma todo lo que lo rodea (García Romero y Muñoz Jiménez, 2002).

Partiendo de este punto, la idea es que las disciplinas científicas arriba mencionadas, nos proporcionen herramientas para generar indicadores o evidencias que permitan distinguir alteraciones de diferente edad causadas en el ambiente por la minería.

1.2 Objetivo General

Reconocer las modificaciones al paisaje debidas a la actividad minera de la obsidiana en las áreas de extracción de la Sierra de las Navajas, Hgo., desde la época prehispánica hasta nuestros días, para la diferenciación de los contextos arqueológicos contra los modernos.

Objetivos particulares

- Caracterizar la alteración del paisaje por la actividad minera de la obsidiana.
- Definir los indicadores para la interpretación y diferenciación de los contextos arqueológicos y modernos de la minería, por medio de: (1) análisis del suelo (2) estratigrafía, (3) fechamiento de depósitos de la actividad minera por radiocarbono, y (4) fechamientos de depósitos de la actividad minera por dendrocronología.

1.3 Hipótesis de trabajo

La extracción de la obsidiana, al ser una actividad que se realiza desde la época prehispánica hasta nuestros días, ha generado alteraciones al paisaje

que modifican constantemente el contexto arqueológico minero. Reconociendo dichas alteraciones al contexto, se podrá identificar indicadores para reconocer y diferenciar la minería prehispánica de la moderna, generándose una base para investigar los diferentes momentos extractivos del yacimiento de Sierra de las Navajas.

Capítulo 2. Marco teórico

2.1 Antecedentes

Desde tiempos inmemoriales se ha explotado la zona de Sierra de las Navajas para la extracción de la obsidiana, la cual ha sido la materia prima lítica más utilizada en el mundo prehispánico. Pastrana (1998) apunta que existe evidencia clara de la explotación de este sitio por teotihuacanos, toltecas y aztecas hasta la Colonia; aunque Niederberger (1976) en su trabajo de Zohapilco nos dice que la obsidiana verde, originaria de Sierra de las Navajas, aparece a mediados del formativo medio (600 – 400 a.C.) en la Cuenca de México, teniendo un uso intensivo y relegando a un plano menor el uso de la obsidiana gris y negra de otros sitios (Schönleber y Lira, 2007).

Uno de los primeros investigadores que estudian la zona de Sierra de las Navajas es Alexander Von Humboldt (2004: 324), quien menciona en su ensayo sobre la Nueva España la ubicación y denominación de este yacimiento:

“Como quiera que sea, ello es cierto que la falta de hierro se advertía menos entre las naciones que sabían ligar otros metales de un modo tan útil. Los instrumentos cortantes de los mexicanos eran unos de cobre y otros de obsidiana (iztli). Esta última substancia se beneficiaba en grande, según aparece, por el sin número de tiros abiertos en la montaña de los Cuchillos, cerca del pueblo indio de Atotonilco el Grande”,²

En cuanto a un estudio a nivel geológico contamos con la descripción de Ordóñez (1900 y 1901), quien menciona entre muchas cosas que la Sierra de Pachuca en general presenta una arista sinuosa y elevada, entre la que destaca al sureste Real del Monte, con su elevación principal denominada Cerro de los Ingleses con 3,500

² Entendemos montaña de los Cuchillos como Sierra de las Navajas

msnm; y también menciona al Cerro de las Navajas con una altura de 3,212 msnm y el Zembo en el norte (Figura. 2).

La zona de mayor abundancia de obsidiana se localiza en el área occidental de Peña del Jacal y en la barranca denominada el Milagro, a poca distancia del Cerro de las Navajas (Ordóñez, 1900), donde se encuentra la obsidiana en grandes bloques envueltos en una toba amarilla de consistencia regular; además Ordóñez retoma a Humboldt, quien se refiere a la región sureste de Pachuca como el lugar en donde abundan las rhyolitas litoides y las obsidianas. Esta es nuestra zona de trabajo.



Figura 2. Vista de la zona de minas de obsidiana El Zembo, en el sector norte de Sierra de las Navajas. Foto Ivonne Schönleber (febrero del 2006).

Cruz Antillón (1994) realiza un listado de los yacimientos con evidencia arqueológica más importantes para Mesoamérica y marca 25 yacimientos, algunos de los cuales forman parte del yacimiento conocido como Sierra de las Navajas. Entre los sitios que menciona el autor se encuentran: Sierra de las Navajas, El Durazno, Cerro de los Pelados, Barranca de Iztla (Barranca del Milagro), Peña del Águila, Ocosingo, Cerro Piñal, y La Esperanza. En este trabajo describe las técnicas de explotación minera, que se determinan por la presencia de los materiales cerámicos. A este respecto Cruz Antillón (1994), propone que hacia la zona de Cruz del Milagro la explotación fue por culturas distintas a la Azteca, mientras que el área de El Durazno fue explotada por este grupo. Así se considera que las primeras minas se localizan

en donde la obsidiana está a flor de tierra y según fue aumentando la demanda se tuvieron que adecuar nuevas formas de explotación, llevando a estos grupos a los límites topográficos (sugeridos por el autor) de este yacimiento, implementando minería subterránea (Schönleber y Lira 2007) (Figura.3).

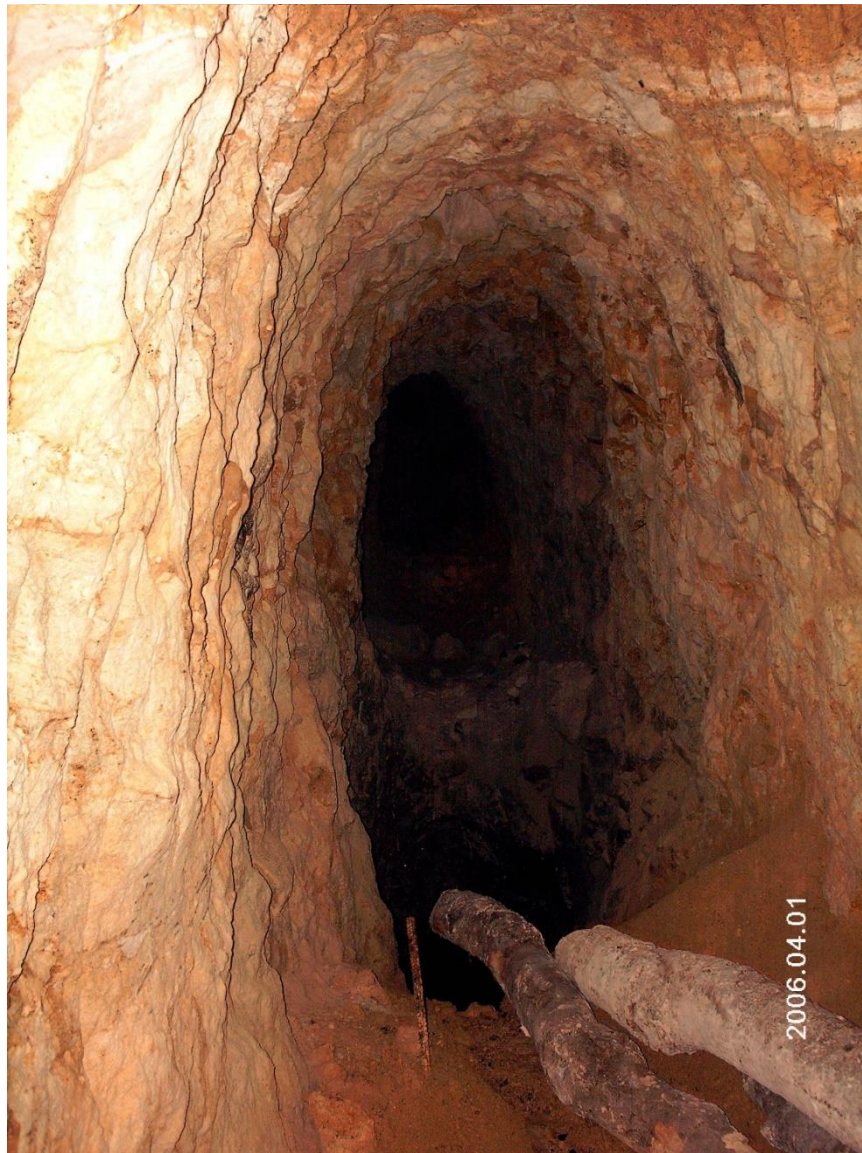


Figura 3. Mina con extracción subterránea explotada por Sixto Arista, área de El Durazno en el Ejido El Nopalillo. Foto Ivonne Schönleber (abril del 2006).

Otro de los investigadores que ha trabajado el área es Cobean (2002), quien apunta que:

“Ésta fue la fuente de obsidiana más importante del norte de Mesoamérica en tiempos precolombinos y ha sido un atractivo arqueológico desde hace al menos 200 años. ...el flujo es de color verde brillante y parece ser un color único entre las obsidias del centro de México, que generalmente son grises y negras... ...predomina la obsidiana verde translúcida y uniforme, pero existen variedades burdas de un tipo opaco con tintes dorados en casi todos los complejos mineros que se visitaron...” (Cobean, 2002: 42).

El objetivo central de las investigaciones de Cobean (2002) dentro del proyecto de la Universidad de Missouri fue “definir y diferenciar con mayor precisión los principales yacimientos mesoamericanos de obsidiana mediante el análisis de activación de neutrones (NAA)...”.

Pastrana (1998) estudió el suministro de obsidiana a partir del proceso de explotación del yacimiento, y plantea que ésta fue una materia prima básica por su uso diversificado en procesos productivos, actividades rituales y militares. Analizó la morfología de las minas y la organización para ser explotadas; menciona que la minería que se dio y se da en la Sierra de las Navajas ha ido variando según el grado de complejidad social y número de individuos que participan de ellas. Para la época formativa se plantea explotación a cielo abierto e “in situ”, y para el Clásico y Postclásico se da el uso de tiros y túneles. Lo que sí es constante en todos los momentos, de acuerdo con Pastrana, es la existencia de talleres a un lado de las minas, además del uso del desecho de talla y extracción para rellenar las mismas áreas trabajadas.

Hay otros estudios como los de Argote-Espino et al. (2012) donde a través de la técnica ICP-MS detectan procedencia de diferentes obsidias (yacimientos) más en específico Otumba, Edo. Mex. y Sierra de las Navajas, Hgo; que la composición es predominantemente riolítica y que hay dos eventos eruptivos. Uno de ellos fluyó

hacia el oeste y sur, denominado Las Minas, presenta obsidias verdes y doradas y corresponde a la zona del Durazno, Oyamental, Cruz del Milagro y el Zembo (Argote-Espino et al., 2012).

En cuanto a otras investigaciones en la región de Pachuca, tenemos las realizadas en zonas aledañas al área de estudio, como Huasca, sobre temas como los procesos de erosión causados por fenómenos naturales como la lluvia y la escorrentía (Palacio-Prieto y Vázquez Selem, 1990) y su relación con la deforestación de la región. En la misma área de Huasca se ha estudiado la relación entre propiedades de suelo y erosión, así como la antigüedad de los procesos de erosión acelerada de suelos (Vázquez Selem y Zink, 1994a, 1994b).

También está el trabajo realizado por Lighthart (2004) en toda la Sierra de las Navajas donde lleva a cabo un reconocimiento geológico y cartográfico, obteniendo y analizando un total de 220 muestras a las que les realizó XRF por dispersión de energía y de longitud de onda para determinar elementos traza y los elementos principales de la composición de las obsidias, 50 de estas muestras se trabajaron por activación neutrónica. Pudo determinar que la obsidiana es peralcalina, y que hay cuatro flujos que contiene este material los cuales son “El Guajolote” al suroeste, “Las Minas” hacia el oeste y sur, “Ixtla” al centro y sur, y “El Horcón” hacia el norte (Lighthart, 2004).

Nuestra área de estudio está en “Las Minas”, que fue la más explotada por su color verde y su fractura concoidal ideal para ser trabajada. Esta zona está cubierta por un bosque denso de pino que cubre a las minas modernas y antiguas, así como, sus escombros lo que dificulta su localización (Lighthart, 2004).

Este estudio, dice la autora, puede ayudar a distinguir de dónde se obtuvo el material en general, pero que de forma local es muy difícil por la poca variación que hay de la obsidiana a lo largo de muchos kilómetros, en específico para el flujo de “Las Minas”.

Por último, en el trabajo de Schönleber y Lira (2007) se conforma un modelo sobre la minería de la obsidiana, con una caracterización y delimitación de la estructura volcánica de Sierra de las Navajas y los indicadores arqueológicos para el reconocimiento de los procesos mineros.

Estudios no relacionados directamente con el problema aquí planteado, pero que abarcan en su concepción parte de esta investigación es el de Cruz-Pérez et al. (2021) en el que plantea el reconocimiento de la obsidiana verde del Geoparque comarca minera por poseer un valor arqueológico, cultural y geológico, ya que tiene un color único verde-dorado y fue explotado desde la antigüedad. Dice que es el depósito enterrado más grande y su historia minera es muy larga. Así mismo afirma que el reconocimiento a nivel mundial le daría un valor geopatrimonial, de sentido de pertenencia a la comunidad local así como con una regularización de la extracción de la obsidiana que sea compatible con la investigación y turismo (Cruz-Pérez, et al. 2021).

También hay trabajos que, aunque no vinculados al área de investigación directamente, han abarcado la temática del medio ambiente, la arqueología, la geomorfología, y la geoarqueología, en particular la alteración del paisaje por la acción antrópica en el centro de México desde tiempos prehispánicos, como son los de Spence y Parsons (1967) y Geyne (1963) que proporcionan técnicas y métodos de análisis que se aplican en diferentes investigaciones.

En cuanto a la dendrocronología hay un trabajo en el que se fechó un contexto arqueológico con una cronología flotante, esto para la zona arqueológica de Casas Grandes, Chihuahua, en el que el investigador logró obtener una cuenta cronológica de 485 años para este sitio. Es solo un ejemplo de cómo esta técnica sirve para obtener fechamientos relativos que funcionen como indicadores en la interpretación de los contextos arqueológicos (Villanueva et al., 2004).

Por eso para poder entender la formación de los contextos arqueológicos mineros hay que tener claro que hay dos tipos de procesos que intervienen, que son los naturales y los sociales.

2.2 Marco conceptual

Así como la geografía pretende entender la unión de todas las partes que se ubican en el paisaje y como herramienta de análisis territorial (Gómez, 1980, García Romero y Muñoz Jiménez, 2002), la arqueología también aspira a comprender los elementos que conforman al fenómeno de estudio, en el cual es determinante la existencia del elemento social y natural. De acuerdo con Popper (1973), para llegar a un conocimiento científico debemos de ser selectivos comprendiendo los componentes del fenómeno a estudiar, podremos aspirar a un conocimiento de tipo totalizante.

En este caso el estudio se enfoca en la identificación de los indicadores de la actividad minera de la obsidiana para el pasado y que es responsable de la alteración provocada por el hombre al paisaje. Para abordar este problema se recurrirá a diferentes áreas del estudio del suelo y la dendrocronología además de algunos conceptos retomados de la arqueología y geoarqueología, para generar un conocimiento de tipo integral. Hemos de considerar que el medio como tal, es un sistema dialéctico abierto, que interactúa constantemente con el factor antrópico, que deja su evidencia en todos los contextos y por ende en el arqueológico. Éstos, como resultado del constante movimiento, se ven transformados y reutilizados, con lo cual, en palabras de Schiffer (1972), pasamos de los contextos sistémicos a los arqueológicos y nuevamente a los sistémicos.

Partiendo de la geografía ambiental, que trata de entender las relaciones espaciales entre medio y sociedad, vemos como universo de estudio el problema de la alteración antrópica del paisaje por la minería de la obsidiana, de la cual quedan evidencias (indicadores). En un sistema geoambiental (García Romero y Muñoz Jiménez, 2002) como éste, el hombre al apropiarse de los recursos naturales que le brinda el medio provoca cambios que van desde lo químico a lo biológico, pasando por lo físico, con redundancia en la esfera productiva y reproductiva de la sociedad.

Esto se ve plasmando en el paisaje y la infinidad de contextos arqueológicos que se crean, transforman o se reutilizan y los factores a los que son sometidos en su devenir histórico (Stein, 2001), entendiendo paisaje como la síntesis de todos los elementos geográficos que conforman a nuestro fenómeno de estudio (García Romero y Muñoz Jiménez, 2002; Gómez, 1980).

Hay que tener en cuenta que la geomorfología es el estudio de los accidentes geográficos y la evolución de la superficie terrestre, y que los suelos están fuertemente ligados al marco y dinámica geomorfológica sobre los que se desarrollan. Tal vínculo geoformas-suelos se entenderá como geomorfología del suelo (Schaetzl y Anderson, 2005), que Córdova (2018) en su libro *Geoarchaeology. The Human-Environmental Approach* señala como una de las tres tradiciones en geoarqueología.

Por lo que se retoma a Wysocki et al. (2000, en Schaetzl y Anderson, 2005) quien define a la geomorfología como el estudio del origen, distribución, evolución de los suelos, paisaje, depósitos superficiales y los procesos que intervienen en ellos. Estas dos definiciones de geomorfología son las más adecuadas para el estudio que se realiza en la zona de Sierra de las Navajas para la caracterización de los indicadores que ayudarán a identificar la diferencia entre la minería moderna y prehispánica por las alteraciones causadas por la minería.

La disciplina de la geografía del suelo data de los años 1930 y ha sido desarrollada entre geólogos, geógrafos y edafólogos en base a las relaciones del suelo y los accidentes geográficos.

En particular la geomorfología impactó en las teorías de formación de los suelos e influyó en la clasificación de los primeros como indicadores de cambio del paisaje, (Cooke y Doornkamp, 1978; Goudie, 2000).

La geomorfología del suelo es una ciencia de campo, por lo cual es primordial la obtención de muestras para el análisis y comprensión del área a trabajar. Además, es una disciplina integradora (Schaetzl y Anderson, 2005).

Para la reconstrucción de los suelos, paleosuelos y paleoambientes la metáfora del paisaje como un palimpsesto es muy útil, ya que un paisaje puede consistir de huellas superpuestas de diversa naturaleza y edad, que se pueden recuperar e interpretar para el trabajo que se está realizando a través de la geomorfología de los suelos.

Así entonces el entendimiento de los palimpsestos ayudará a comprender los procesos de formación del suelo, que será otro de los indicadores de las alteraciones producidas por la minería de la obsidiana; ya que la información sobre las condiciones asociadas a los períodos del pasado geológico ayudan a comprender los procesos mineros antiguos.

También como evidencias de los cambios que produjo la minería se identificarán los suelos sepultados, los cuales proporcionarán información sobre cuándo se realizó esta actividad, utilizando la técnica de fechamiento de ^{14}C como otro de los indicadores.

Los suelos sepultados o paleosuelos son usados para obtener información ambiental sobre el pasado a través de la identificación de sus rasgos genéticos. Un paleosuelo es un suelo que se formó sobre un paisaje del pasado, bajo condiciones ambientales que pueden o no ser similares a las actuales. Se llegan a usar como marcadores estratigráficos, aunque hay que ser cuidadosos en su interpretación.

De acuerdo con Survey Staff (1999, en Schaetzl y Anderson, 2005) un suelo enterrado es aquel que fue cubierto por material superficial nuevo, pedogenéticamente inalterado y generalmente grueso, como es el caso de las minas de obsidiana donde éste suelo está cubierto por otras capas de material con artefactos.

Se entiende al artefacto como un material diagnóstico que “tiene sustancialmente las mismas propiedades químicas y mineralógicas que cuando fueron manufacturadas, modificadas o excavadas. Son característicos el desecho de la minería” (IUSS Working Group WRB, 2015:81). En las descripciones que se realizan

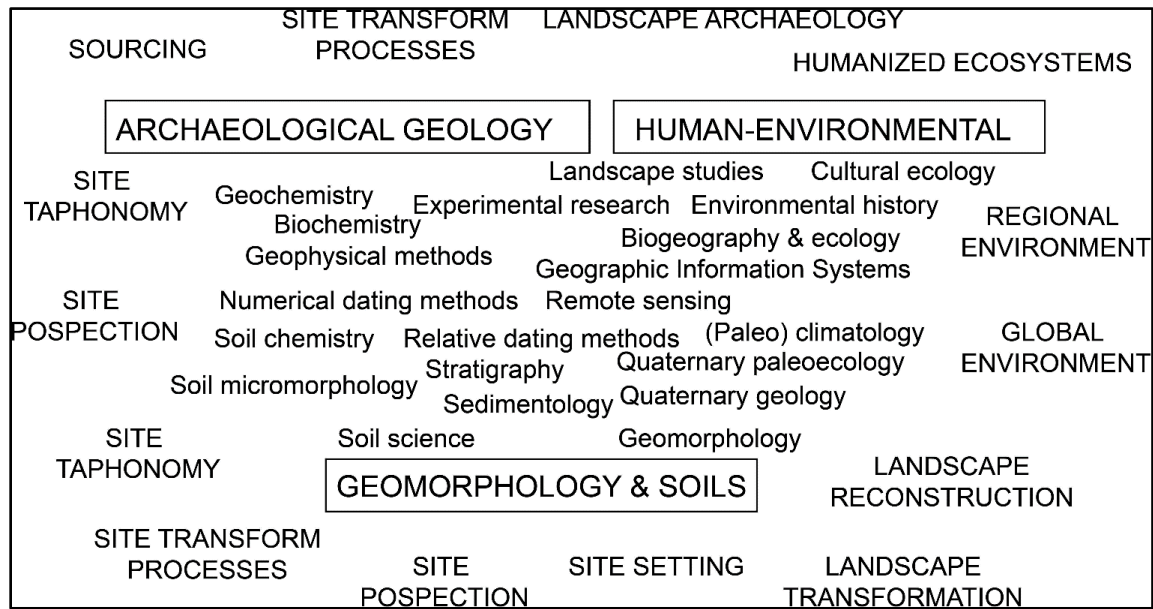
de los perfiles para este estudio es todo material generado por la minería de la obsidiana.

Todo lo anterior queda englobado en la geoarqueología, que se adapta a la temática de la tesis y que en los últimos años ha trascendido a contenidos de carácter social y ambiental, e incluye campos de la geografía y la biología. Esta disciplina es aceptada más comúnmente como una rama de la arqueología ambiental, aunque muchos de los geoarqueólogos no se consideran arqueólogos ambientalistas.

Estudios geoarqueológicos (Stein, 2001; Butzer, 1989) y edáficos (Vázquez Selem y Zinck, 1994 a y b) se han utilizado para la identificación de los sedimentos removidos por la explotación de la obsidiana como formadores y alteradores del contexto arqueológico.

La geoarqueología pretende cerrar la brecha entre la arqueología y las geociencias, movimiento que se inició con la nueva arqueología. Un geoarqueólogo analiza los suelos y la geomorfología y resuelve cuestiones relacionadas con el abastecimiento de lítica y arcilla para los grupos de la antigüedad (Córdova, 2018).

Los geoarqueólogos están más unidos a la tradición humano-ambiental, y abarcan aspectos teóricos y metodológicos de disciplinas afines que son consideradas tradiciones dentro de un gran todo que es la geoarqueología. Córdova (2018) sintetiza en un cuadro las tres tradiciones que nutren esta disciplina (Cuadro1).



Cuadro 1. Las tres tradiciones científicas más importantes en geoarqueología. Tomado de Córdova (2018).

Los tres enfoques o tradiciones geoarqueológicas son:

- Geología arqueológica (el aspecto geoquímico)
- Geomorfología y suelos (el aspecto de la paleosuperficie), después designada geomorfología-suelos
- Enfoque humano-ambiental (aspectos ecológicos y culturales)

No son enfoques separados, son investigaciones sin límites definidos, con campos de especialización particulares de diferentes problemas en la geoarqueología. Las tradiciones pueden ser usadas de manera independiente, todas o un par. La geoarqueología puede ser considerada un puente entre la arqueología, geología, geografía y geomorfología, Córdova (2018).

Como punto final se utiliza la dendrocronología que es el conocimiento o estudio de la edad de los árboles y de las condiciones ambientales en las que éstos crecen. Es una ciencia interpretativa del registro ambiental (Villanueva et al., 2004) y que cierra nuestra investigación, siendo otro indicador para demarcar las áreas alteradas por

la minería y así poder distinguir entre las diferentes épocas en que se realizó esta actividad.

Capítulo 3. Metodología

3.1 Universo de Estudio

El ejido de El Nopalillo y la Sierra de las Navajas (SN) se localizan en la provincia del Eje Neovolcánico que abarca el Sur del estado de Hidalgo y está conformada principalmente de rocas volcánicas terciarias y cuaternarias; específicamente en la Subprovincia Llanuras y Sierras de Querétaro e Hidalgo, INEGI (1992). En concreto las coordenadas extremas que delimitan el área son: E543000/N2218000, E558000 y N2229500, INEGI (1998), (Figura.4 Y 5).



Figura 4. Mapa de ubicación del estado de Hidalgo. Tomado de mr.travelmexico.com/692-estado-de-hidalgo (2023)

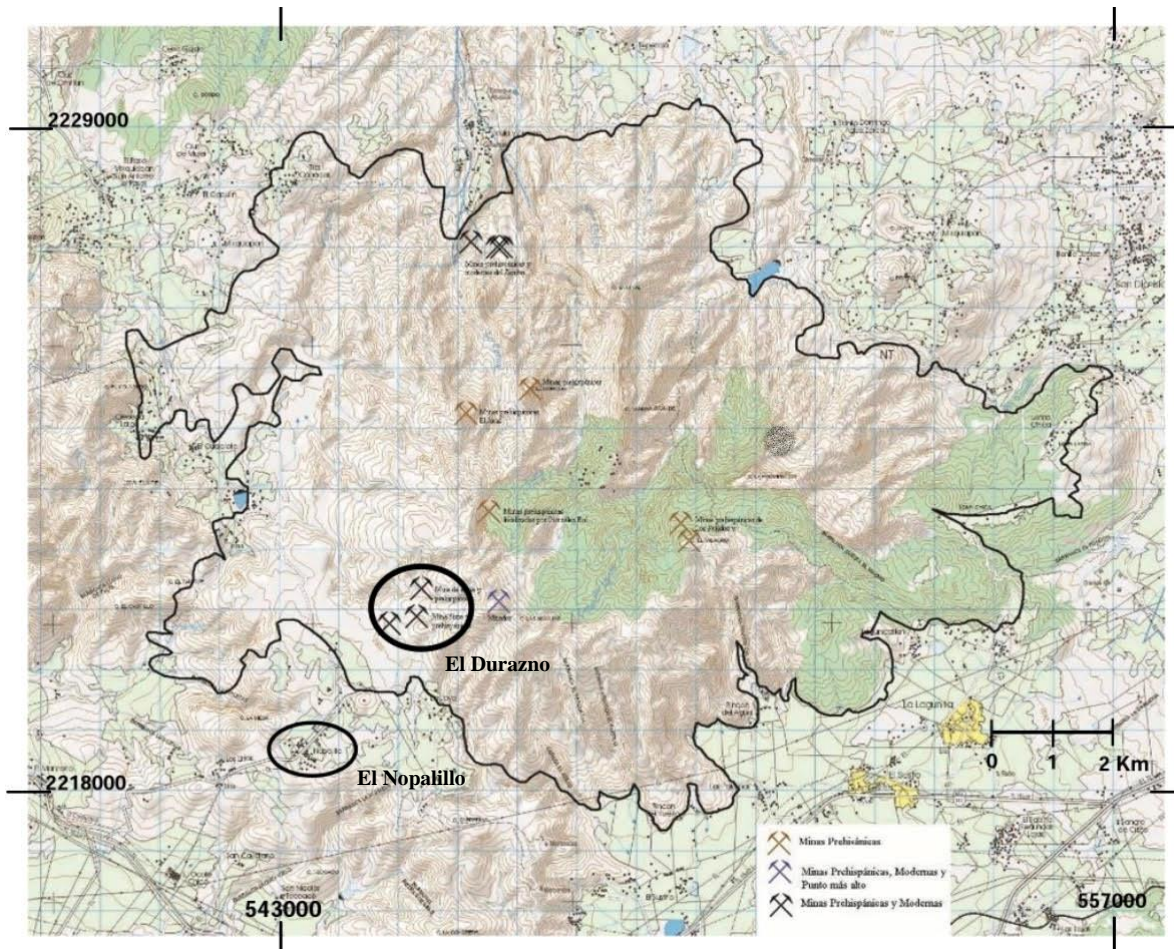


Figura 5. Mapa de ubicación y delimitación de Sierra de las Navajas, El Durazno y ejido El Nopalillo, Hidalgo. Basado en Schönleber y Lira (2007).

Esta imagen se tomó de Schönleber y Lira (2007) y está elaborada sobre la carta topográfica del INEGI Tulancingo 1:50,000, la retícula en azul es de 1,000 mts. entre cada división, correspondiente a las coordenadas UTM.

La zona denominada como “El Durazno” (marcada con la elipse superior) así reconocida por algunos investigadores, forma parte de la Sierra de las Navajas y el ejido El Nopalillo (Elipse inferior), que es el que usufructúa el territorio para la minería de la obsidiana y silvicultura. Ahí se encuentran los sitios de minas de obsidiana modernas y antiguas, en donde se describieron los perfiles de suelo que fueron analizados siguiendo el Manual para la descripción y evaluación ecológica

de suelos en campo de Siebe et al. (2017) y se colectaron muestras para análisis dendrocronológicos.

Se describieron 4 perfiles de suelo dentro de la zona de minas de obsidiana, denominados CARSN1, CARSN2, CARSN3 y SNPE3, que se localizan en la parte suroeste de la estructura volcánica de la SN. Además, se describió un perfil (SNPE4) situado fuera del área perturbada por la actividad minera, en el camino que lleva al ejido de La Joya, para poder entender el desarrollo natural del suelo y compararlo con los perfiles afectados por la minería (Figura. 6, y para coordenadas exactas de los perfiles ver Anexo 1).

En algunos de los perfiles (CARSN1, CARSN2, CARSN3) se tomaron restos de carbón para fechamiento con la técnica de ^{14}C . Además, se colectaron muestras para análisis dendrocronológicos a individuos que estaban encima de las minas o cercanas a ellas para poder establecer la cronología del desarrollo de los suelos y el uso de estos lugares por la actividad minera. En algunos casos se utilizaron tocones para obtener el dato de los anillos de crecimiento, si es que no existía algún árbol vivo.

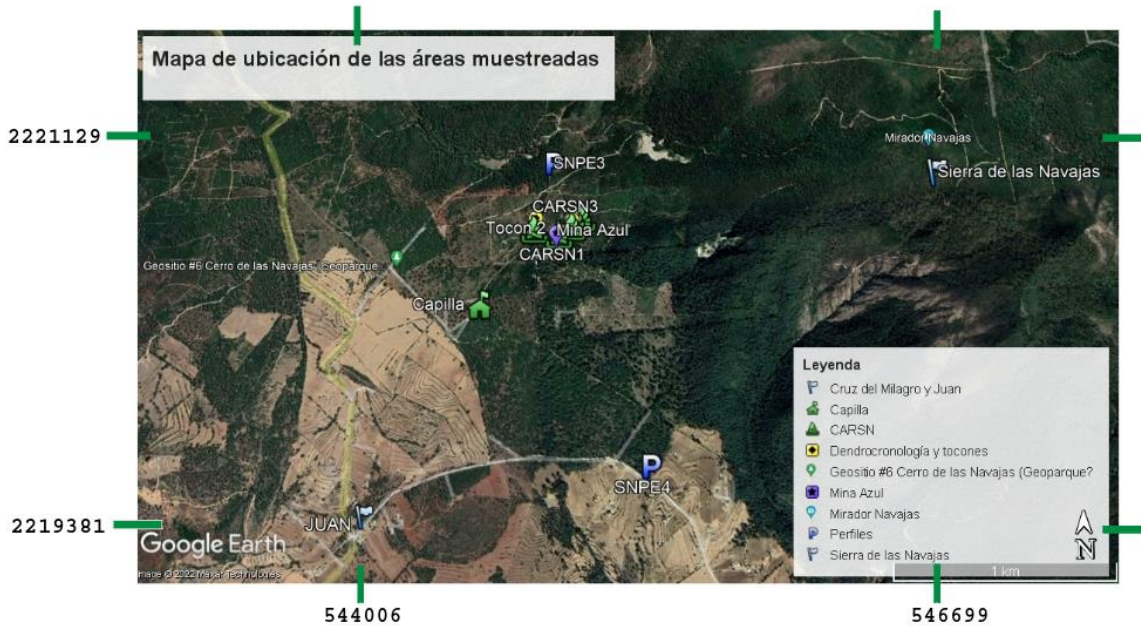


Figura 6. Imagen del sector suroeste de la Sierra de las Navajas, área de El Durazno, con la ubicación de algunos de los perfiles de suelo descritos y puntos de muestreo dendrocronológico. (Imagen tomada Google Earth noviembre de 2022)

3.2 Métodos, técnicas e instrumentos de investigación

A través de los diferentes recursos proporcionados por la geografía, geoarqueología, estratigrafía, dendrocronología, y Carbono 14, se ubican, delimitan, datan y registran áreas afectadas por actividades mineras (5 ejemplos: CARSN1,2,3, SNPE3,4). El conocimiento básico resultante permite generar los indicadores que ayuden en la interpretación y diferenciación de los contextos mineros arqueológicos y modernos.

3.2.1 Análisis de suelo y estratigrafía

Previamente al trabajo de campo se realizó una revisión y análisis de la cartografía del INEGI e imágenes aéreas del área de alteración por la explotación minera de la Sierra de las Navajas, para observar las transformaciones del paisaje por causas antrópicas.

Se describieron perfiles de suelo y su estratigrafía (CARSN 1, CARSN2, SNPE3 y SNPE4) en campo y se colectaron muestras para algunos análisis de laboratorio (ver Anexos 1 y 2). También se realizó la determinación de textura, pedregosidad, color en seco y húmedo, pH (CaCl), CaCO₃, estructura (tipo, tamaño y grado), estabilidad de agregados, densidad aparente (g/cm³), densidad de raíces, límite entre horizontes, prueba de Al activo, y designación del horizonte descrito.

Para todo lo anterior se siguieron los lineamientos del Manual de descripción de suelos en campo de Siebe et al. (2017) y de Sánchez Pérez Serafín. (2005), incluyendo el uso de una hoja de descripción (ver Cuadro 2; y Anexo: Hojas de descripción de perfil).

- 53 -

Localidad																			
levantamiento en campo	Fecha	UTMhor	Mapa No	clima			uso del suelo/vegetación			forma del terreno		pasoaje							
	autor	UTMver	ms/n	epoca seca	°C	°C				indicación		material parental							
	estado del tiempo		prec. (mm)	frecuencia y duración de periodos húmedos						evidencia de erosión									
				F	D	DAC													
	prof [cm]	textura	pedras [Vol%]	color [húmedo]	pH	sales o C.E. 1-2.5 [mS/cm]	m.o [%]	CaCO ₃ [%]	humedad [pF]	estructura tipo, tamaño, grado	estab. agreg.	poros abundancia, tamaño, forma, distribución		dens. apar.	dens. raíces	límite	horizonte		
	prof. de desarrollo			cm	princ. espacio radicular de			a	cm	clasificación del suelo:				fase:					
prof. max. de raíces			cm	nivel piezométrico actual				nivel piezométrico medio:				tipo de humus							
evaluación ecológica	espesor [dm]	penetrabilidad de raíces	VPT Vol.%	CA Vol.%	dCC espacio rad. efec. Vol.%	CC hasta 1 m Vol.%	Kf cm/d	meq/kg	CIC meq/kg	bases intercambio meq/kg		Humus kg/m ²	Nt kg/m ²	Nd g/m ²					
	prof. fisiológica evaluación espacio radicular efec.			cm	• dCC: evaluac.:			• CC: evaluac.:			drenaje natural:		• BI: evaluac.:	• Humus:	• Nt: evaluac.:				
				dm				erodabilidad (Ah): K. eval.:											

Cuadro 2. Muestra de hoja de descripción del perfil. Tomado de Siebe et al. (2017).

3.2.2 Análisis dendrocronológico

La dendrocronología es una disciplina científica que permite datar los anillos de crecimiento anual de los árboles, extraer, separar e interpretar la información de los diferentes factores que han influido en el crecimiento del individuo muestreado Gutiérrez (2009).

Para los análisis dendrocronológicos se obtuvieron 5 muestras de árboles en campo utilizando un taladro dendrocronológico *Pressler* Villanueva Díaz et al., (2009); a éstas se les realizó un conteo “in situ” que se refinó posteriormente en el laboratorio (Figura. 7).

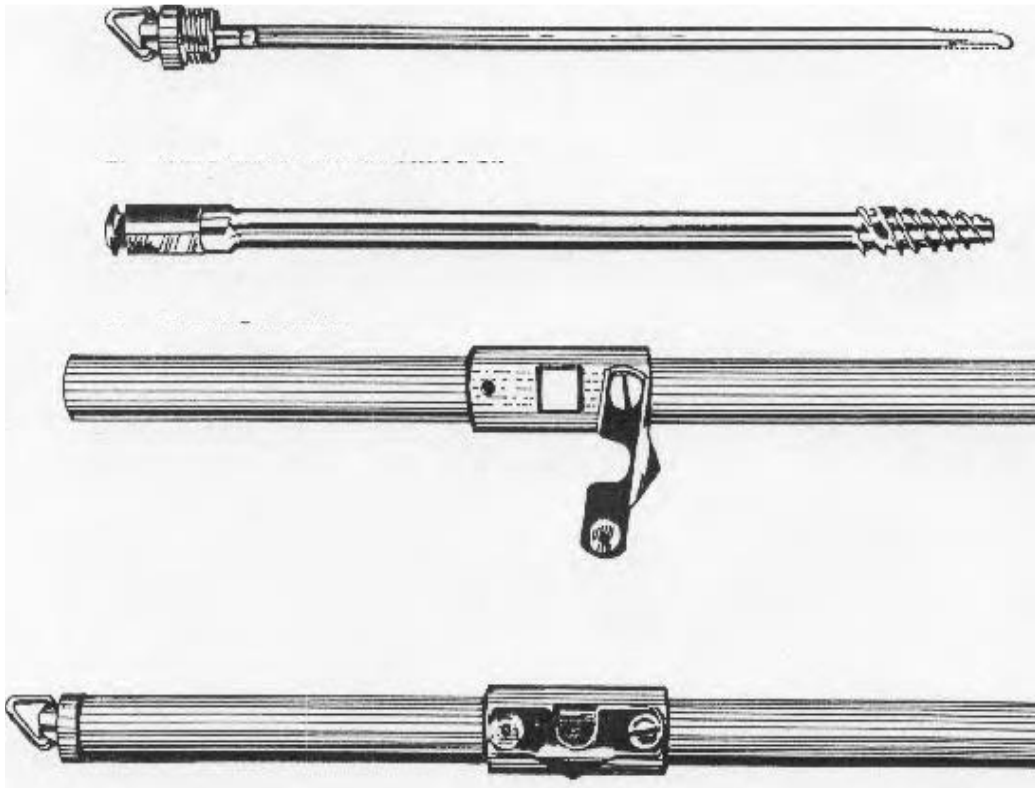


Figura 7. Partes del taladro de *Pressler*. Tomado de Villanueva (2004).

Así las muestras se tomaron de individuos de árboles de pino que estuvieran presentes por encima de los perfiles analizados o cercanos a éstos (Figura.8). También se analizaron algunos tocones de árboles ya cortados (4) y se hizo un registro fotográfico de ambos casos.



Figura 8. Muestreo dendrocronológico con taladro *Pressler*. Foto Jannu Lira Alatorre (2009)

Las muestras obtenidas se guardaron en popotes plásticos para su traslado y cuidado, anotando en ellos los datos del número de espécimen, la fecha de

muestreo, el tipo de árbol y algún otro detalle que se quisiera resaltar. Se obtuvieron con GPS y registraron en libreta de campo las coordenadas UTM de cada árbol muestreado, la fecha, observaciones sobre su ubicación en el área de estudio y fotos de registro, (Ver Tabla 4).

Posteriormente las muestras se montaron sobre una madera acanalada y se fijaron con pegamento blanco (Figura. 9). Enseguida se pulieron con lijas progresivamente más finas, para que se puedan observar con más claridad los anillos. Dicha preparación es necesaria para el conteo de anillos en gabinete con la ayuda de un microscopio estereoscópico con estereozoom, marca AmScope.



Figura 9. Muestra de taladro dendrocronológico montada en una base de madera. Fotografía de Raúl M. Cervantes A. (marzo 2022).

Al conteo de anillos hecho en laboratorio (1 año por cada anillo) se le añadieron 5 años, para considerar el tiempo aproximado que tarda un árbol en alcanzar la altura

de muestreo, alrededor de 1.30 m (Comunicación verbal, Dr. Vázquez Selem Lorenzo 2022).

La cuenta de anillos en tocones (Figura. 10) se realizó directamente en campo, en individuos que se localizaban a un lado de las minas que fueron elegidas para la investigación; éstas solo se limpiaron con una brocha para tener una vista más clara, se realizó el conteo en tres ocasiones por dos personas para tener mayor certeza.

La información sobre la edad de cada árbol se relacionó con la información obtenida en campo de los perfiles de suelo y la estratigrafía, además de los fechamientos ^{14}C , para obtener una estimación sobre la edad máxima y mínima de las actividades mineras en ese punto específico.



Figura 10. Tocón de árbol de pino (ver Tabla 3 y 4) que creció sobre el escombro de mina observado en el perfil CARSN1. Fotografía de Ivonne Schönleber Riusech (mayo 2010).

3.2.3 Fechamiento por Carbono 14

Otra técnica que se utilizó para determinar los momentos en que se llevó a cabo la actividad minera fue el fechamiento por ^{14}C . Las plantas y los animales asimilan el Carbono-14 a partir del dióxido de carbono durante toda su vida. Cuando éstos mueren, se deja de intercambiar carbono con la biósfera y el contenido de este empieza a disminuir (Beta Analytic. <https://www.radiocarbon.com/> 2022).

La datación por radiocarbono, que es otra forma en que se le llama, es básicamente un método diseñado para medir la radioactividad residual.

La arqueología utiliza este sistema de fechamiento para probar o refutar teorías; con los años, también ha encontrado aplicaciones en geología, geofísica, paleo-climatología, entre algunas (Beta Analytic. <https://www.radiocarbon.com/> 2022).

Tres muestras de carbón procedentes de horizontes de suelo Ah sepultados fueron tomadas en campo, colocándolas en una bolsa de plástico con la ayuda de una cucharilla de metal bellota #5, para no contaminarla con las manos. Se registró la posición estratigráfica de la muestra (tipo de horizonte y profundidad en el perfil). Para el análisis se enviaron las muestras al Laboratorio de Radiocarbono de la Universidad de Arizona, y se obtuvieron 3 fechas.

Posteriormente cada fecha fue calibrada con el programa CALIB versión 7.0.4 Stuiver y Reimer, (1993) y la base de datos de calibración de Reimer et al. (2013). Esta calibración permite traducir los resultados de laboratorio, expresados en años radiocarbono antes del presente (+/- el error), en años calendáricos. Cabe mencionar que el resultado de la calibración no es un año preciso sino un rango de fechas.

Ya teniendo los resultados de las diferentes técnicas y disciplinas utilizadas, se pasó al análisis e interpretación de éstos.

Capítulo 4. Área de investigación

4.1 Marco geográfico y arqueológico

En el estado de Hidalgo se ubica lo que se denomina Sierra de las Navajas, sitio del yacimiento de obsidiana más explotado desde la antigüedad en el centro de México, no sólo en la etapa prehispánica, sino también por los cazadores recolectores, hasta la actualidad (Schönleber y Lira, 2007).

En la cartografía del INEGI³, la podemos localizar en las coordenadas geográficas: Long. W 98° 35'00'' / Lat. N 20° 04'00'', y UTM Zona 14 E543500/N2218000 Carta Topográfica Tulancingo F14D82 Esc 1:50,000, INEGI, (1983), Carta Topográfica Esc 1:50,000, INEGI, (1998). En este yacimiento hay varios ejidos de los cuales los más mencionados son: El Nopalillo, El Guajolote, La Joya y Alfajayucan, y que se han dedicado a explotar el vidrio volcánico conocido como obsidiana por más de ocho décadas elaborando artesanías, aunque en la actualidad el que explota más este beneficio es El Nopalillo, ubicado en las coordenadas E543000/N2218000 (INEGI, 1998, en Schönleber y Lira, 2007) (Figura. 5).

González Rul (1972) dice que llamar al área Cerro de las Navajas es un error ya que el nombre da la idea de estructuras y formaciones parecidas a éstas. Afirma que después de preparado su trabajo, apareció la publicación de Spence y Parsons (1967) en la que se menciona a Cruz del Milagro como el sitio de las minas, sin embargo, parece que se trata de uno distinto a los visitados por Bretón, Holmes, Humboldt y el propio González Rul (Schönleber y Lira, 2007), y que actualmente todos estos lugares forman parte de la estructura conocida como Sierra de las Navajas.

Es de reconocerle a este autor que da las coordenadas geográficas de las áreas trabajadas a través de la carta de la Secretaría de la Defensa Nacional (SDN) 14 Q e 12 Tulancingo, y con esto se marca el principio de la cartografía arqueológica

³ A partir de este momento las siglas INEGI corresponden a Instituto Nacional De Estadística Geografía e Informática

moderna, ya que ninguno de los investigadores anteriormente llevó a cabo esta tarea. Este estudio permite dar con exactitud la localización de las elevaciones y su correcta denominación para la ubicación del área de investigación de este trabajo (Schönleber y Lira, 2007).

Sobre los trabajos de Pastrana (1998), se llevó a cabo un levantamiento topográfico en un área en específico conocida como El Durazno, de donde se obtuvieron las muestras en las que se realizaron los estudios de Carbono 14, estratigrafía, dendrocronología, análisis de suelos e identificación de horizontes, para la definición de indicadores de la minería antigua con respecto a la presente; esto en el área de la actividad minera actual que intersecta a la minería prehispánica.

Además, en la zona se realizaron diferentes mapas como los de Spencer y Parsons en (1967), aunque la cartografía de ellos es diferente a la que se analiza del INEGI y sus mapas no tienen coordenadas para poder ubicarlos fácilmente, ellos retoman los datos de la cartografía de la SDN, y esto se aclara en la tesis de Schönleber y Lira (2007).

Pastrana (1998) comenta que los materiales arqueológicos resultantes de la explotación minera prehispánica teotihuacana, tolteca, azteca y Colonial, tienen una ocupación de 5 km² aproximadamente y que el 80% del yacimiento corresponde a El Nopalillo, 15% a Alfajayucan y 5% a la ranchería del Guajolote. En una parte de ese 80% se localiza el área de estudio de la presente tesis denominado El Durazno (Figura.5).

Cobean (1991 y 2002) menciona que se han realizado investigaciones arqueológicas en la Sierra de las Navajas por más de un siglo, pero que el área trabajada con mayor intensidad ha sido El Durazno (Figura.11), y que pudo ser la zona más explotada para la época prehispánica, con una extensión aproximada de 3 km², con presencia de tiros y talleres de macronúcleos para navajas prismáticas.

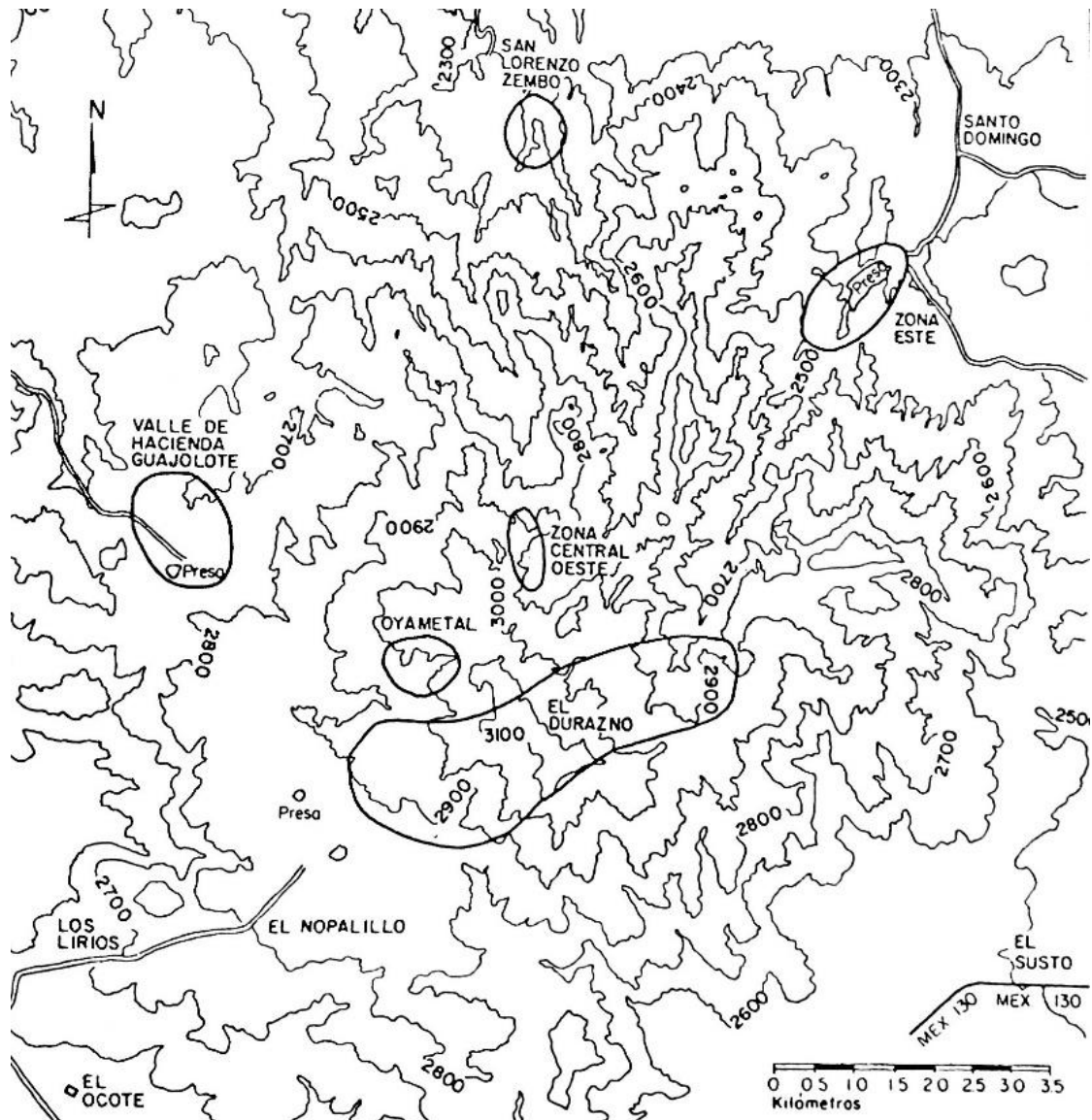


Figura 11. Mapa de ubicación del Durazno. Tomado de Cobean (2002).

En el sector El Durazno hay en superficie talleres con desechos de talla antiguos, acumulaciones de tierra de la extracción de las minas modernas, patios de mina, construcciones de uso habitacional prehispánico (denominados “corrales”), además de tiros de mina y minas modernas. (Figura. 12, 13 y 14)



Figura 12. Patio de mina moderno, en el sector El Durazno. Foto Ivonne Schönleber (mayo, 2013)



Figura 13. Unidades habitacionales y áreas de actividad “Corrales”, en el sector El Durazno. Foto Alfredo Martínez H. (mayo, 2013).



Figura 14. Talleres prehispánicos de obsidiana en el sector El Durazno. Foto Alfredo Martínez H. (mayo, 2013)

La mayoría de los depósitos de obsidiana son grandes bloques inmersos en toba volcánica, rodeados de desecho de talla donde se observan macronúcleos, lascas, raspadores, artefactos de retoque bifacial entre algunos. (Figura.15)



Figura 15. Núcleos de obsidiana al interior de una mina. Foto Jannu Lira (2016).

Precisamente el área suroeste donde se localizan las zonas muestreadas para esta tesis, Pastrana (1998) realiza recorridos, muestreos y un levantamiento. La zona que corresponde al presente estudio abarca el área que va de los cuadrantes 5D hasta el 5F, 6A hasta el 6 F y 7A hasta 7C del mapa de Pastrana y Cruz Antillón, sector que según ellos fue el más explotado durante la época prehispánica.

Toda esta zona de El Durazno es afectada desde hace más de 30 años por la silvicultura, una mina de arena, minas de obsidiana moderna, brechas y caminos de terracería, y extracción del desecho de talla de origen prehispánico que se

exporta a Asia. Son principalmente los pobladores del ejido El Nopalillo quienes realizan estas actividades (Figura.16).

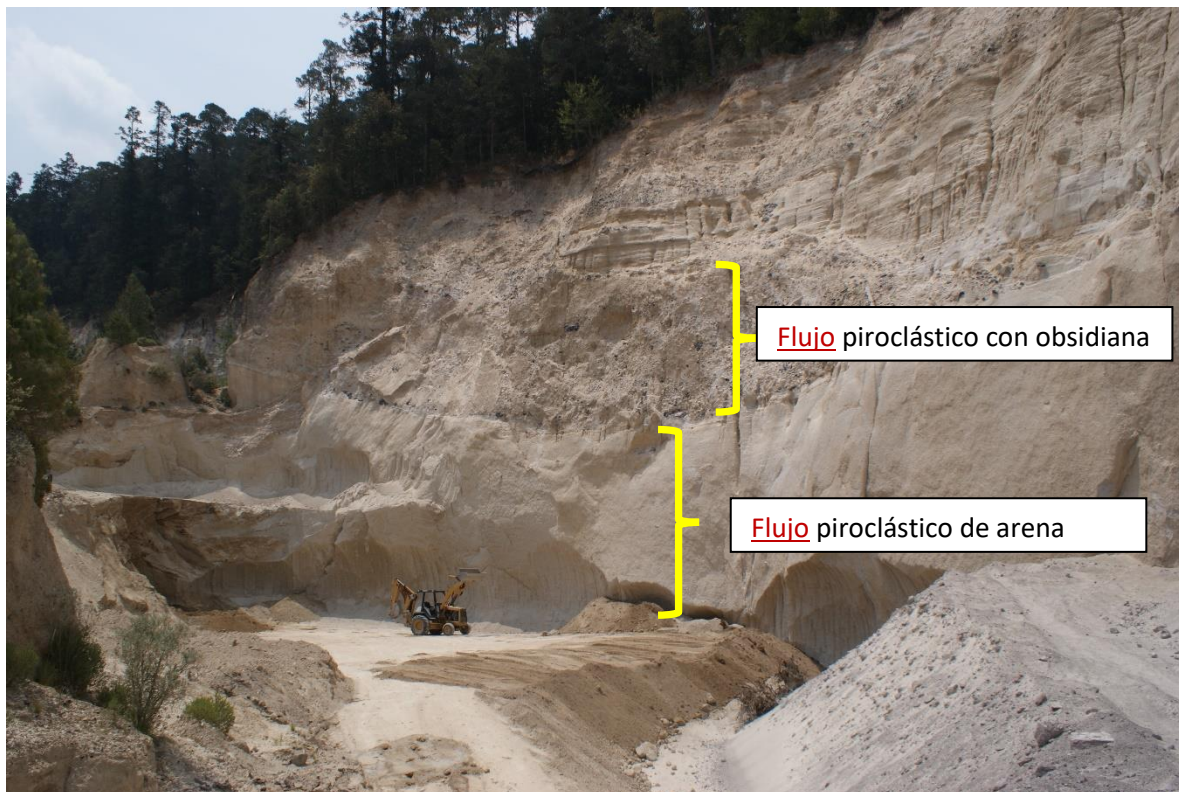


Figura 16. Mina de arena ubicada en E 0545208 y N 2221504, se pueden observar en la base un flujo piroclástico de arena y arriba otro flujo piroclástico con obsidiana. Foto Jannu Lira (mayo, 2013).

En algunos casos las excavaciones de las minas modernas han dejado expuestos en sus paredes los depósitos de la minería prehispánica. Aprovechando estas evidencias se realizaron muchas de las observaciones de la presente tesis, específicamente de los perfiles de suelos y la estratigrafía.

4.2 El medio físico y la ocupación humana

Para la caracterización físico-geográfica de la zona se expone primero lo relativo al conjunto de la Sierra de las Navajas y enseguida, de manera más específica, lo que

se refiere al Ejido El Nopalillo, ubicado en el piedemonte sur de la Sierra, donde se concentraron las investigaciones de esta tesis.

4.2.1 Sierra de las Navajas

La Faja Volcánica Transmexicana, cruza el país de costa a costa en dirección este-oeste abarcando el Estado de Hidalgo. Es el más joven de los sistemas montañosos del país y se caracteriza por ser una meseta volcánica activa hasta el presente, sobre todo en la porción occidental (INEGI, 1992). Se cree que su evolución comenzó durante el Terciario Medio con la formación de la región occidental, seguida del desarrollo de las porciones central y oriental durante el Plioceno–Cuaternario. Es en este sistema donde predominan las rocas ígneas, sobre todo las lavas andesíticas y basálticas, aunque también existen depósitos vulcano-sedimentarios relacionados con la emisión de éstas (Challenger, 1998). El extenso fallamiento durante y después de la orogenia produjo depresiones que se convirtieron en cuencas lacustres. Las erupciones volcánicas subsecuentes formaron extensos campos de lava, mientras que en las altitudes menores predominan los depósitos fluvio-lacustres (Ferrusquía-Villafranca, 1993, en Challenger, 1998).

La parte más alta del yacimiento de obsidiana está a 3180 msnm, que es el Cerro de las Navajas (INEGI 1983, 1998). Se trata de una estructura volcánica conformada básicamente por rocas ígneas del Terciario y Cuaternario, teniendo en sus componentes tobas ácidas y brechas ácidas (INEGI, 1983).

Martínez-Serrano y coautores (2022) lo identifican como un estratovolcán del Cuaternario de riolitas peralcalinas (SNHV), con dos eventos eruptivos que denominan pre-colapso peralcalino, y posteriormente una explosión de colapso lateral que produjo depósitos piroclásticos y riolitas vítreas (Martínez-Serrano, et al. 2022).

La Sierra de las Navajas se localiza en la zona de climas templados de la Sierra Madre Oriental y el Eje Neovolcánico, que registran variantes de precipitación y temperatura debido a las variaciones de altitud entre los valles, llanos y serranías de esta región, por lo que presenta un clima semifrío subhúmedo con lluvias en verano, lo cual es representativo de lugares superiores a los 2500 msnm, con vegetación de bosque de oyamel (INEGI, 1992).

En los climas templados y semifríos las temperaturas medias van de 12° a 14° C y las mínimas promedio entre 8° y 9° C, esto entre diciembre y enero. En las áreas con altitudes superiores a 2000 msnm la incidencia de heladas es de más de 80 días en la estación invernal. Para lugares como Sierra de las Navajas, las granizadas son hasta de 6 días normalmente en mayo, asociadas a las primeras lluvias. INEGI, (1992).

En la Sierra de las Navajas la vegetación es de bosque de pino-encino, predominando actualmente el pino, debido a que se implementó la reforestación para reactivar las áreas que han sido deforestadas durante siglos, tanto por la actividad minera de la obsidiana y la plata como por las actividades silvícolas (INEGI, 1992).

Tanto *Pinus* como *Quercus* son especies de distribución muy amplia en México. Los bosques mixtos (pino-encino) se regeneran en alrededor de 20 años, aunque para tener una vegetación primaria se requiere de 100 años (Challenger, 1998). Situación que no se presenta en esta región debido a que aproximadamente cada 20 años se deforestan y reforestan diferentes áreas, desde hace más de cinco siglos, manteniéndose lo que sería una vegetación secundaria. Las principales especies son *Pinus leiophylla* y *Pinus patula*. El primero se conoce como ocote chino y es el que provee a esta comunidad de madera, resina, látex y cera (Schönleber y Lira, 2007).

La minería de obsidiana a lo largo de la historia ha tenido un fuerte impacto en el suelo y la vegetación de la Sierra de las Navajas (Figura. 1). Por otro lado, en el caso de la minería de plata que se desarrolló en la Sierra de Pachuca desde la

época Colonial, el proceso del beneficio de ésta prefería como combustible la madera de encino, lo que afectó áreas que circundan a Pachuca (Challenger, 1998).

Se puede observar actualmente en el área de la cima evidencia de la tala en donde el bosque de pino es reemplazado por un matorral de encino arbustivo (Figura.17). Por otra parte, los reductos de bosque de encino son utilizados para la producción de carbón (Figura.18), así como para materiales de construcción.



Figura 17. Primer plano de la vegetación de bosque de pino perturbado en la cima de la Sierra de las Navajas. Al fondo, mina de arena. Foto Ivonne Schönleber (marzo 2006)



Figura 18. Horno para elaboración de carbón de encino en el piedemonte de la Sierra de las Navajas, Ejido El Nopalillo. Foto Ivonne Schönleber Riusech (marzo 2006).

Los suelos en general para estas zonas de sierra son someros y en las llanuras generalmente profundos, con una capa superficial rica en materia orgánica y nutrientes que permite clasificarlos como Feozems. En las porciones bajas de la Sierra los Feozems háplicos y Feozems calcáricos están asociados a Vertisoles pélicos y Planosoles mólicos, son suelos altamente productivos asociados a la agricultura de temporal y las actividades pecuarias (INEGI, 1992).

Los usos de suelo dominantes en la Sierra de las Navajas son la minería de la obsidiana, la silvicultura, la recolección de hongos y la minería de arena.

La minería de obsidiana abastece tanto los talleres locales como los de Teotihuacán e incluso se exporta al mercado asiático; la silvicultura es para beneficio de los ejidatarios de lo que cobran a los silvicultores, surtiendo a los compradores de madera para la construcción y elaboración de muebles; la recolección de hongos es local y solo se lleva a cabo en la temporada de lluvias y la minería de arena se realiza para la venta de la arena para la construcción a privados.

4.2.2 Ejido El Nopalillo

El ejido El Nopalillo se ubica en el sur centro del estado de Hidalgo, en el municipio de Epazoyucan, en el piedemonte sur de la Sierra de las Navajas. Está asentado sobre una toba ácida del Terciario Superior y el Cuaternario (INEGI, 1983a).

Los suelos que caracterizan a este sector son someros de tipo Andosol Mólico y Órtico de textura media, que varía de limosa a arenosa, con una acidez de 5.5 a 7 y de tonalidad rojiza, aunque los hay amarillos, cafés y negros con una capa de hojarasca. Los suelos son aptos para el desarrollo de los pinos, que tienen afinidad por suelos ácidos (Challenger, 1998).

El clima para la región de El Nopalillo se clasifica como seco a semiseco templado, con lluvias en verano y con una temperatura media anual de 14.8°C, dándose en promedio para mayo la máxima con 17.3°C y la mínima en noviembre de 9.4°C. La precipitación anual total es de 543.4 mm, con una máxima en septiembre de 117.4mm; y una mínima en enero de 8.8 mm (Schönleber y Lira, 2007).

Álvarez et al. (2003) describieron las asociaciones vegetales correspondientes a los cinco pisos altitudinales en el Ejido El Nopalillo entre los 2500 y los 3100 msnm, que se describen a continuación. Los sitios estudiados en la presente tesis (2880-2980 msnm) caen dentro los tres niveles intermedios.

Primer nivel (2500 – 2800 msnm). Zona de transición de comunidades vegetales más secas a otras más húmedas, cubiertas por terrazas de cultivo de temporal asociadas al maguey pulquero (*Agave salmiana*) (Figura. 19). Las laderas no

terraceadas, tienen un bosque de táscate (*Juniperus flaccida*), asociado a pino blanco (*Pinus pseudostrobus*), mientras en la parte baja hay terrazas en barbecho con relictos de bosque de táscate muy abierto, con maguey pulquero o manso, nopaleras (*Opuntia spp.*), abundantes arbustos de escobilla (*Baccharis conferta*), huizache (*Acacia shaffneri*), cholla (*Opuntia imbricata*), tumbavaqueros (*Ipomoea stans*) y malva (*Malva parviflora*), Álvarez et al. (2003).

Segundo nivel (2800 – 2920 msnm). Presenta condiciones de mayor humedad con un bosque muy abierto de pino blanco (*Pinus pseudostrobus*), además de la presencia muy esporádica de encino (*Quercus spp.*); el estrato herbáceo se caracteriza por zacatón en dos variedades (*Muhlebergia robusta* y *Furcraea bidenhausi*), y árnica (*Hetheroteca inuloide*), Álvarez et al. (2003).

Tercer Nivel (2920 -2940 msnm). Se caracteriza por suelos enterrados por el desecho de la explotación minera de la obsidiana. Existe un microclima más húmedo, con un bosque mixto moderadamente abierto de encino – pino, el cual se compone de un estrato arbóreo superior de diferentes variedades de encino, pino (*Pinus pseudostrobus* y *Pinus patula*), un estrato arbóreo inferior compuesto de varias especies; un sotobosque caracterizado por arbustos de escobilla (*Baccharis conferta*), entre otros; y un estrato herbáceo formado por zacatón (*Muhlebergia robusta*), entre otros, Álvarez et al. (2003).

Cuarto Nivel (2940 – 2980 msnm). Se compone de un bosque mixto de encino – pino dominado por diferentes variedades de encino y pino (*Quercus alveolata*, *Q. crassifolia*, *Q. lanceolata*, *Quercus sp.* *Pinus pseudostrobus*, *Pinus patula*, *Pinus tenuifolia*) incluyendo *Arbustus glandulosa*, *Buddleja microphyla*, y algo de *Alnus arguta*. En las cañadas y laderas de mayor pendiente hay condiciones más húmedas con una comunidad mixta de pino–encino–oyamel (*Pinus–Quercus–Abies religiosa*). En las partes abiertas del bosque hay herbáceas de tipo secundario, como *Lupinus campestris*, pingüica (*Arctostaphylos arguta*) y escobilla (*Baccharis conferta*), Álvarez et al. (2003).

Quinto Nivel (2980 – 3100 msnm). Presenta bosque de encino y pino (*Pinus herrerae*, *Pinus rudis*, *Pinus montesumae* y *Pinus tenuifolia*). El sotobosque está

dominado por escobilla (*Baccharis conferta*) y *Lupinus camprestri*, y el estrato herbáceo presenta *Festuca* y zacatón (*Muhlenbergia robusta*), Álvarez et al. (2003). La población del ejido El Nopalillo se ubica entre los 2600 a 2800 msnm, con aproximadamente 500 habitantes en 2007, contando con una superficie total de 600 hectáreas repartidas entre 53 ejidatarios, aunque existe la tierra comunal y la pequeña propiedad (Álvarez del Castillo et al, 2003).

De acuerdo con Álvarez del Castillo et al. (2003), la agricultura de temporal es de maíz, frijol, cebada y maguey pulquero (*Agave salmiana*). Se trata de agricultura de subsistencia, que se practica desde tiempos prehispánicos. Durante el Formativo y hasta el Clásico, el manejo de la tierra para el cultivo se realizaba por medio de terrazas. A partir de 500 d.C., se utilizaron semiterrazas (metepantlis), construidos con agaves que evitaban la erosión del suelo, junto con una zanja de drenaje paralela a la hilada de magueyes. Actualmente la agricultura se realiza indistintamente por metepantli o terraza sobre la ladera del primer piso altitudinal (Figura. 19).



Figura 19. Metepantlis de El Nopalillo en 1999. Foto Ivonne Schönleber y Jannu Lira.

Hay extracción de madera en 2 niveles: el primero realizado por los habitantes de la localidad para cubrir necesidades inmediatas como combustible, construcción, reparación de casas, talleres y corrales; el segundo para la explotación forestal exclusiva de los ejidatarios, supervisada por la SEMARNAP y concesionada a una empresa maderera. Las especies más explotadas son el pino blanco (*Pinus pseudoestrobis*) y el rojo (*Pinus montezumae*), sin embargo, la reforestación no ha sido suficiente y el bosque se está deteriorando progresivamente.

La extracción de la obsidiana es, junto con la agricultura de temporal, la actividad más común en el ejido.

Toda esta información es de vital importancia para comprender cómo se ha modificado el ambiente del área de investigación, incluyendo la zona de extracción de obsidiana. Por consiguiente, se asocia con la actividad minera y con la población actual y su papel como posibles indicadores para diferenciar la minería actual y la prehispánica (Schönleber y Lira, 2007).

Capítulo 5. Resultados

5.1 Ubicación de sitios

El objetivo de esta investigación fue definir indicadores que permitan diferenciar la actividad minera de la época prehispánica de la actual, estos fueron: (1) análisis del suelo (2) estratigrafía, (3) fechamiento de depósitos de la actividad minera por radiocarbono, y (4) fechamientos de depósitos de la actividad minera por dendrocronología.

Un corte o excavación permite investigar la estratigrafía de los sitios de minería y potencialmente identificar el suelo natural original del área, los depósitos de distintas fases de actividad minera y los suelos intercalados entre dichos depósitos y que marcan etapas de no-acumulación de escombros de mina.

De acuerdo con la comunicación de la gente del ejido, la actividad minera en el sitio estudiado cesó durante un período muy corto (finales del siglo XIX, 10 años aproximadamente).

Uno de los indicadores buscados son los suelos enterrados que sellaron los momentos de actividad minera. Como parte del análisis de los suelos, la parte más importante es la identificación de horizontes, ya que sus características y grado de desarrollo están asociados a la edad del suelo. Además, en algunos casos se encuentra materia orgánica en el horizonte A, o fragmentos de carbón, ambos susceptibles de ser fechados mediante el ^{14}C o radiocarbono.

La localización de los sitios de descripción y muestreo se basó en la observación de cortes de las minas contemporáneas, en busca de secuencias de suelos sepultados, depósitos de escombros de mina suprayacentes y materiales intercalados fechables por medio de ^{14}C . Adicionalmente se analizaron árboles que crecieran en las cercanías de estos cortes o excavaciones, para fecharlos por métodos dendrocronológicos.

En todos los perfiles identificados como de interés se realizó una descripción de campo y algunos análisis de laboratorio. Los perfiles con materiales fechables por ^{14}C se identificaron como CARSN (Carbón Sierra de las Navajas). En los perfiles identificados como SNPE (Sierra de las Navajas perfil) se realizó una descripción y análisis de campo y laboratorio, pero no fechamientos ^{14}C .

De este modo se describieron 5 perfiles de suelo-escombros de mina, que en algunos casos contienen artefactos. El concepto de “artefacto” se entiende como un material diagnóstico que “tiene sustancialmente las mismas propiedades químicas y mineralógicas que cuando fueron manufacturadas, modificadas o excavadas. Son característicos del desecho de la minería” (IUSS Working Group WRB, 2015:81).

Los cinco perfiles descritos son CARSN1, CARSN2, y CARSN3; y SNPE3 y SNPE4.

5.2 Estratigrafía y suelos

A continuación, se presenta la descripción e interpretación detallada de los perfiles analizados. Para más información, en los Anexos (1-2) de la tesis se incluyen las *Hojas de descripción e interpretación de los perfiles de suelo*, así como las *Hojas de descripción de campo*.

Perfil CARSN1.

En un inicio se le denominó Mina azul con maguey. Se ubica en las coordenadas E05444893, N2220683 WGS84, a una altitud de 2931 msnm +/- 4 metros de error. La elección del sitio se realizó el 5 de septiembre del 2009 y se hizo el análisis y descripción en campo el 19 de noviembre del 2010, complementando con algunas determinaciones de laboratorio el 6 de octubre de 2022. (Figura. 20 y 21)



Figura 20. Vista general de CARSN1, con ejemplo de medidas. Foto Ivonne Schönleber (2010)

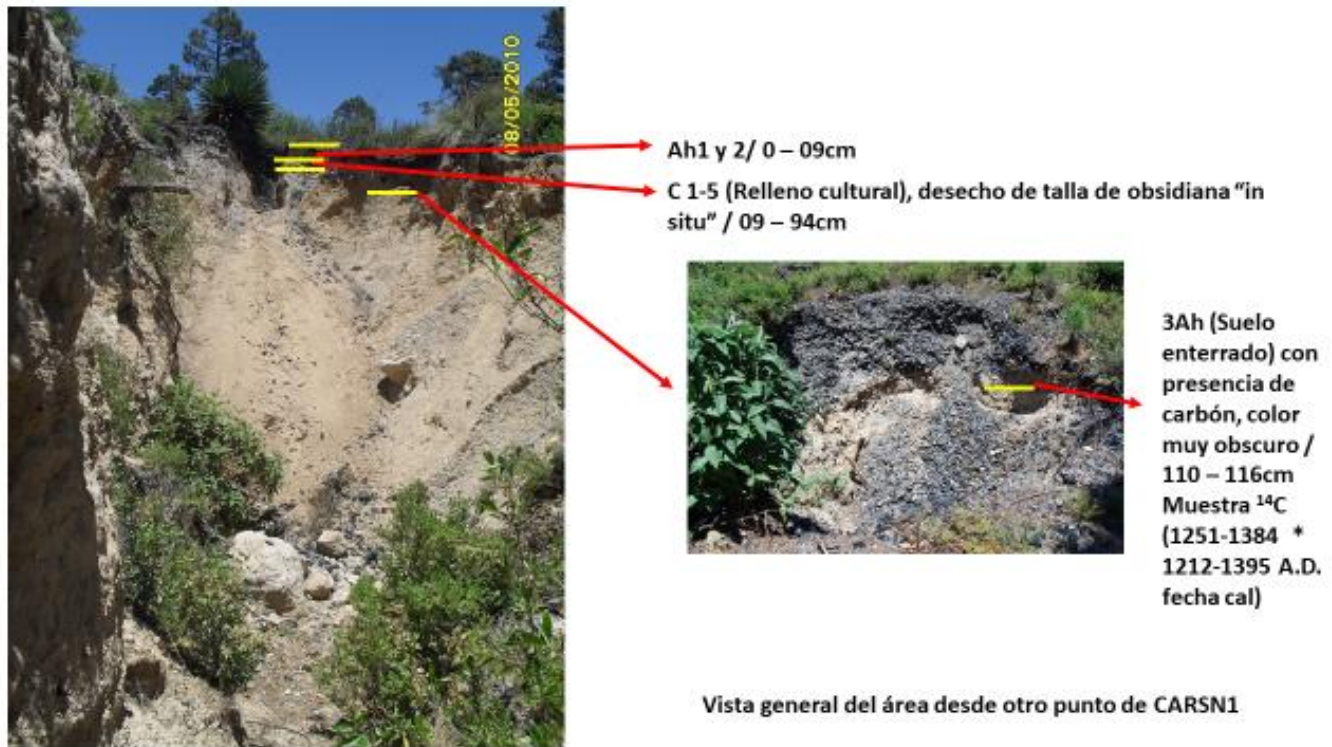


Figura 21. Detalle del área analizada y muestreada del perfil CARSN1. Foto Ivonne Schönleber (mayo 2010).

Es un perfil de 190 cm de profundidad, con 11 horizontes detectados en campo y al realizar el análisis minucioso en laboratorio se identificaron 12, que son: Ah1, Ah2, C1, C2, C3, C4, C5, 2Ah, 2C, 3Ah, 3AB, y 3Bw.

Se trata de varias capas de escombros de mina con abundantes fragmentos de obsidiana, con un suelo superficial incipiente (Ah1-Ah2-C1), un suelo incipiente intercalado (2Ah-2C), y en la base de la secuencia el suelo original del sitio (3Ah-3AB-3Bw) formado a partir de depósitos de flujo piroclástico riolítico con varios metros de espesor. Éste último depósito es el que se explota para obtener obsidiana, ya que se trata de un flujo piroclástico de ceniza y bloques, incluyendo clastos de obsidiana.

El sitio está alterado por la actividad minera de la obsidiana desde la época prehispánica hasta el presente (esto ocurre en todos los CARSN y en el perfil 3). El perfil presenta una importante variación en las texturas, de AC, CLf, CR-CRA, RA y

CRL. El pH varía de 6 a 7 (ligeramente ácido a muy ligeramente alcalino). Todo el perfil está libre de carbonatos. Solo en el horizonte más profundo (3Bw, 122-190 cm), es decir en el suelo original del sitio, hay una reacción muy ligera en la prueba de Al activo, lo cual indica presencia de alófono. Los rasgos de este suelo sepultado (en particular la presencia de un horizonte Bw con coloración rojiza) implican un largo tiempo de desarrollo antes de la actividad minera, y permiten clasificarlo como un Cambisol.

El suelo superficial (Ah1-Ah2-C1-C2-C3-C4-C5) se identificó como un Technosol, formado en escombros de mina de obsidiana, que sepulta al suelo original del sitio (3Ah-3AB-3Bw) un Cambisol.

En clasificación WRB (IUSS Working Group WRB, 2015) este perfil es un Spolic Technosol (Eutric, Archaic, Arenic, Ochric, Hyperartefactic, Technoskeletal, Tephric, Thapto-Cambic) (ver Anexo 3).

En el Cambisol sepultado hay reacción positiva a la prueba de Al activo en el horizonte 3Bw (Vitric). Además, el pH sugiere saturación de bases de >50% (Eutric), por lo cual este suelo se clasificaría como un Vitric, Eutric Cambisol si estuviera expuesto en superficie. Al estar sepultado, solamente se le incluye en la clasificación de manera general con el calificador secundario Thapto-Cambic.

La toma de la muestra de carbón para el fechamiento se realizó en la pared sur entre 110 y 116 cm. Se trata de la muestra CARSN-1, con una edad de 715 ± 55 años ^{14}C antes del presente (ver Tabla 4).

Perfil CARSN2.

Para el registro en un inicio se le denominó Mina Pelcastre. Se ubica en las coordenadas E0545027, N2220776 WGS84, con una altitud de 2954 msnm \pm 4 m de error. La elección del sitio se realizó el 8 de mayo del 2010; el análisis y descripción en campo el 27 de octubre del 2010, complementados con determinaciones de laboratorio el 6 de octubre de 2022 (Figura. 22 y 23).

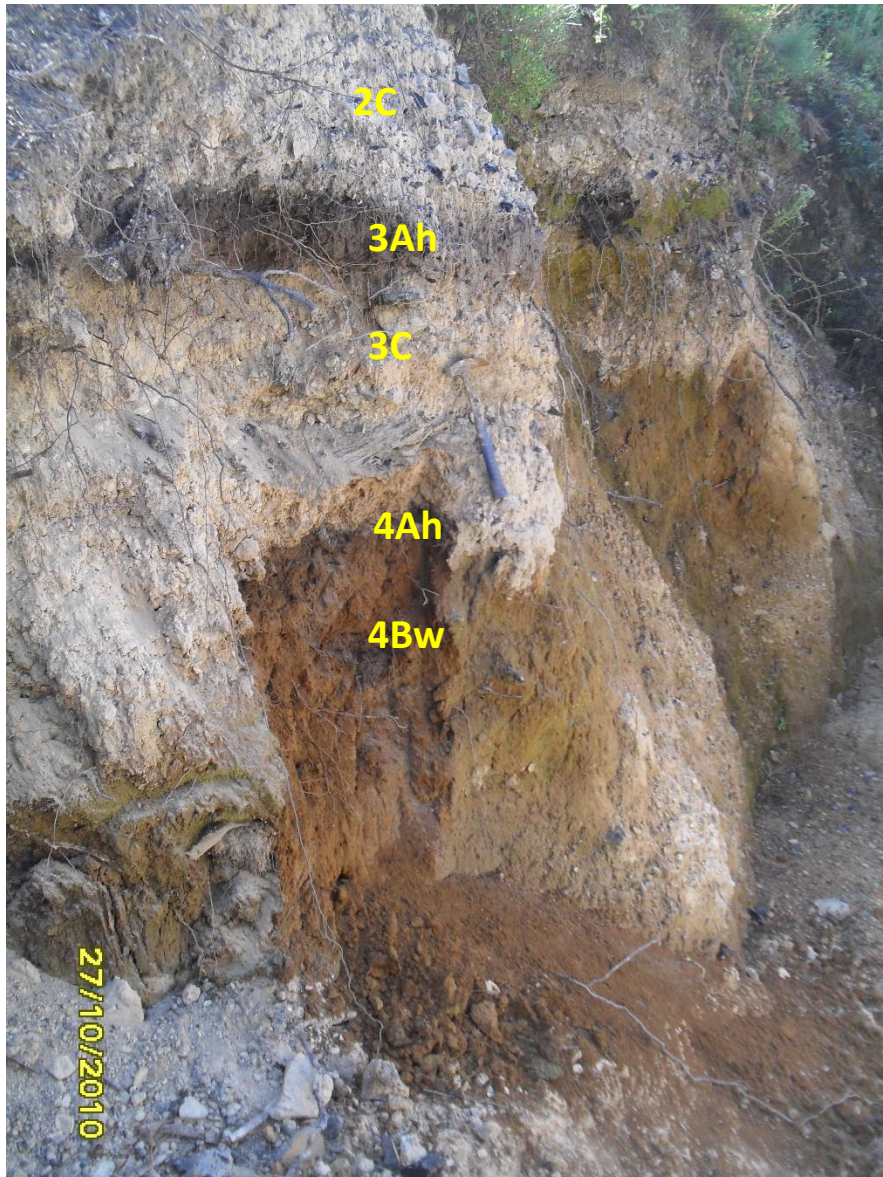
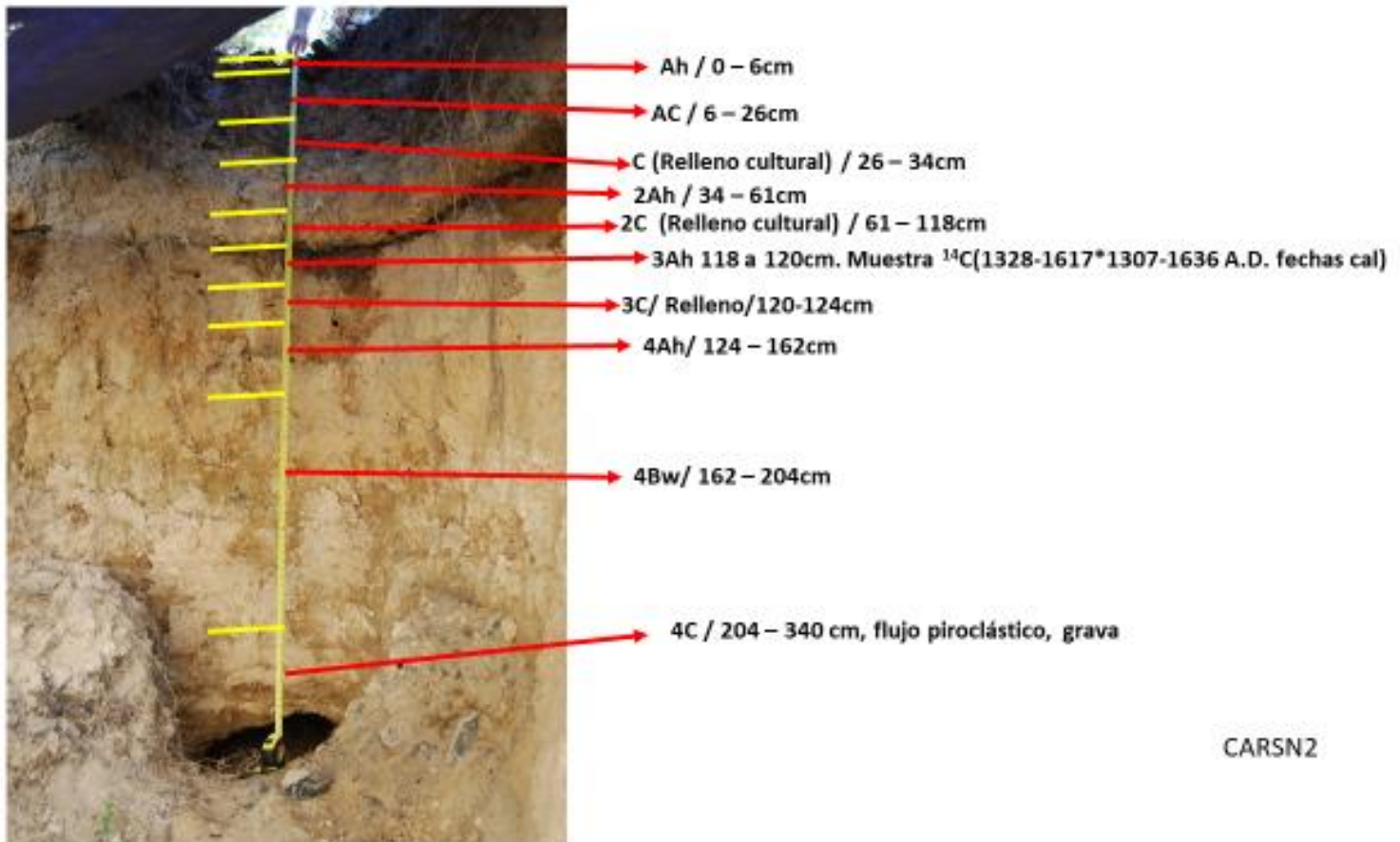


Figura 22. Vista de la parte inferior del perfil CARSN2. Se observa el suelo rojizo original de la zona (4Ah-4Bw, Cambisol), sepultado por dos depósitos de escombros de mina de obsidiana (2C y 3C), con un suelo intercalado (3Ah, de donde se obtuvo la muestra CARSN2 para fechar por ^{14}C). Foto Ivonne Schönleber (octubre 2010).



CARSN2

Figura 23. Vista general del perfil CARSN2. Foto Ivonne Schönleber (mayo 2010).

Es un perfil con 11 horizontes: Ah, AC₁, AC₂, C, 2Ah, 2C, 3Ah, 3C, 4Ah, 4Bw y 4C, y 340 cm de profundidad. Consta de tres depósitos de escombros de mina (C, 2C, 3C) y suelos incipientes formados en éstos (Ah, 2Ah, 3Ah) con numerosos artefactos (clastos de obsidiana con talla), sepultando al suelo original del área, un Cambisol (4Ah-4Bw-4C), cuyo material parental es el depósito de flujo piroclástico de donde se extrae la obsidiana. De hecho, en la parte más profunda del horizonte 4C está presente la “capa chiclosa” que mencionan y buscan los mineros pues debajo de ella se encuentra la obsidiana (ver Anexo 1 y 2, Figura. 39). En campo el Dr. Serafín Sánchez observó que esta capa tiene un alto contenido de limo y arcilla que la hace muy plástica.

El horizonte 4Bw es un horizonte que no tiene estructura rocosa y muestra alteración respecto al material parental (flujo piroclástico), con contenidos de arcilla del orden

del 30% (textura CRL) y un color rojizo similar al del perfil SNPE4. Se trata de un horizonte de diagnóstico cámbico, lo que permite clasificar como un Cambisol a este suelo original de la zona, previo a la actividad minera.

El suelo superficial (Ah-AC₁-AC₂-C) se clasifica como un Technosol cuyo material parental son escombros de mina con fragmentos de obsidiana.

Las texturas identificadas son arenosas en superficie; franco-arenosas a franco-arcillosas en la parte media; y franco-limosas a franco-arcillo-limosas en el suelo original. El pH varía de 6 a 6.5 (ligera a muy ligeramente ácido). Todo el perfil está libre de carbonatos, presenta una estabilidad de agregados de muy alta a alta, y sólo en el horizonte 4Ah, perteneciente al suelo original, hubo una reacción ligera en la prueba de Al activo, lo que indica formación de alófono; solo se localiza este mineral secundario en este horizonte porque aún no se han formado las arcillas del tipo de la haloisita producto de la transformación química del alófono.

Este perfil es muestra clara de la actividad minera, ya que presenta tres momentos de depósitos de escombros de mina encima del suelo original. El desarrollo de horizontes Ah encima de cada depósito (Ah, 2Ah, 3Ah) indica que ocurrieron períodos de pausa en la actividad minera durante los cuales formó un horizonte A por acumulación de materia orgánica humificada.

Los horizontes C (C, 1C, 2C, 3C) son definidos como relleno cultural por la presencia de lascas y fragmentos de obsidiana.

En clasificación WRB (IUSS Working Group WRB, 2015) este perfil es un Spolic Technosol (Eutric, Archaic, Loamic, Ochric, Hyperartefactic, Technoskeletal, Tephric, Thapto-Cambic) (ver Anexo 3 con los detalles de la clasificación).

En el Cambisol sepultado hay reacción positiva a la prueba de Al activo en el horizonte 4Ah (Vitric). Además, el pH sugiere saturación de bases de >50% (Eutric), por lo cual este suelo se clasificaría como un Vitric, Eutric Cambisol si estuviera expuesto en superficie. Al estar sepultado, solamente se le incluye en la clasificación de manera general con el calificador secundario Thapto-Cambic.

Dos suelos enterrados muestran evidencia de incendios (fragmentos de carbón), uno a los 118-124 cm de profundidad (horizonte 3Ah) y el segundo a los 124-162 cm (horizonte 4Ah). La muestra de carbón para el fechamiento ^{14}C se colectó en la pared oeste entre los 118 a 120 cm (horizonte 3Ah), con una edad de 465 ± 80 años ^{14}C antes del presente, (ver Tabla 4).

Perfil CARSN3.

Para el registro en un inicio se le denominó Mina Pelcastre 2, se ubica en las coordenadas E0544975, N2220731 WGS84, con una altitud de 2951 msnm \pm 4 m de error. La elección del sitio, el análisis y descripción en campo se realizaron el 8 de mayo del 2010. No se tomaron muestras para laboratorio. (Figura. 24 y 25)



Figura 24. Vista general de CARSN3. Se observa el suelo rojizo original de la zona (un Cambisol) cubierto por escombros de mina. Foto Ivonne Schönleber (mayo 2010).

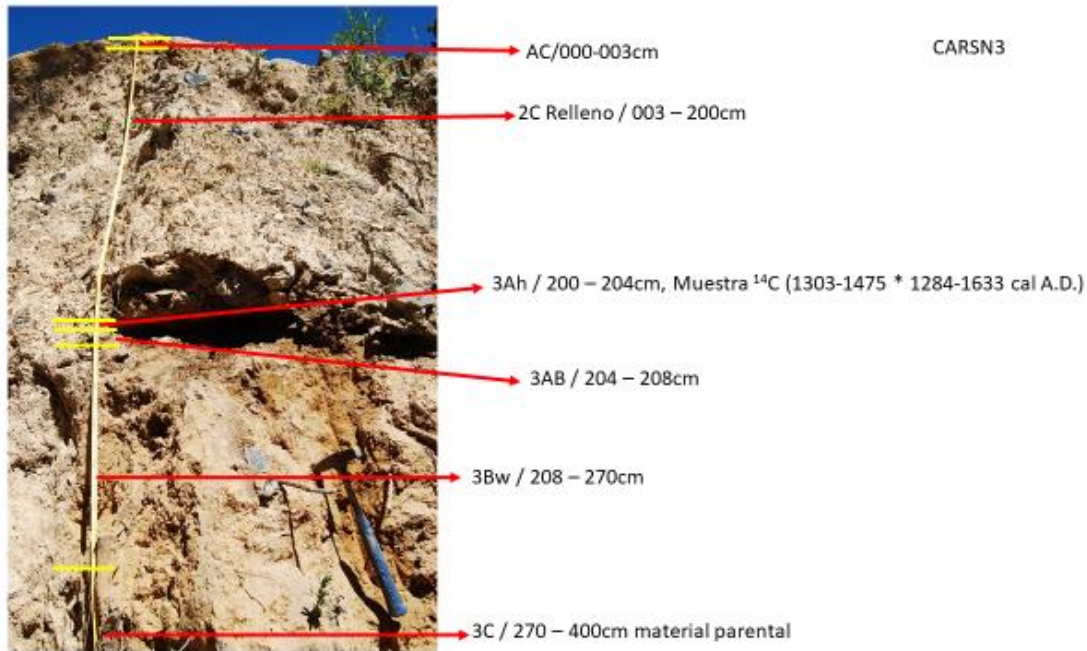


Figura 25. Detalle del área analizada y muestreada del perfil CARSN3. Foto Ivonne Schönleber (mayo 2010).

CARSN3 es un perfil con 6 horizontes detectados en campo y no se obtuvieron muestras para laboratorio. El recubrimiento vegetal que se tiene en la superficie es nulo ya que fue arrasado por la minería.

Tiene 400 cm de profundidad, con la siguiente secuencia de horizontes: AC, 2C, 3Ah, 3AB, 3Bw y 3C. Los superficiales (AC-2C) están formados en depósito de mina de obsidiana y pueden clasificarse como un Technosol, con muy escaso desarrollo. El AC es un horizonte mineral, producto de una pedogénesis primaria, no está consolidado por lo que apenas se está formando un horizonte A. El horizonte 2C es el relleno cultural que sella al suelo sepultado. Se denomina 2C porque es un relleno cultural con grandes fragmentos de obsidiana, distinguible del horizonte AC, pero muy probablemente de edad similar.

Se observó en los horizontes del Technosol superficial una gran cantidad de artefactos de distinto tamaño que son evidencia de la extracción y elaboración de algunos instrumentos como raspadores, núcleos para cuchillos, núcleos de navajas prismáticas y de lascas.

El suelo sepultado (3Ah-3AB-3Bw-3C) es un Cambisol como el observado en la base de los otros perfiles. Sus rasgos indican largo tiempo de estabilidad y desarrollo pedogenético. 2Ah se denomina así por tener coloración oscura indicadora de materia orgánica humificada. Debajo hay un horizonte 2AB, de transición hacia el 2Bw que, con base en su contenido de arcilla, coloración rojiza y buen desarrollo estructural puede considerarse como un horizonte de diagnóstico cámbico. En suma, este suelo sepultado es un Cambisol, similar al que aparece sepultado en los perfiles CARSN1 y CARSN2 al CARSN3, y en superficie en el perfil SNPE4.

Aunque no se hicieron descripciones detalladas de propiedades físicas y químicas de los horizontes, el perfil se clasificó de manera tentativa con base en sus rasgos generales y la gran similitud con los perfiles vecinos. Así, en el sistema WRB (IUSS Working Group WRB, 2015) la clasificación propuesta es: Spolic Technosol (Eutric, Archaic, Loamic, Hyperartefactic, Technoskeletal, Tephric, Thapto-Cambic). La única duda importante es si la clase textural es Loamic (franco) o Arenic (arenoso). La toma de la muestra de carbón para el fechamiento ^{14}C se realizó en la pared oeste en el horizonte 3Ah (200-204 cm), y arrojó una edad convencional de 505 ± 95 años ^{14}C A.P.

Perfil SNPE3.

Para el registro en un inicio se le denominó perfil 3, se ubica en las coordenadas E0544877, N2221076 WGS84, con una altitud de 2959 msnm \pm 4 m de error. La elección del sitio se realizó el 14 de junio del 2011 y se hizo el análisis y descripción en campo ese mismo día, y en laboratorio fue el 6 de octubre del 2022 (Figura. 26). La zona está alterada por la actividad minera de la obsidiana desde la época prehispánica hasta el presente. Además, el uso del suelo es de silvicultura.



Figura 26. Vista general del perfil SNPE3. Foto Jannu Lira (junio 2011).

Es un perfil de 19 cm de profundidad, con 2 horizontes detectados en campo y al realizar el análisis minucioso en laboratorio se identificaron los mismos, que son: Ah y AC. El material parental es escombros de mina de obsidiana. Es decir que se trata de un suelo con desarrollo incipiente.

Se detectaron artefactos en superficie y algunos en el horizonte Ah. La textura en ambos horizontes es CLf. La estructura es de migajón grueso y de grado fuerte, lo que implica un largo tiempo sin alteración para su formación. El pH varía de 6 a 5.5 (ligeramente ácido a fuertemente ácido) y están libres de carbonatos. Presentan estabilidad de agregados de muy alta a alta. En el horizonte Ah se presenta una reacción positiva muy fuerte a la prueba de Aluminio activo, y en el AC es fuerte, lo que indica presencia de alófono (calificador Vitric).

El perfil se clasificó como un Technosol desarrollado sobre escombros de mina de obsidiana, que sepulta al suelo original del sitio. Tentativamente se clasifica así: Spolic Technosol (Eutric, Archaic, Loamic, Ochric, Hyperartefactic, Technoskeletal, Vitric). [NOTA: los calificadores Spolic, Archaic, Hyperartefactic, y Technoskeletal se asignan de manera tentativa, asumiendo que debajo de los horizontes descritos hay un escombros de mina similar al de otros perfiles cercanos]. No se tomó muestra de carbón para fechamiento, ya que el perfil era muy somero.

Perfil SNPE4.

Para el registro en un inicio se le denominó La Joya. Se ubica en las coordenadas E0545326. N2219563 WGS84, con una altitud de 2893 msnm \pm 4 m de error. La elección del sitio se realizó el 14 de junio del 2011 y se hizo el análisis y descripción en campo ese mismo día, y en laboratorio el 6 de octubre del 2022. (Figura.27)



Figura 27. Vista general del perfil SNPE4. Foto Jannu Lira (junio 2011).

Está a un lado de un camino que lleva al ejido de La Joya. Se usa para cultivo de maíz, avena, cebada, haba y chícharo, en las inmediaciones hay metepantlis o terrazas falsas, abundancia de magueyes y restos de bosque de encino / pino. Se eligió este perfil porque se considera representativo del suelo original de la zona del piedemonte sur de la Sierra de las Navajas, y en particular el ejido de El Nopalillo. Está cultivado, pero no fue sepultado por escombros de minería de obsidiana, aunque presenta artefactos, que son evidencia de alteración antrópica.

El material parental son depósitos piroclásticos riolíticos que presentan una tonalidad rojiza producto del intemperismo químico.

Es un perfil de 111 cm de profundidad, con 6 horizontes detectados en campo y al realizar el análisis minucioso en laboratorio se identificaron los mismos, que son: Ah, AB, Bw1, Bw2, Cw1 y Cw2. Presenta las siguientes texturas: CRL, CR, RA, CR, RA, RA, es decir que se vuelve un poco más arcilloso en los horizontes B y C.

Presenta terrones ocasionados por la labranza, además se observó que tiene una agregación natural subangular en bloques, con tamaño de grueso a fino, de grado de fuerte en superficie y moderado a bajo en el subsuelo. La estabilidad de agregados es alta en el Ah y disminuye gradualmente hasta ser baja en el Cw2. El pH varía de 7 a 6 (muy ligeramente alcalino a ligeramente ácido), está libre de carbonatos en todo el perfil. No hubo reacción de Al activo.

En el sistema WRB (IUSS Working Group WRB, 2015) se clasificó como Eutric Cambisol (Loamic, Ochric, Tephric).

No se colectó muestra para fechamiento ^{14}C , ya que carecía de un suelo sepultado que contuviera carbón.

5.3 Fechamientos ^{14}C

Este análisis tiene la finalidad de determinar la edad numérica de los horizontes con presencia de carbón. El ^{14}C es otro de los indicadores utilizados para diferenciar sitios modernos y antiguos de actividad minera, y los resultados complementan a las temporalidades que se obtuvieron por otros métodos.

Las muestras de fragmentos de carbón fueron enviadas para su análisis al Laboratorio de Radiocarbono de la Universidad de Arizona. Los resultados se reportan en la Tabla 1, en forma de edades convencionales ^{14}C .

Posteriormente las fechas ^{14}C fueron calibradas para obtener fechas calendáricas utilizando el programa CALIB RADIOCARBON CALIBRATION PROGRAM (Stuiver y Reimer, 1993). Los fechamientos calibrados aparecen en la Tabla 2.

A-number	Sample	Conventional date, yr BP	$\delta^{13}\text{C}$, ‰
15546	CARSN-1	715 ± 55	-24.0
15547	CARSN-2	465 ± 80	-24.6
15548	CARSN-3	505 ± 95	-26.3

Tabla 1. Fechamientos ^{14}C de tres muestras de carbón analizadas (Radiocarbon Laboratory, Department of Geosciences, University of Arizona)

Cabe mencionar que las edades calibradas no se indican como un año preciso, sino más bien en forma de rangos de probabilidad. Así, por ejemplo, para la muestra CARSN-1, la edad convencional de 715 ± 55 años ^{14}C antes del presente se traduce en una edad calibrada que tiene una probabilidad de 100% de caer entre los años 1251 AD y 1384 AD, si se considera una desviación estándar (sigma) de 1 en la curva de distribución de los fechamientos conocidos para ese rango de edades.

Asimismo, tiene una probabilidad de caer entre los años 1212 AD y 1395 AD, si se considera una desviación estándar de 2. Como se observa en la misma tabla 2 para

una desviación estándar de 2, hay un 77.3% de probabilidad de que el fragmento de carbón analizado se haya formado entre los años 1212 AD y 1327 AD; y 22.7% de probabilidades de que se haya formado entre 1342 AD y 1395 AD.

```
CARSN-1
Description
Radiocarbon Age 715±55
Calibration data set: intcal13.14c
# Reimer et al. 2013
One Sigma Ranges: [start:end] relative area
                   [cal AD 1251: cal AD 1305] 0.799081
                   [cal AD 1364: cal AD 1384] 0.200919
Two Sigma Ranges: [start:end] relative area
                   [cal AD 1212: cal AD 1327] 0.77296
                   [cal AD 1342: cal AD 1395] 0.22704
```

```
CARSN-2
Description
Radiocarbon Age 465±80
Calibration data set: intcal13.14c
# Reimer et al. 2013
One Sigma Ranges: [start:end] relative area
                   [cal AD 1328: cal AD 1341] 0.059373
                   [cal AD 1395: cal AD 1514] 0.85921
                   [cal AD 1600: cal AD 1617] 0.081416
Two Sigma Ranges: [start:end] relative area
                   [cal AD 1307: cal AD 1362] 0.118424
                   [cal AD 1385: cal AD 1534] 0.670055
                   [cal AD 1536: cal AD 1636] 0.211522
```

```
CARSN-3
Description
Radiocarbon Age 505±95
Calibration data set: intcal13.14c
# Reimer et al. 2013
One Sigma Ranges: [start:end] relative area
                   [cal AD 1303: cal AD 1366] 0.354696
                   [cal AD 1383: cal AD 1475] 0.645304
Two Sigma Ranges: [start:end] relative area
                   [cal AD 1284: cal AD 1527] 0.885312
                   [cal AD 1554: cal AD 1633] 0.114688
```

Tabla 2. Calibración de fechamientos ^{14}C utilizando el programa CALIB version 7.0.4 (Stuiver and Reimer, 1993) y la base de datos de calibración de Reimer et al., (2013).

CARSN1. La muestra se tomó a 110-116 cm de profundidad, obteniéndose un fechamiento de 1251-1384 AD (sigma 1) y de 1212-1395 AD (sigma 2), ambos

claramente dentro del Postclásico tardío (1200 al 1521 d.C.). El suelo sepultado de donde se colectó la muestra de carbón corresponde al horizonte 3Ah, el cual está por encima de un 3AB donde ya había algo de materia orgánica y un 3Bw un horizonte cámbico con 30-40% de arcilla y con un color rojizo producto del intemperismo químico del material parental (Figura. 28).

El fechamiento indica entonces que, con toda probabilidad en algún momento entre los años 1212 AD y 1395 AD, esto es dentro del Postclásico tardío, el horizonte 3Ah fue sepultado por escombros de actividad minera. Sobre este primer escombros de actividad minera (2C) se desarrolló un horizonte A incipiente (2Ah), que poco después fue cubierto por 5 capas de depósito de escombros de mina (en orden cronológico C5, C4, C3, C2, y C1), en cuya superficie se formó el suelo moderno por acumulación de materia orgánica humificada (Ah1-Ah2).

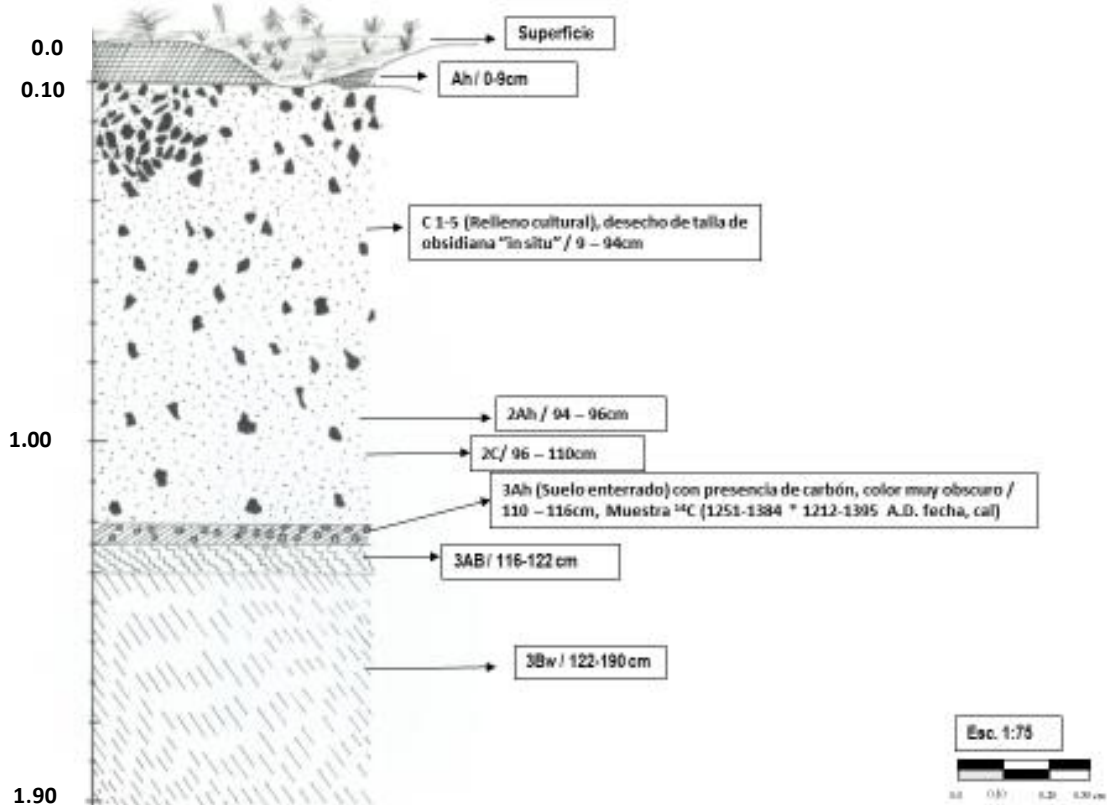


Figura 28. Perfil CARSN1 y posición estratigráfica de la muestra de carbón CARSN1, fechada por ^{14}C .

CARSN2. Se identificaron dos suelos enterrados con evidencia de inestabilidad antrópica e incendios, uno a los 118-120 cm de profundidad (3Ah) y el segundo a los 124-162 cm (4Ah) (Figura. 29). Ambos horizontes están sepultados por el relleno cultural que es el escombros de mina.

La muestra de carbón fechada proviene del horizonte 3Ah. El fechamiento ^{14}C arroja una edad de 465 ± 80 años ^{14}C A.P. (Tabla 1). La edad calibrada cae entre el Postclásico tardío y la Colonia temprana: 1328-1617 AD (sigma 1), y 1307-1636 AD (sigma 2) (Tabla 2). Sin embargo, lo más probable es que el carbón fechado date del Postclásico tardío, pues solo hay un 8% (sigma 1) y un 21% (sigma 2) de probabilidad de que se haya formado en la Colonia temprana.

Puede decirse que la edad de CARSN2 en general es similar a la de CARSN1, ya que ambas indican Postclásico tardío. Sin embargo, muy probablemente la muestra CARSN2 es un poco posterior, ya que se centra en el siglo XV (entre fines del XIV e inicios del XVI), mientras que CARSN1 más probablemente cae entre inicios del XIII e inicios del XIV (ver Tabla 2).

Es interesante notar que la muestra CARSN2 proviene de un suelo sepultado (3Ah), pero debajo de éste hay otro suelo sepultado (4Ah) por escombros de mina y que corresponde al suelo original de la zona. El impacto inicial de la actividad minera en este perfil es el momento en que el horizonte 4Ah queda sepultado por el primer escombros de mina (horizonte 3C).

En el perfil CARSN2 todos los horizontes por encima de 4Ah son resultado de la perturbación antrópica, ya que contienen desechos de la producción como son núcleos tanto de lascas, navajas como navajas prismáticas, los cuales pudieron ser observados en campo (ver Figura. 22).

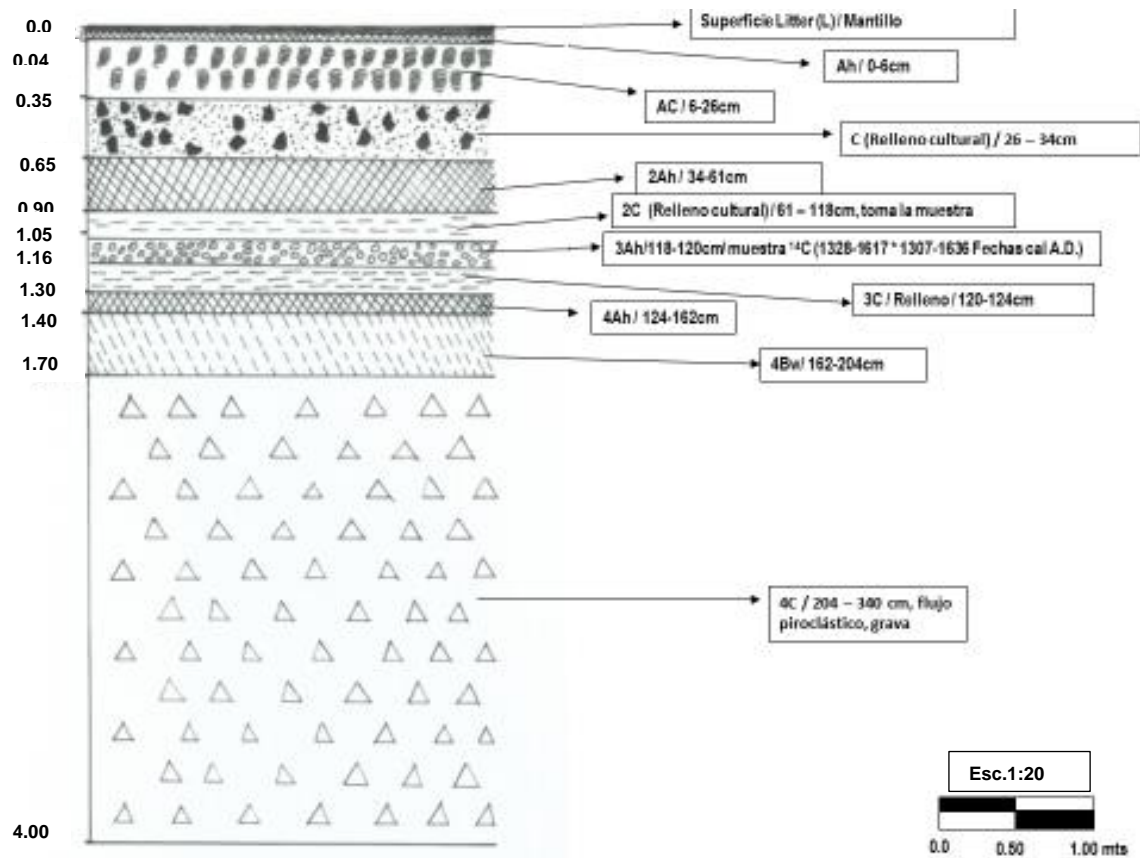


Figura 29. Perfil CARSN2 y posición estratigráfica de la muestra de carbón CARSN2, fechada por ^{14}C .

CARSN3. La muestra de carbón CARSN3 se tomó a 200-204 cm de profundidad, en el horizonte 3Ah del perfil CARSN3 (Figura. 30). El suelo sepultado de donde se colectó la muestra corresponde al horizonte 3Ah, en este no había carbón en grandes trozos como en los otros dos, pero sí pequeños fragmentos de carbón diseminados en una matriz con mucha materia orgánica.

Al igual que en el caso de la muestra CARSN1, el horizonte 3Ah del que proviene el carbón fechado CARSN3 corresponde a la superficie del suelo original del sitio, es decir, a la superficie del suelo natural sobre el que se produjo el impacto antrópico. El material parental de este suelo (3C y más abajo) es el que contiene fragmentos de obsidiana (Figura. 30)

Se obtuvo una edad 505 ± 95 años ^{14}C A.P. (Tabla 1) para CARSN3. La edad calibrada es de 1303-1475 AD (sigma 1) y 1284-1633 AD (sigma 2), es decir dentro del Postclásico tardío y la Colonia temprana (Tabla 2). Sin embargo, lo más probable es que el carbón date del Postclásico tardío, ya que la edad en sigma-1 cae totalmente en ese período, mientras que en sigma-2 hay 88.5% de probabilidad de que la edad caiga entre 1284 y 1527 AD (ver Tabla 2).

La secuencia por encima del horizonte fechado (AC-2C) corresponde a depósito de mina con un suelo superficial escasamente desarrollado.

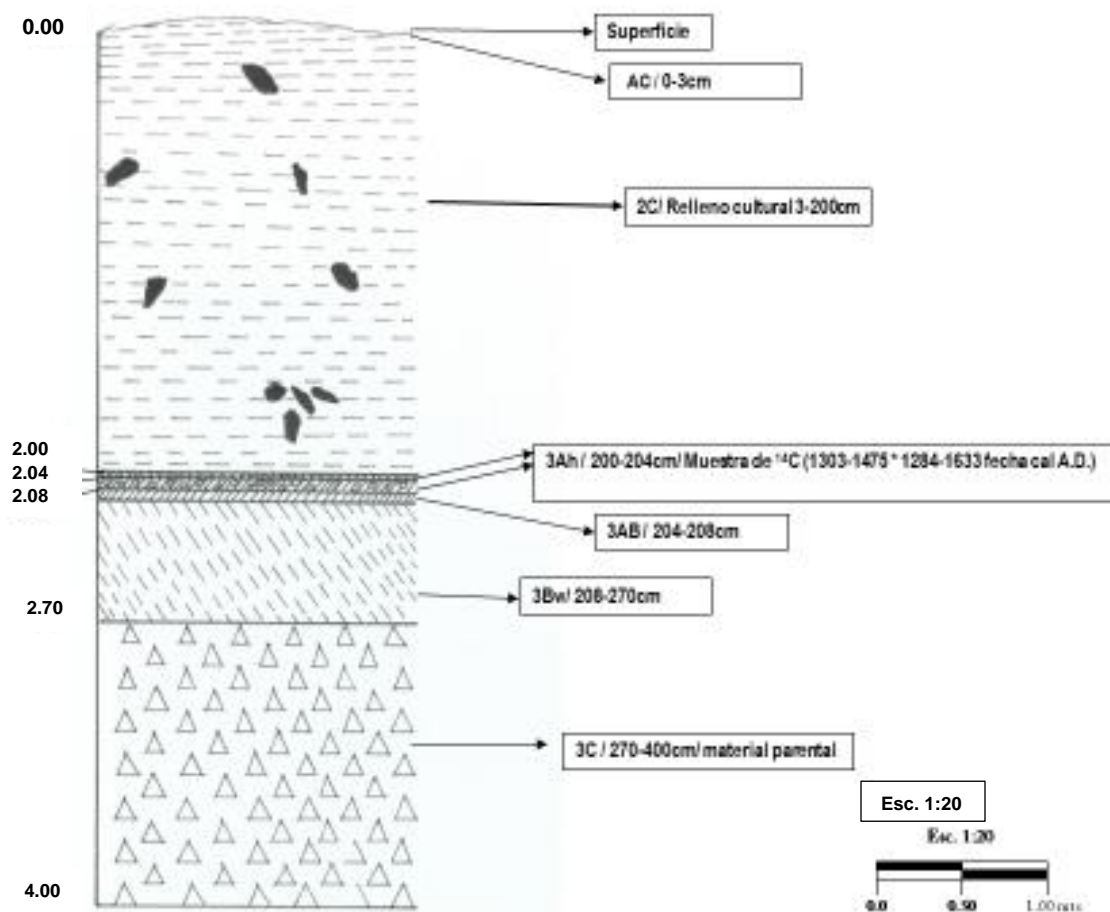


Figura 30. Perfil CARSN3 y posición estratigráfica de la muestra de carbón CARSN3, fechada por ^{14}C .

5.4 Dendrocronología

Este análisis tiene la finalidad de determinar la edad de los árboles que se muestrearon por medio del conteo de los anillos de crecimiento. La edad dendrocronológica es otro de los indicadores para diferenciar las capas de escombros de mina modernas de las antiguas, dentro de los contextos de extracción de la obsidiana.

Las muestras obtenidas se presentan en la Tabla 3 de acuerdo con su proximidad a los perfiles ya descritos en esta tesis, indicando los individuos analizados y su edad. Esto permitirá unir este resultado con el del fechamiento ^{14}C , la estratigrafía y los suelos, para así obtener una interpretación global.

Clave	Perfil asociado	Anillos contados en gabinete	Fecha de Colecta	UTM E	UTM N	Altitud msnm	Cuenta de anillos en campo	Diferencia campo VS gabinete	Altura árbol (m)	Diámetro DAP (cm)	Altura toma muestra (m)	Especie	Observaciones en gabinete
SN-19	CARSN2	123	08-may-10	545027	2220776	2954	110	más 5 años	18	69.5	1.14	Pinus sp.	Tiene corteza, médula visible
SN-20	CARSN2	92	08-may-10	544995	2220756	2957	90-100	más 5 años	20-22	72	1.15	Pinus sp.	Tiene corteza, médula visible
SN-21	CARSN1, mina azul con maguey	128	08-may-10	544909	2220693	2943	120	más 5 años	18-20	61	1.2	Pinus sp.	Tiene corteza, médula visible
SN-22	CARSN3a	114	08-may-10	544972	2220745	2952	80	más 5 años	12	62	1.25	Pinus sp.	Tiene corteza, médula visible
SN-23	CARSN3b	62	08-may-10	544786	2220728	2937	55	más 5 años	16	64.5	1.18	Pinus sp.	Tiene corteza, médula visible
Tocón 1	CARSN3a, Mina colapsada		08-may-10	544973	2220744	2950	110					Pinus sp.	
Tocón 1a	CARSN3a, Mina colapsada		08-may-10	544973	2220744	2950	85					Pinus sp.	
Tocón 2	CARSN1, mina azul con maguey		08-may-10	544909	2220693	2943	120-130					Pinus sp.	
Tocón 3	Junto a muestra 21, CARSN1		08-may-10	544904	2220693	2944	120					Pinus sp.	

Tabla 3. Relación de muestras dendrocronológicas y áreas de muestreo.

CARSN1 en esta área se tomaron tres muestras denominadas:

- ❖ SN21 con 128 (+5) anillos, son 133 anillos al momento de la toma.

- ❖ Tocón 2 con 120-130 (+5) anillo, son 125-135 anillos al momento de la toma.
- ❖ Tocón 3 con 120 (+5) anillo, son 125 anillos al momento de la toma.

Estos 3 árboles crecen sobre el escombros de mina superficial del perfil CARSN1.

La fecha obtenida para SN21 es: año de 1877, que es posterior a la independencia de México.

Las fechas obtenidas para Tocón 2 son: años de 1885 a 1875, que son posteriores a la independencia de México.

La fecha obtenida para Tocón 3 es: año de 1885, que es posterior a la independencia de México.

Estas fechas dejan ver que el depósito de mina de la superficie del perfil CARSN1 ya existía hacia el año 1875-1885, por lo cual no se trata de un depósito moderno, sino que fue emplazado antes de ese año. Se trata de una edad mínima.

CARSN2 en esta área se tomaron dos muestras denominadas:

- ❖ SN19 con 123 (+5) son 128 anillos al momento de la toma
- ❖ SN20 con 92 (+5) son 97 anillos al momento de la toma

Teniendo como resultados que todos estos están sobre escombros de mina, aunque existe la silvicultura.

La fecha obtenida para SN19 es: año de 1882 que es posterior a la independencia de México.

La fecha obtenida para SN20 es: años de 1913 que está dentro de la Revolución de México.

Es claro que estas fechas dejan ver que desde épocas remotas existe el talado de los árboles y la reforestación, pero son un indicador para sellar el perfil de donde se tomó la muestra para el fechamiento con este resultado. Esto es que la diferencia entre ^{14}C obtenida en el suelo enterrado y la fecha de la dendrocronología pone límites máximo y mínimo al período de actividad minera en esos lugares.

CARSN3 en esta área se tomaron cuatro muestras denominadas:

- ❖ SN22 con 114 (+5) anillos, son 119 anillos al momento de la toma.
- ❖ SN23 con 62 (+5) anillo, son 67 anillos al momento de la toma.
- ❖ Tocón 1 con 110 (+5) anillos, son 115 anillos al momento de la toma.
- ❖ Tocón 1a con 85 (+5) anillos, son 90 anillos al momento de la toma.

Todos estos árboles crecieron sobre escombros de mina.

La fecha obtenida para SN22 es: año de 1891, posterior a la independencia de México.

La fecha obtenida para SN23 es: año de 1943, posterior a la Revolución de México.

La fecha obtenida para Tocón 1 es: año de 1895, previo a la Revolución de México.

La fecha obtenida para Tocón 1a es: año de 1920 que es el final de la Revolución de México.

Nota: A todos los ejemplares obtenidos por medio del taladro de *Presler* se les debe añadir 5 años por el tiempo que el árbol tarda en alcanzar la altura del pecho promedio. Las fechas consideradas son: para la Independencia de México de 1810 a 1821 y para la Revolución mexicana de 1910 a 1920 que son las más usadas (Comunicación verbal, Dr. Vázquez Selem Lorenzo 2022).

Capítulo 6. Discusión

6.1 Interpretación de los contextos arqueológicos con base en estratigrafía, suelos, fechamientos ^{14}C y dendrocronología.

Los resultados de los análisis realizados a los perfiles CARSN1 y CARSN3 indican que las muestras para fechar los suelos enterrados provienen del horizonte identificado como 3Ah que se caracteriza por la presencia visible de humus. Este suelo por largo tiempo no tuvo perturbación alguna, lo que permitió que se desarrollara bajo condiciones ambientales estables. Se trata de un Cambisol formado directamente sobre los depósitos de flujo piroclástico del piedemonte sur de la Sierra de las Navajas, de coloraciones rojizas y con contenidos de arcilla de 30-40% en el horizonte B. En el caso de CARSN2, el horizonte fechado (3Ah) está sobre un depósito temprano de desecho de mina, y no directamente sobre el horizonte A de dicho Cambisol (4Ah). El perfil SNPE4 corresponde a dicho Cambisol, pero ahí aparece como suelo superficial pues ese sitio no fue afectado por actividad minera.

En los perfiles CARSN1, 2, y 3 por encima del Cambisol se identificaron uno o varios horizontes C producto de la acumulación de desechos de la actividad minera de la obsidiana. Estas capas siempre presentan gran cantidad de artefactos de obsidiana (en su mayoría producto de la talla) y fragmentos riolíticos en una matriz de textura franco arenosa a franco arcillosa. La pedregosidad en estos horizontes alcanza comúnmente valores de 20 a 50%.

En SNPE3 no se tomaron muestras de carbón por no observarse el Cambisol enterrado, ya que el perfil es somero (19 cm) y solo expone escombro de mina. Sin embargo, cabe destacar que en este perfil el horizonte Ah está bien desarrollado, lo que denota un período de estabilidad relativamente largo bajo condiciones de bosque de pino, incluyendo un mantillo tipo moder (ver descripción y foto en el

Anexo 1 y 2). Esto permitió el desarrollo de un suelo con humus directamente sobre el escombros de mina.

Como ya se mencionó, el perfil SNPE4 se ubica fuera del área de minería, y se utilizó para definir cómo era el suelo original de la región. Se trata de un Cambisol que tiene como material parental un depósito piroclástico riolítico. Este mismo material parental se observó en la base de los perfiles CARSN1, CARSN2 y CARSN3.

Perfil CARSN1. Se definió como un Technosol por la actividad minera que se ha realizado desde la antigüedad, específicamente desde el Postclásico tardío de acuerdo con un fechamiento ^{14}C (1212-1395 AD) en el contacto entre el suelo original de la zona y el primer depósito de escombros de mina. La dendrocronología indica que el último escombros de mina alrededor del perfil (presumiblemente el horizonte C1) ya había sido emplazado antes del año 1875-1885, pues los árboles fechados crecieron sobre este escombros reciente. Es importante señalar que las edades dendrocronológicas son edades mínimas, ya que se debe considerar el tiempo que le toma a las especies vegetales colonizar una superficie después de haberse suspendido la acumulación de materiales, en este caso, escombros de mina, y también no se puede excluir que hayan crecido árboles sobre esta superficie en un período anterior al de los individuos muestreados. Esto significa que alrededor del perfil CARSN1 no se depositó desecho de mina (al menos no en cantidades significativas, que impidieran el crecimiento de los árboles) entre los años 1875-1885 y el año del muestreo (2010). Es interesante notar que los horizontes Ah1 y Ah2 del suelo moderno tienen un espesor considerable (9 cm), lo que es compatible con una fase de al menos un siglo de estabilidad sin explotación minera, como sugieren los datos dendrocronológicos.

La descripción de los suelos y la estratigrafía muestra que después del emplazamiento del primer escombros de mina (horizonte 2C) hubo un período corto de relativa estabilidad (sin depósito) durante el cual creció vegetación, se acumuló

materia orgánica humificada y ocurrieron incendios (horizonte 2Ah, de solo 2 cm de espesor).

Las capas de desecho de mina inmediatamente arriba (C5, C4, C3, C2, y C1), fueron emplazadas de manera más o menos continua, ya que no se distingue entre ellas una pausa con acumulación de materia orgánica y formación de un horizonte Ah.

El suelo sepultado representado por la secuencia de horizontes 3Ah-3AB-3Bw tiene elementos semejantes a los del perfil SNPE4, un Cambisol, por lo cual dicho suelo sepultado se considera el mismo Cambisol original del área. En campo se determinó que estos tres horizontes tienen una estructura bien desarrollada, con una estabilidad de agregados muy alta en el Ah y el AB, lo que implica un largo tiempo sin perturbación para su formación.

Perfil CARSN2. Se pudieron observar en campo, además del suelo moderno, tres suelos enterrados, a 34 cm, a 118 cm, y a 124 cm de profundidad. Los tres fueron sepultados por escombros de mina. Del suelo que se ubicó a 118 cm (horizonte 3Ah) se obtuvo la muestra de carbón fechada por ^{14}C , que arroja una edad dentro del Postclásico tardío y la Colonia temprana (1328 -1617 AD en sigma 1) (1307-1636 AD en sigma 2), aunque es más probable que la edad caiga en el Postclásico tardío (79% de probabilidad en sigma-2, y 91% en sigma-1) que en la Colonia temprana (21% y 9%, respectivamente).

En campo el horizonte 3Ah se describió como suelo sepultado con evidencia de inestabilidad geomorfológica (erosión laminar) e incendios.

Al igual que CARSN1, el suelo enterrado más antiguo (4Ah-4Bw-4C) tiene elementos semejantes a los del perfil SNPE4, que presenta un color rojizo, contenido de arcilla de 30-40% y en la base un material parental piroclástico riolítico, que es característico de la región por ser un volcán de tipo ácido. Se trata de un Cambisol, que aparece sepultado en CARSN2 y en superficie en SNPE4.

Perfil CARSN3. Se definió también como un Technosol por la acumulación de escombros de la minería de obsidiana que se ha realizado desde la antigüedad. Los

2 metros superiores del perfil consisten prácticamente de una sola capa de escombros de mina, sepultando al Cambisol original de la zona. La formación de este Cambisol (visible en la base de los perfiles CARSN1 y CARSN2, y en superficie en SNPE4) supone un largo período de estabilidad geomorfológica. En su horizonte superficial (3Ah, 200-204 cm) fragmentos de carbón fechados por ^{14}C indican que el escombros de mina se depositó entre el Postclásico tardío y la Colonia temprana (1303-1475 AD, sigma-1; y 1284-1633 AD, sigma-2). Sin embargo, la probabilidad de que la edad caiga en época prehispánica es mucho mayor: 100% en sigma-1, y 88.5% en sigma-2 de una temporalidad entre 1284 y 1527 AD (ver Tabla 2).

La dendrocronología indica que los árboles que crecen sobre el escombros de mina del sitio CARSN03 se establecieron entre 1891, 1895, 1920 y 1943. Las primeras dos fechas son posteriores a la Independencia de México y las otras dos posteriores a la Revolución. Esto implica que la actividad minera en ese sitio: (1) es anterior al año 1891 (en coincidencia con la edad ^{14}C), pues los árboles crecieron sobre escombros de mina; y (2) ya había cesado a fines del siglo XIX.

En suma, el escombros de mina se acumuló inicialmente en el Postclásico tardío (muy probablemente entre los siglos XIV y XV) y no más tarde que 1891, aunque no se cuenta con datos para saber si la minería continuó entre la Colonia temprana y 1891. Lo que sí se puede afirmar es que entre 1891 y el año del muestreo de esta tesis (2010) en el sitio no ocurrió acumulación de escombros significativa.

Para tener una idea más clara y resumida de lo antes expuesto, se realizó una relatoría de los grandes eventos naturales y culturales que acontecieron y se pudieron identificar en la zona de Sierra de la Navajas:

- 1.- Emplazamiento piroclástico riolítico (volcán de tipo ácido).
- 2.- Desarrollo de suelos a partir del depósito original.
- 3.- Identificación del suelo como Cambisol.
- 4.- Uso del relieve por los antiguos habitantes.
- 5.- Desarrollo de la minería de la obsidiana y alteración del paisaje:
 - a.- tipo subterránea (tiros, túneles, pozos, niveles y subniveles)

b.- escombros de mina sobre el suelo superficial (Cambisol)

6.- Creación de una nueva superficie.

7.- Intemperización de esta superficie:

Formación de un nuevo suelo que se identificó por sus características como un Technosol (y se sustentó con la técnica de ^{14}C para el Postclásico tardío y Colonia temprana)

8.- Cese de la actividad minera y desarrollo de un suelo tipo Technosol con horizontes bien definidos.

9.- Por último, reactivación puntual de la actividad minera, acumulación de nuevo escombros sobre el Technosol anterior y desarrollo de suelo incipiente tipo Technosol, bajo condiciones de estabilidad y crecimiento de árboles (fechas dendrocronológicas que soportan esta hipótesis y que indican un período de Independencia y/o Revolución Mexicana).

Esto sugiere un cese de la actividad minera intensa en este período de tiempo y que es coincidente con lo que comentan los pobladores del ejido de El Nopalillo.

6.2 Identificación de los indicadores para la interpretación del contexto arqueológico.

Los indicadores que se obtuvieron de los diferentes análisis son:

(1 y 2) Suelo sepultado por la actividad minera y estratigrafía.

Se identificó y caracterizó el suelo sepultado por la actividad minera como un Cambisol con coloraciones rojizas y contenidos de arcilla de alrededor de 30% en sus horizontes A y 40% en los Bw. En el horizonte A sepultado se preservan coloraciones muy oscuras. Este suelo se desarrolló por haber tenido un tiempo largo de estabilidad geomórfica y sin perturbación antrópica (Figura. 31).

El Cambisol es indicador de lo siguiente:

SI ESTÁ EN SUPERFICIE: Se trata de una superficie original antigua, desarrollada probablemente desde el Pleistoceno tardío, no perturbada por la actividad minera, ni significativamente por la actividad agrícola.

SI ESTÁ SEPULTADO: Fue cubierto por depósitos de escombro minero o algún otro fenómeno de inestabilidad geomorfológica o antrópica, por primera vez entre el Postclásico tardío y el Colonial temprano.



Figura 31. Horizontes superiores del Cambisol (flecha) enterrado bajo el desecho de mina. Nótese la coloración rojiza. Foto Jannu Lira (mayo 2010)

(3) Fechamiento por ^{14}C .

Las fechas ^{14}C ayudaron a determinar los momentos de extracción de la obsidiana, con pequeñas diferencias según el sitio de obtención.

Estas muestras se tomaron de los suelos enterrados por depósito de escombro de mina. Las fechas calibradas corresponden a una temporalidad entre el Postclásico tardío y la Colonia temprana (Tabla 1 y 2). Dos de ellas (CARSN1 y CARSN3) se tomaron en el contacto entre el escombro de mina y el Cambisol original, es decir

en los primeros centímetros del horizonte sepultado Ah. Otra muestra (CARSN2) proviene de la superficie (horizonte Ah incipiente) de un primer depósito de escombros de mina.

Es interesante notar que la fecha de CARSN2 es ligeramente más joven que las otras dos, como cabe esperar por su posición estratigráfica que la ubica en un estrato más reciente. Al respecto, como muestra la Tabla 2, hay un 88% de probabilidad (σ -2) de que la edad calibrada de CARSN2 caiga en el rango 1385 - 1636 AD, y de que la edad de CARSN3 caiga en el rango 1284 – 1527 AD.

Esto sugiere que el ^{14}C permite distinguir pequeñas diferencias de edad incluso dentro de la etapa de explotación de las minas. Por ende, sería útil tomar muestras más tardías del escombros minero (por ejemplo, en horizontes Ah intercalados), con el fin de fechar mejor cuándo se detuvo la explotación.

(4) Fechamiento por dendrocronología.

Las muestras dendrocronológicas permiten asignar edades mínimas a las superficies sobre las que crecen los árboles, en el caso de esta investigación escombros de mina; entiéndase este último como un contexto en continuo movimiento que pasa de ser arqueológico a sistémico (Schiffer, 1972).

Las fechas obtenidas son de 9 individuos (Tabla 4): Los individuos muestreados tienen diferentes edades, pero en general se establecieron sobre distintos sitios del escombros de mina entre 1875 y 1891 (ver Tabla 4). Esto sugiere que a fines del siglo XIX la zona de minas analizada había quedado sin actividad significativa, al menos entre 35 y 20 años antes de la Revolución Mexicana.

Sitio	Muestra	Año	Período
CARSN1	SN21	1877	posterior a la independencia
	Tocón 2	1885-1875	posterior a la independencia
	Tocón 3	1885	posterior a la independencia
CARSN2	SN19	1882	posterior a la independencia
	SN20	1913	revolución 1910-1920
CARSN3	SN22	1891	posterior a la independencia
	SN23	1943	posterior a la revolución
	Tocón 1	1895	previo a la revolución
	Tocón 1a	1920	último año de la revolución

Tabla 4. Fechas dendrocronológicas.

Lo que es claro, es que las edades de los árboles determinadas por medio de la dendrocronología son una manera rápida y económica para definir la edad mínima de los desechos de la minería, ya que las muestras se pueden obtener con un taladro *Pressler*, sin la inversión en tiempo y dinero que implica el análisis de ^{14}C .

Es importante enfatizar que las edades dendrocronológicas son edades mínimas. En ese sentido no permiten establecer la temporalidad precisa del abandono de las minas, pero sí indican con precisión hace al menos cuántos años ya había ocurrido el abandono.

Características de los Technosoles.

La identificación y caracterización de los Technosoles, suelos creados por la acumulación de artefactos o materiales producto de la actividad humana, en este caso los desechos o escombros de la minería de la obsidiana, también contribuye a distinguir los contextos de minería modernos de los prehispánicos. En particular resulta de interés observar dos aspectos:

(a) Desarrollo del horizonte Ah superficial. La formación de un horizonte Ah de solo unos cuantos centímetros de espesor (como el del perfil SNPE3, Figura. 26) requiere de al menos varias décadas. Por ello su presencia sobre un escombro de mina indica con toda seguridad que la acumulación de este está inactiva.

En contraste, la falta de un horizonte Ah (y la falta de cubierta vegetal) indican que la actividad minera está activa o cesó muy recientemente (Figura. 32 y 33).

Este criterio es de aplicación fácil, rápida y prácticamente sin costo. Lo único que se requiere es una excavación somera con pala y conocimientos para distinguir materia mineral (horizonte C) de materia mineral humificada (horizonte Ah).

Cabe hacer notar que los Technosoles descritos en esta tesis tienen diferentes espesores del horizonte Ah, lo cual sugiere que el abandono de la mina ocurrió en diferente momento. En el caso de los perfiles CARSN1 y CARSN2 el horizonte Ah superficial tiene espesores significativos (9 cm y 6 cm, respectivamente), por lo cual en la clasificación WRB ambos tienen el calificador "Ochric". En cambio, en el caso de CARSN3 solamente hay un horizonte AC de 3 cm, es decir, aún no se ha acumulado suficiente materia orgánica para caracterizarlo como Ah.

Es de gran interés en trabajos futuros poder calibrar la tasa de formación (aumento de espesor y de contenido de materia orgánica) de los horizontes Ah, en ésta y otras zonas de interés geoarqueológico.



Figura 32. Technosoles de distinta edad desarrollados en escombros de mina de diferente antigüedad. Al frente, escombros de mina activa, sin cubierta vegetal y sin horizonte Ah. Al fondo, escombros de mina antigua, con cubierta vegetal y un horizonte Ah similar al del perfil SNPE4 (visible en la Figura 27). Foto Ivonne Schönleber (mayo 2010).



Figura 33. Evidencia de un Technosol, patio de mina activa. Nótese la falta de horizonte Ah y vegetación. Foto Ivonne Schönleber (julio2022).

(b) Presencia de horizontes Ah enterrados dentro del escombro de mina. Al observar un corte, la presencia de horizontes Ah intercalados entre depósitos de escombro de mina es un indicador general de que el escombro se há acumulado durante largo tiempo, con períodos de inactividad durante los cuales se há desarrollado la vegetación y acumulado materia orgánica humificada. Tal es el caso del perfil CARSN1, que presenta un horizonte Ah a una profundidad de 94–96 cm (2Ah) enterrado entre dos capas de escombro de mina. Y también del perfil CARSN2, que presenta dos horizontes Ah intercalados, uno a 34–61 cm (2Ah) y otro a 118–120 cm (3Ah, de donde proviene el fechamiento ^{14}C CARSN2) (ver Figura. 22).

Adicionalmente a los indicadores antes explicados, existen otros de índole arqueológico que no se han desarrollado en esta tesis (aunque sí en un trabajo antecedente, ver Schönleber y Lira 2007). Por ejemplo, la presencia de una capilla de la Colonia temprana a corta distancia de la zona de minas estudiada sugiere que

la actividad minera continuaba en dicho período, como sugieren también los fechamientos ^{14}C aquí presentados (Figura.34).



Figura 34. Capilla de la época Colonial en el piedemonte sur de la Sierra de las Navajas. La zona de minas estudiada se encuentra en las inmediaciones, 500 m al NE. Foto Jannu Lira (2009)

6.3. Otras consideraciones.

Es interesante el poder identificar y diferenciar los momentos extractivos no solo por la presencia y correlación indirecta de material cerámico como se ha hecho en investigaciones arqueológicas anteriores.

Además, se corrobora lo escrito en textos como los de Cobean (1991 y 2002), Cruz Antillón (1994), y Pastrana (1998) que mencionan que para la zona del Durazno la temporalidad es del Postclásico tardío y Colonia temprana, lo cual además está asentado en la matrícula de tributos ya que es una zona que, a través de

Epazoyucan, entregaba canoas de navajas prismáticas, y otros productos de obsidiana a Tenochtitlán (Pastrana, 1998; Cruz Antillón, 1994).

Cobean (2002) dice que las minas están asociadas con cerámica Azteca III del Postclásico tardío. Menciona además que se encontraron tiestos de manufactura teotihuacana, todo esto en El Durazno, que es el área del presente estudio.

Pastrana (1998) comenta que para el área del Durazno hay ocupación Azteca III y Teotihuacana, pero todo esto estaba limitado a que hubiera tiestos para que se pudiera fechar de forma indirecta y fungieran como indicadores.

Como dato extra al interior de las minas los trabajadores actuales han encontrado herramientas de extracción como un martillo prehispánico y una “vasija” en toba solidificada para la iluminación en la época prehispánica. (Figura. 35 y 36). No se puede asegurar, aunque por su ubicación en la zona del Durazno y las características de su manufactura podrían ser prehispánicos.



Figura 35. Martillo con garganta encontrado por Alejandro Castelán. Foto Ivonne Schönleber (julio 2022)



Figura 36. Vasija de piedra usada para iluminación. Tomada de Schönleber y Lira (2007)

En el presente trabajo se aportan indicadores como la estratigrafía, dendrocronología, el ^{14}C , los suelos enterrados con presencia de carbón y la tipificación de los horizontes de suelo, particularmente del Ah cubierto por un horizonte C (relleno cultural), además de que se identifican los suelos de las zonas de minas como Technosoles.

Según el minero artesano Juan Castelán la minería de la obsidiana se realizó hasta pasada la Independencia para algunos casos y para otros en la Revolución o posterior a ésta, pero en la presente investigación se documenta por medio de evidencia dendrocronológica que al menos la zona de los perfiles CARSN1, -2, -3 y SNPE3 estaban sin actividad significativa antes de la Revolución. (Figura.37)



Figura 37. Artesano Juan Castelán y su esposa Magdalena de Castelán en el Oyamental, Sierra de las Navajas, Hgo. Foto Ivonne Schönleber (noviembre 2019)

Las minas que presentan un suelo enterrado en un espacio de entre los 110 cm hasta los 220 cm y en el que se observe una capa oscura con presencia de carbón, es muy probable que estén dentro del Postclásico tardío a la Colonia temprana, ya que todas las fechas coinciden dentro de este rango.

Hay que destacar que los sistemas de explotación minera pueden variar en la Sierra de las Navajas, habiéndose identificado tiros inclinados, verticales, calas, túneles y pozos (Schönleber y Lira, 2007). Probablemente en cada uno de ellos pueden aplicarse algunos de estos indicadores o todos como en este trabajo.

Capítulo 7. Conclusiones

En la presente tesis se logró reconocer las modificaciones al paisaje debidas a la actividad minera de la obsidiana y diferenciar dos momentos en los contextos, uno arqueológico y otro moderno.

Esto se pudo llevar a cabo al definir los indicadores, los cuales fueron: (1) análisis del suelo (2) estratigrafía, (3) fechamiento de depósitos de la actividad minera por radiocarbono, y (4) fechamientos de depósitos de la actividad minera por dendrocronología.

La extracción de la obsidiana, al ser una actividad que se realiza desde la época prehispánica hasta nuestros días, ha generado alteraciones al paisaje que modifican constantemente el contexto arqueológico minero.

El suelo original del piedemonte sur de la Sierra de las Navajas, previo a la perturbación antrópica, es un Cambisol de tonalidad rojiza y texturas franco arcillo-limosa a franco arcillosa, formado a partir de piroclastos riolíticos que incluyen, a varios metros de profundidad, capas ricas en fragmentos de obsidiana (objeto de la actividad minera). En el perfil SNPE4 este suelo se clasificó como Eutric Cambisol (Loamic, Ochric, Tephric) en el sistema WRB (IUSS Working Group WRB, 2015, ver Anexo 3).

En los tres perfiles CARSN dicho Cambisol está sepultado por depósitos de relleno cultural, específicamente por escombros de mina de obsidiana. Estos perfiles se clasificaron como Technosoles, que se caracterizan por la abundancia de material técnico, con una cantidad significativa de artefactos de obsidiana (producto de la actividad minera de los talleres prehispánicos y modernos), además de procesos de compactación en algunas áreas por máquinas que ayudan en la construcción de terracerías para el paso de los autos y camiones de la silvicultura, minería y turismo. En la clasificación WRB (IUSS Working Group WRB, 2015, ver Anexo 3) estos perfiles son Spolic Technosol (Eutric, Archaic, Arenic, Ochric, Hyperartefactic, Technoskeletal, Tephric, Thapto-Cambic). En los perfiles CARSN1, -2, -3 el Cambisol original del área, al estar sepultado, solamente se le incluye en la

clasificación de manera general con el calificador secundario Thapto-Cambic. Del horizonte Ah del Cambisol sepultado se tomaron las muestras con las cuales se realizó el fechamiento por radiocarbono y que arrojan edades entre el Postclásico tardío y la Colonia temprana.

Dos de las muestras de ^{14}C obtenidas de CARSN1 y CARSN3 se tomaron en el contacto entre el escombros de mina y el Cambisol original, es decir en los primeros centímetros del horizonte sepultado Ah. La muestra CARSN2 proviene de la superficie (horizonte Ah incipiente) de un primer depósito de escombros de mina. En los tres casos es más probable que las edades correspondan al Postclásico Tardío que a la Colonia temprana.

CARSN1 dio una edad calendárica de 1212-1395 AD (sigma 2), esto es dentro del Postclásico tardío. CARSN2 dio una edad de 1328-1617 AD (sigma 1), por lo que lo más probable es que el carbón datado, al igual que el anterior, sea del Postclásico tardío. CARSN3 cae dentro del rango 1303-1475 AD (sigma 1), es decir en el Postclásico tardío.

Estas fechas son coincidentes con lo propuesto por varios investigadores como Pastrana (1998), Cruz Antillón (1994) y Cobean (1991) que dicen que el área El Durazno fue una de las más explotadas para diferentes épocas, entre ellas la Azteca III y Colonia Temprana, edad obtenida por asociación con los pocos tuestos recuperados en la zona que dan un fechamiento indirecto, y por las fuentes que hay para la época.

A partir de los resultados obtenidos se cumple con la hipótesis planteada, según la cual es posible identificar indicadores para reconocer y diferenciar la minería prehispánica de la moderna. Los indicadores basados en los perfiles de suelo-estratigrafía y en la dendrocronología, son económicos de bajo costo y fáciles de llevar a cabo. Junto con el otro indicador, fechamiento por radiocarbono, que es relativamente costoso, permitieron diferenciar la minería prehispánica del Postclásico Tardío de la moderna.

En suma, con el reconocimiento de los indicadores se pudo identificar un período extractivo del yacimiento de obsidiana de Sierra de las Navajas en el Postclásico Tardío-Colonia Temprana, señalado por el ^{14}C , mientras que la dendrocronología indica que en algún momento entre la Independencia y la Revolución no hubo actividad minera. Esto confirma la información de los mineros-artesanos del ejido El Nopalillo, según la cual hubo un tiempo de inactividad minera entre finales del siglo XIX y principios del XX y que al menos la zona de minas analizada estaba sin actividad significativa antes de la Revolución.

Bibliografía

- Álvarez del Castillo, Carlos; Javier Hernández y Alberto Villakamel. 2003. "Aprovechamiento y manejo de los recursos naturales en El Nopalillo, Hidalgo". En: Estudios etnobiológicos pasado y presente de México. Aurora Montúfar López Coord. INAH, pp.181-191.
- Argote-Espino D., Solé J., López-García. and Sterpone O. 2012. "Obsidian Subsource Identification in the Sierra de Pachuca and Otumba Volcanic Regions, Central Mexico, by ICP-MS and DBSCAN Statistical Analysis" *Geoarchaeology* 27, pp.48-62.
- Beta Analytic. Testing laboratory. 2022 <https://www.radiocarbon.com/>. Miami, Florida EUA. Última fecha de consulta junio 2022.
- Butzer, Karl. 1989. *Arqueología método y teoría para un enfoque contextual. Una Ecología del Hombre*. Ediciones Bellaterra, S.A. Barcelona, pp. 3-33-41-64.
- Challenger, Antony. 1998. *Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México. Pasado, presente y futuro*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Instituto de Biología. UNAM – Agrupación Sierra Madre, S.C. México, 847.
- Cobean, Robert. 1991. "Principales yacimientos de obsidiana en el Altiplano Central". En: *Arqueología. Revista de la dirección de Arqueología del INAH. Segunda Época. No. 5. Enero – Junio*, pp. 9-31.
- Cobean, Robert. 2002. *Un Mundo de Obsidiana: Minería y comercio de un vidrio volcánico en el México Antiguo*. INAH – University of Pittsburgh, pp.42-48.
- Cooke, R.U. y J.C. Doornkamp. 1978. *Geomorphology in Environmental Management. An Introduction*. Clarendon Press. Oxford, 413.
- Córdova, Carlos. 2018. *Geoarchaeology. The Human-Environmental Approach*. I.B. Tauris. London – New York, USA, pp. 5-19.
- Cruz Antillón, Rafael. 1994. *Análisis arqueológico del Yacimiento de Obsidiana de Sierra de las Navajas, Hidalgo. Serie Arqueología. Colección Científica. No. 281*. INAH, 132.
- Cruz-Pérez M. A., Canet C., Pastrana A., Domínguez-Peláez S., Morelos-Rodríguez L., Carcavilla L., Salgado-Martínez E., Krieger P., García-Alonso E. J., Martínez-Serrano R. G., Franco S. I., Castro-Romero T. G., Núñez-Velázquez M. V., Garcia-Vallès M. and Mora-Chaparro J. C. 2021 Green and Golden Obsidian of "Cerro de Las Navajas", Hidalgo (Mexico): Geoarchaeological heritage that deserves international recognition. *Geoheritage*, pp. 13, 92.

- García, Romero Arturo y Julio Muñoz Jiménez. 2002. El Paisaje en el Ámbito de la Geografía. Serie Temas Selectos de Geografía de México. III.2 del Instituto de Geografía – UNAM, 139.
- Geyne, A. R., Fries, Carl. 1963. Geología y Yacimientos Minerales del Distrito de Pachuca-Real del Monte, Estado de Hidalgo, México. Consejo de Recursos Naturales no renovables. Publicaciones S.E., 222.
- Gómez, Alberto Luis. 1980. El geógrafo español. ¿Aprendiz de brujo? Algunos problemas de la Geografía del Paisaje. Geocrítica. Cuadernos críticos de Geografía Humana. Universidad de Barcelona. Año V. No. 25. Enero, 43.
- González, Rul, Francisco. 1972. "Sobre las minas de obsidiana del Cerro Pelón, Hidalgo". Boletín INAH, Época II. Octubre-Diciembre INAH.
- Goudie, Andrew. 2000. The Human Impact on the Natural Environment. Fifth edition. The MIT Press. Cambridge, Massachussets, 511.
- Gutiérrez, Emilia. 2009. La dendrocronología: métodos y aplicaciones. Universidad de Barcelona. España. Enero 2009, pp.1-16
- Humboldt, Alejandro Von. 2004. Ensayo político sobre el reino de la Nueva España. Ed. Porrúa, Colección Sepan Cuantos Num. 39. Séptima Edición, pp.204. (Trabajo publicado originalmente en español en 1822).
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (México), (INEGI) 1983 Carta Topográfica Tulancingo F14 D82 Esc 1:50,000,
1983a Carta Geológica Pachuca F14-11 Esc 1:250,000,
1992 Síntesis Geográfica del Estado de Hidalgo. INEGI
1998 Carta Topográfica Esc 1:50,000
- IUSS Working Group WRB. 2015. Base referencial mundial del recurso suelo 2014, actualización 2015. Sistema internacional de clasificación de suelos para la nomenclatura de suelos y la creación de leyendas de mapas de suelos. Informe sobre recursos mundiales del suelo. 106. FAO, Roma, ISBN 978-92-5-308369-5, 206.
- Jordán L, Antonio. 2005. Manual de edafología. Departamento de cristalografía, mineralogía y química agrícola de la Universidad de Sevilla, curso 2005-2006, España, pp.143.
- Lighthart Ponomarenko A. 2004 The Pachuca obsidian source, Hidalgo, Mexico: A geoarchaeological perspective. Geoarchaeology 19, pp.95-97.

- Martínez-Serrano R. G., Núñez-Velázquez M. V., Contreras-Cruz D., García-Tovar G. P., Torres-Peralta M. A., Solís-Pichardo G, and Canet C. 2022 On the unusual presence of a Quaternary peralkaline volcanic center, rear-arc region of the Trans-Mexican Volcanic Belt eastern sector: geochemical and isotopic characterization of the Las Navajas–Hidalgo stratovolcano. *International Journal of Earth Sciences* pp.111, 1983-2015.
- Niederberger, Christine B. 1976. Zohapilco, Cinco milenios de ocupación humana en un sitio lacustre de la Cuenca de México. INAH Colección Científica No. 30, 301.
- Ordóñez, Ezequiel. 1900. Las Rhyolitas de México. Primera Parte. Boletín del Instituto Geológico de México. No. 14, 75.
- Ordóñez, Ezequiel. 1901. Las Rhyolitas de México. Segunda Parte. Boletín del Instituto Geológico de México. No. 15, 75.
- Palacio-Prieto, J.L. y Lorenzo Vázquez Selem. 1990. Relative importance of modelling processes in badland solpes. An example in central Mexico. *Z. Geomorph. N. F.* 34. 3 September, Berlin – Stuttgart, pp. 301-306
- Pastrana, Alejandro. 1998. La Explotación Azteca de la Obsidiana en la Sierra de las Navajas. Serie Arqueología. Colección Científica. No. 383. INAH, pp. 33, 53, 61, 69.
- Popper, Karl. 1973. The Poverty of Historicism. En: *Modes of individualism and collectivism*. O'Neil, J. (Ed.) Heineman. London.
- Reimer, P., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J., Blackwell, P., Ramsey, C., Van der Plicht, J. 2013. IntCal13 and Marine13 Radiocarbon Age Calibration Curves 0–50,000 Years cal BP. *Radiocarbon*. 55 (4), pp.1869-1887.
- Sánchez Pérez Serafín. 2005. Descripción de perfiles estratigráficos en campo, análisis físico-químico de suelos y sedimentos. INAH-ENAH, D.F. México pp.9-21.
- Schaetzl, Randall y Sharon Anderson. 2005. *Soils: Genesis and Geomorphology*. Cambridge University Press. New York, USA, pp. 465-468, 619-622.
- Schiffer, Michael B. 1972. "Archaeological Context and Systemic Context". En: *American Antiquity*. Vol. 37 No. 2, Society for American Archaeology, pp. 156-165.
- Schönleber R, Ivonne y Jannu Lira A. 2007. La Minería de la Obsidiana Actual y Prehispánica en la Sierra de las Navajas, Hidalgo. Un Enfoque Arqueológico, Etnográfico y Geológico. Tesis de Licenciatura en Arqueología. SEP-ENAH. México pp. 1-191.

- Siebe, Christina, Reinhold Jahn y Karl Stahr. 2017. Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en el campo. 3ª Edición (revisada, corregida y aumentada), Instituto de Geología, UNAM, universidad de Halle, y de Hohenheím, Alemania, 57.
- Spence Michel W y Jeffrey Parsons. 1967. "Prehispanic Obsidian Mines in Southern Hidalgo". En *American Antiquity*. Vol.32 No.4 Society for American Archaeology, pp. 542-543.
- Stein, Julie K. 2001. A Review of Site Formation Processes and Their Relevance to Geoarchaeology. En: *Earth Science and Archaeology*. Ed. Goldberg, Paul; Vance Holliday and Reid Ferring. Kluwer Academic/Plenum Publishers, pp. 37-51.
- Stuiver, M., Reimer, P.J. 1993. Extended 14C. Data base and revised calib 3.0 14C age calibration program. *Radiocarbon*. 35 (1), pp.215-230.
- Vázquez Selem, Lorenzo y J Alfred Zinck. 1994a. A Pre-Hispanic Period of Accelerated Soil Erosion in Huasca area, State of Hidalgo, Central Mexico, in *Proceedings 15th World Congress of Soil Science, Acapulco, Mexico, July 1994, Volume 6b, International Society of Soil Science*, pp. 185-186.
- Vázquez Selem, Lorenzo y J Alfred Zinck. 1994b. Modelling gully distribution on volcanic terrains in the Huasca area, central Mexico. En *ITC Journal*, pp.238-251.
- Villanueva D, José, Cerano Julián, Stahle D., Therrel M., Cleaveland M., Sánchez Ignacio, 2004. Elementos básicos de la dendrocronología y sus aplicaciones en México. Instituto nacional de investigaciones forestales, agrícolas y pecuarias. Centro nacional de investigación disciplinaria en relación agua-suelo-planta-atmósfera. Laboratorio de dendrocronología. CENID-RASPA. Folleto Técnico No. 2. Gómez Palacio, Dgo. México, 48.
- Villanueva D, José, Cerano Julián, Constante Vicenta, Montes Luís Enrique, Vázquez Lorenzo. 2009. Muestreo Dendrocronológico: colecta, preparación y procesamiento de núcleos de crecimiento y secciones transversales. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y pecuarias. Centro nacional de investigación disciplinaria en relación agua-suelo-planta-atmósfera. CENID-RASPA. Coyoacán, D.F, México, pp. 7-17.

Anexos

1. Hojas de descripción e interpretación de los perfiles de suelo

Perfil CARSN1

Localidad: Sierra de las Navajas. Se denominó Mina azul con maguey.

Número de perfil: 1

Nombre del sitio: CARSN1 (Figura. 38)

Clasificación del suelo:

WRB: Spolic Technosol (Eutric, Archaic, Arenic, Ochric, Hyperartefactic, Technoskeletal, Tephric, Thapto-Cambic) USDA.

Fecha de la descripción: 19/11/2010 en campo y 06/10/2022 en laboratorio

Autor: Ivonne Schönleber, Lorenzo Vázquez Selem

Localización: coordenadas UTM E0544893, N2220683, WGS84

Altitud: 2931 msnm error de 6 metros

Forma del terreno:

Posición en el relieve: Ladera de barranca

Pendiente: inclinación: 4° a 6°, Exposición: S

Uso de suelo o vegetación: Minería y silvicultura

Paisaje: Piedemonte

Clima: Cwb, semifrío subhúmedo con lluvias en verano, la temperatura media anual es de 22.6°C y la diferencia entre verano e invierno es de 05.9°C

Ubicación de la toma de la muestra para fechamiento¹⁴C: la muestra se tomó en la pared Sur entre los 110 cm y 116 cm (horizonte 3Ah). (Profundidad total del perfil: 190 cm).

Fechas calibradas de la muestra ¹⁴C: 1251-1384 cal AD (1-sigma); 1212-1395 cal AD (2-sigma).

Información acerca del suelo

Material parental: escombros de mina con fragmentos de obsidiana sobre depósitos piroclásticos riolíticos

Drenaje natural: bien drenado.

Condiciones de humedad en el perfil: fresco.

Profundidad al manto freático: desconocida.

Presencia de rocas superficiales: sí.

Presencia de sales o soda: ninguna.

Influencia humana: minería.



Figura 38. Vista general del perfil CARSN 1 (Izq.), Detalle del tocón fechado por dendrocronología y el área del perfil (Der.). Fotos Ivonne Schönleber Riusech (mayo 2010)

Perfil
0 – 4 cm Ah1
4 – 9 cm Ah2
9 – 20 cm C1 (Relleno cultural) /desecho de talla con obsidiana “in situ”
28 – 60 cm C2 (Relleno cultural) /desecho de talla con obsidiana “in situ”
60 – 69 cm C3 (Relleno cultural) /desecho de talla con obsidiana “in situ”
69 – 90 cm C4 (Relleno cultural) /desecho de talla con obsidiana “in situ”
90 – 94 cm C5 (Relleno cultural) /desecho de talla con obsidiana “in situ”
94 – 96 cm 2Ah son dos bolsas ambas contienen carbón

96 -110 cm 2C (Relleno cultural) /desecho de talla con obsidiana "in situ"
110 - 116 cm 3Ah suelo enterrado con presencia de carbón (de aquí se tomó la muestra para el fechamiento ¹⁴ C)
116 – 122 cm 3AB
122 – 190 cm 3Bw

Descripción breve del perfil. Siebe (2017) e Interpretación

La zona está alterada por la actividad minera de la obsidiana desde la época prehispánica hasta el presente. El perfil tiene 190 cm de profundidad, de los cuales los 110 cm superficiales consisten en varias capas de escombros de mina con abundantes artefactos de obsidiana, y un horizonte Ah incipiente sepultado a 94-96 cm; debajo de 110 cm hay un perfil sepultado con rasgos cámbicos. El conjunto es entonces un Technosol sepultando aun Cambisol. Hay alternancia en las texturas, el pH varía de 6 a 7 (ligeramente ácido a muy ligeramente alcalino), libre de carbonatos en todo el perfil, con una estabilidad de agregados de muy alta a nula por la alteración causada por la minería, y solo en el último horizonte analizado hay una reacción muy ligera ((+)) de Al activo.

Descripción del perfil

-Ah1 (0-4 cm) tiene una textura AC (arenosa franca) es muy arenosa, abrasiva y se agrieta al presionarla, sus colores en seco son 7.5YR 2.5/2 y en húmedo 10YR 2/1, con un pH de 6 (moderado a ligeramente ácido), con contenido de CaCO₃ de reacción invisible e inaudible lo que quiere decir que está libre de carbonatos (K₀), la estabilidad de agregados es muy alta y la prueba de Al activo fue negativa.

-Ah2 (4-9 cm) tiene una textura CLf (franco limosa fina) es adhesiva, harinosa y se agrieta fácilmente, sus colores en seco son 7.5YR 2.5/3 y en húmedo 10YR 2/1, con un pH de 6 (moderado a ligeramente ácido), con contenido de CaCO₃ de reacción invisible e inaudible (K₀), la estabilidad de agregados es alta y la prueba de Al activo fue negativa.

-C1 (9-20 cm) tiene una textura CR-CRA (franco arcillosa-franco arcillo arenosa) casi no se perciben granos de arena, no se siente muy abrasiva y no moldeable, es

intermedia, sus colores en seco son 7.5YR 2.8/1 y en húmedo 7.5YR 5/2, con un pH de 5.5 (fuerte a moderadamente ácido), con contenido de CaCO₃ de reacción invisible e inaudible lo que quiere decir que está libre de carbonatos (K₀), la estabilidad de agregados es moderada y el Al activo fue negativa.

-C2 (28-60 cm) tiene una textura AC (arenosa franca) es muy arenosa y abrasiva, queda material en las manos, sus colores en seco son 2.5YR 7/2 y en húmedo 2.5YR 5/4, con un pH de 6 (moderado a ligeramente ácido), con contenido de CaCO₃ de reacción invisible e inaudible lo que quiere decir que está libre de carbonatos (K₀), la estabilidad de agregados es nula ya que no hay agregados, el grano es simple, es una masa de arena y el Al activo fue negativa.

-C3 (60-69 cm) tiene una textura CLf (franco limosa fina) adhesiva, harinosa y se agrieta al presionarla, sus colores en seco son 10YR 8/4 y en húmedo 10YR 6/4, con un pH de 6.5 (ligera a muy ligeramente ácido), con contenido de CaCO₃ de reacción invisible e inaudible lo que quiere decir que está libre de carbonatos (K₀), la estabilidad de agregados es moderada, pero el agua se puso muy turbia al moverlo y el Al activo fue negativa.

-C4 (69-90 cm) tiene una textura AC (arenosa franca) es muy arenosa y abrasiva, queda material en las manos, sus colores en seco son 10YR 2.8/1 y en húmedo 2.5YR 5/4, con un pH de 6 (moderado a ligeramente ácido), con contenido de CaCO₃ de reacción invisible e inaudible lo que quiere decir que está libre de carbonatos (K₀), la estabilidad de agregados es nula ya que no hay agregados el grano es simple y el Al activo fue negativa.

-C5 (90-94 cm) tiene una textura CR (franco arcillosa) la superficie de la muestra es opaca, se siente muy poco los granos de arena y no es abrasiva, sus colores en seco son 10YR 8/2 y en húmedo 10YR 5/4, con un pH de 6.5 (ligera a muy ligeramente ácido), con contenido de CaCO₃ de reacción invisible e inaudible lo que quiere decir que está libre de carbonatos (K₀), la estabilidad de agregados es moderada y el Al activo fue negativa.

-2Ah (94-96 cm) tiene una textura CRA-CR (franco arcillosa arenosa-franco arcillosa) la muestra no es moldeable, se pega, es ligeramente abrasiva con superficie opaca, sus colores en seco son 7.5YR 8/1 y en húmedo 7.5YR 2.5/2, con un pH de 7 (muy ligeramente ácido a muy ligeramente alcalino), con contenido de CaCO₃ de reacción invisible e inaudible lo que quiere decir que está libre de carbonatos (K₀), la estabilidad de agregados es moderada y el AI activo fue negativa.

-2C (96-110 cm) tiene una textura RA (arcillo arenosa) la muestra tiene una superficie entre opaca y ligeramente brillante con granos en los que se siente la arena y es un poco abrasiva, sus colores en seco son 10YR 8/3 y en húmedo 7.5YR 5/3, con un pH de 6.5 (ligera a muy ligeramente ácido), con contenido de CaCO₃ de reacción invisible e inaudible lo que quiere decir que está libre de carbonatos (K₀), la estabilidad de agregados es moderada y el AI activo fue negativa.

-3Ah (110-116 cm) tiene una textura CR (franco arcillosa) la muestra tiene un brillo tenue, casi no se percibe arena y no se siente abrasiva, sus colores en seco son 10YR 5/1 y en húmedo 7.5YR 2.5/1, con un pH de 7 (muy ligeramente ácido a muy ligeramente alcalino), con contenido de CaCO₃ de reacción invisible e inaudible lo que quiere decir que está libre de carbonatos (K₀), la estabilidad de agregados es muy alta y el AI activo fue negativa. (La toma de la muestra de carbón para el fechamiento ¹⁴C se realizó en la pared sur entre los 110 a 116 cm).

-3AB (116-122 cm) tiene una textura CR (franco arcillosa) la muestra es con un brillo tenue, casi no se percibe arena y no se siente abrasiva, sus colores en seco son 10YR 8/1 y en húmedo 10YR 3/4, con un pH de 6.5 (ligera a muy ligeramente ácido), con contenido de CaCO₃ de reacción invisible e inaudible lo que quiere decir que está libre de carbonatos (K₀), la estabilidad de agregados es muy alta y el AI activo fue negativa.

-3Bw (122-190 cm) tiene una textura CRL (franco arcillo limosa) la muestra es ligeramente harinosa, se agrieta muy poco y es muy moldeable, sus colores en seco son 10YR 8/4 y en húmedo 10YR 3/6, con un pH de 7 (muy ligeramente ácido a muy

ligeramente alcalino), con contenido de CaCO_3 de reacción invisible e inaudible lo que quiere decir que está libre de carbonatos (K0), la estabilidad de agregados es moderada y el Al activo fue muy ligeramente positivo ((+)).

Interpretación de las características de suelo

Procesos pedogenéticos dominantes

Por encima de las dos primeras capas ubicadas en los primeros 9 cm, hay una vegetación somera en la que se observa un maguey y pequeños pinos sembrados para la reforestación, acículas de los pinos aledaños, así como, matorrales de encinos. Todo ha sido alterado por el proceso minero. Debajo de esto se identificaron los siguientes horizontes: un Ah1 y Ah2 que es un horizonte A con humus por la presencia de materia orgánica, generándose un suelo joven.

En todo el perfil la prueba de Al activo fue negativa (con la excepción del horizonte más profundo, donde la reacción fue visible pero muy tenue) por lo que no tiene las características de un horizonte Ándico o Víttrico.

Los horizontes denominados C (relleno cultural de escombros de mina) fueron 5, que subyacen a los horizontes Ah, constan de lascas, núcleos y fragmentos de obsidiana consecuencia del trabajo minero y artesanal, se localizan entre los 9 y los 94 cm de profundidad, son una mezcla entre restos de coloración aparentemente negra y una matriz clara de tobas con un alto contenido de vidrio volcánico microscópico.

La evidencia minera es por el trabajo que se ha realizado en el área desde la época prehispánica hasta nuestros días, en cuanto a los artefactos de obsidiana es porque se ha utilizado también como zona de vertederos de los restos del trabajo que se llevan a cabo por los mineros/artesanos tanto en el lugar al momento del descanso (patio de mina), como de lo que se trae de las casas donde se producen artesanías de obsidiana (desecho de la talla artesanal de la obsidiana).

La erosión va de moderada a baja.

En el 2Ah vuelve a haber presencia de materia orgánica humificada, se trata de un suelo incipiente durante un período corto de cese de la actividad minera, que queda sepultado al reanudarse ésta.

El 2C es un relleno cultural causado por el trabajo minero y artesanal sobre el que se formó el 2Ah.

El 3Ah tiene un color más oscuro por la presencia del carbón a diferencia de los dos horizontes que lo enmarcan (suprayacente y subyacente), el desarrollo de este junto con la materia orgánica fue un tiempo en el cual no sufrió de alteración alguna y permite que sea distinguible de las otras capas. Presenta fragmentos de carbón; en la pared sur se tomó una muestra que fue fechada por la técnica de ^{14}C , teniendo como resultado 1251-1384 AD (1-sigma) ó 1212-1395 AD (2-sigma) luego de realizada la calibración del dato; estas fechas corresponden al Postclásico para el centro de México.

3AB en general es parecida a la muestra anterior en cuanto a tener coloración, textura y estructura similar observada en campo, a excepción del pH, con un color pardo claro y restos de artefactos menores a los del relleno cultural (de 1 a 2 cm de dimensión), los límites del horizonte suprayacente son muy difusos.

Además de tener una acumulación de materia orgánica humificada (A), tiene características de un horizonte (B) que muestra alteraciones de las condiciones originales del material parental por presentar estructuras subangulares en bloques que son moderados. La combinación de estos dos es la transición entre un Ah y un Bw.

El horizonte 3Bw refleja alteración por la presencia de arcilla y una tonalidad rojiza. Cumple con los criterios de un horizonte Cámbico. La prueba del Al activo fue ligeramente positiva ((+)). Por ello este Cambisol, en términos de clasificación WRB, tendría el calificador Vitric si fuera el suelo clasificado.

Por debajo del 3Bw se encuentra lo que los mineros denominan la “capa chiclosa”, que tiene un color rojo café rojizo, y denota presencia de arcilla por su plasticidad al estar húmeda (Figura.39).

Todos los horizontes por encima del fechamiento corresponden a minería que inicia en el Postclásico al presente. La dendrocronología indica que los árboles que crecen sobre la superficie tienen 128 anillos (+5), y 120-130 anillos (+5).

El perfil en su conjunto puede describirse como un Technosol (0-110 cm) formado en escombros de mina de obsidiana, que sepulta a un Cambisol (110-190 cm) que era el suelo original del sitio antes del impacto de la minería. Jordán (2005)



Figura 39. Detalle de la “capa chiclosa” localizada por debajo del horizonte Bw cámbico. Foto Ivonne Schönleber (julio 2022)

Perfil CARSN2

Localidad: Sierra de las Navajas (Mina Pelcastre).

Número de perfil 2

Nombre del sitio: CARSN2, (Figura. 40)

Clasificación del suelo:

WRB: Spolic Technosol (Eutric, Archaic, Loamic, Ochric, Hyperartefactic, Technoskeletal, Tephric, Thapto-Cambic). USDA.

Fecha de la descripción: 27/10/2010 en campo y 06/10/2022 en laboratorio

Autor: Ivonne Schönleber, Lorenzo Vázquez Selem

Localización: coordenadas UTM E0545027, N2220776, WGS84

Altitud: 2954 msnm error de 6 metros

Forma del terreno:

Posición en el relieve: Ladera de barranca

Pendiente: inclinación: 4° a 6°, Exposición: W

Uso de suelo o vegetación: Minería y silvicultura

Paisaje: Piedemonte

Clima: Cwb, semifrío subhúmedo con lluvias en verano, la temperatura media anual es de 22.6°C y la diferencia entre verano e invierno es de 05.9°C

Ubicación de la toma de la muestra: La muestra se obtuvo de la cara Oeste de la pared del túnel de la mina

Las medidas son en centímetros.

340 cm tiene el perfil de altura total en la parte vertical, desde ahí hasta los 405 cm en una pared inclinada.

Ubicación de la toma de la muestra para fechamiento¹⁴C: la muestra se tomó a 118 – 120 cm (horizonte 3Ah).

Fechas calibradas de la muestra ¹⁴C: 1328-1617 AD (1-sigma); 1307-1636 AD (2-sigma).

Información acerca del suelo

Material parental: escombros de mina con fragmentos de obsidiana, que sepulta a un suelo desarrollado en depósitos piroclásticos riolíticos.

Drenaje natural: bien drenado, tiene erosión laminar.

Condiciones de humedad en el perfil: fresco.

Profundidad al manto freático: desconocida.

Presencia de rocas superficiales: sí.

Presencia de sales o soda: ninguna.

Influencia humana: minería.



Figura 40. Vista general de CARSN2. Foto Jannu Lira Alatorre (mayo 2010)

Perfil
0 – 6 cm Ah
6 – 15 cm AC
15 – 26 cm AC
26 – 34 cm C (relleno cultural: desecho de mina y talla de obsidiana)

34 – 61 cm 2Ah
61 – 118 cm 2C (relleno cultural: desecho de mina y talla de obsidiana)
118 – 120 cm 3Ah Suelo enterrado con presencia de carbón.
120 – 124 cm 3C (relleno cultural: desecho de mina y talla de obsidiana)
124 – 162 cm 4Ah
162 – 204 cm 4BW
204 – 340 cm 4C

Descripción breve del perfil e interpretación

La zona está alterada por la actividad minera de la obsidiana desde la época prehispánica hasta el presente. El perfil tiene 340 cm de profundidad. De 0 a 124 cm consta de varios depósitos de escombros de mina, con artefactos de obsidiana muy abundantes. Por debajo de 124 cm se encuentra un suelo sepultado con rasgos de Cambisol. Hay alternancia en las texturas, el pH varía de 6 a 6.5 (ligeramente ácido a muy ligeramente ácido), libre de carbonatos en todo el perfil, con una estabilidad de agregados de muy alta a baja por la alteración causada por la minería que es muy fuerte en esta área. Solo en el horizonte de 124 -162 cm hubo una reacción ligera (+) a la prueba de Al activo.

Descripción del perfil

-Ah (0-6 cm) tiene una textura AC (arenosa franca) es muy arenosa, abrasiva y se agrieta al presionarla, sus colores en seco son 7.5YR 8/1 y en húmedo 7.5YR 3/2, con un pH de 6 (moderado a ligeramente ácido), con contenido de CaCO₃ de reacción invisible e inaudible lo quiere decir que está libre de carbonatos (K₀), la estabilidad de agregados es muy alta y la prueba de Al activo fue negativa. Pedregosidad 25% Cg, estructura sbk, m, débil, densidad aparente de alta a mediana, densidad de raíces es de mediana a alta, el límite del horizonte es gradual uniforme.

-AC₁ (6-15 cm) tiene una textura AC (arenosa franca) es muy arenosa, abrasiva y se agrieta al presionarla, sus colores en seco son 10YR 7/1 y en húmedo 7.5YR 4/3, con un pH de 6 (moderado a ligeramente ácido), con contenido de CaCO₃ de

reacción invisible e inaudible lo quiere decir que está libre de carbonatos (K0), la estabilidad de agregados es muy alta y la prueba de Al activo fue negativa. Pedregosidad 30% Cg, estructura sbk, g, débil moderada, densidad aparente de alta a mediana, densidad de raíces es alta, el límite del horizonte es gradual uniforme.

-AC₂ (15-26 cm) tiene una textura CA (franco arenosa) es adhesiva, se adhiere ligeramente, sus colores en seco son 7.5YR 8/1 y en húmedo 10YR 8/3, con un pH de 6 (moderado a ligeramente ácido), con contenido de CaCO₃ de reacción invisible e inaudible lo quiere decir que está libre de carbonatos (K0), la estabilidad de agregados es alta y al hacerle la prueba se enturbió el agua; prueba de Al activo fue negativa. Pedregosidad 30% Cg, estructura sbk, g, débil, densidad aparente mediana, densidad de raíces es alta, el límite del horizonte es abrupto uniforme.

-C (26-34 cm) tiene una textura CRA (franco arcillo arenosa) no moldeable, se adhiere al dedo, es abrasiva y se perciben los granos de arena, sus colores en seco son 10YR 5/3 y en húmedo 7.5YR 2.5/2, con un pH de 6 (moderado a ligeramente ácido), con contenido de CaCO₃ de reacción invisible e inaudible lo quiere decir que está libre de carbonatos (K0), la estabilidad de agregados es muy alta y tiene fragmentos de obsidiana; prueba de Al activo negativa. Pedregosidad 5% Cf, estructura subangular en bloque y angular, muy débil, densidad aparente baja, densidad de raíces es extremadamente alta, el límite del horizonte es gradual ondulado.

-2Ah (34-61 cm) tiene una textura CRA (franco arcillo arenosa) no moldeable, se adhiere al dedo, es abrasiva y se perciben los granos de arena, sus colores en seco son 10YR 6/1 y en húmedo 10YR 2/2, con un pH de 6.5 (muy ligeramente ácido), con contenido de CaCO₃ de reacción invisible e inaudible lo quiere decir que está libre de carbonatos (K0), la estabilidad de agregados es muy alta y tiene fragmentos de obsidiana; la prueba de Al activo fue negativa. Pedregosidad 40-50% Cg, estructura subangular en bloque, fina, moderado, densidad aparente mediana,

densidad de raíces extremadamente alta, el límite del horizonte es gradual ondulado.

-2C (61-118 cm) tiene una textura C-CLf (franca franco limosa fina) es abrasiva, se agrieta al presionarla, ligeramente harinosa y es algo moldeable, su color en seco es 10YR 8/2 y en húmedo 10YR 6/3, con un pH de 6 (moderado a ligeramente ácido), con contenido de CaCO₃ de reacción invisible e inaudible lo que quiere decir que está libre de carbonatos (K₀), la estabilidad de agregados es baja y tiene fragmentos de pómez e hizo burbujas además se enturbió el agua y la prueba de Al activo fue negativa. Pedregosidad 25-30% Cg, estructura masivo subangular en bloque, gruesa, débil, densidad aparente alta, densidad de raíces mediana, el límite del horizonte es abrupto uniforme.

-3Ah (118-120 cm) tiene una textura CR (franco arcillosa) brillo tenue, no se sienten casi los granos de arena, no es abrasiva, sus colores son: en seco 10YR 7/2 y en húmedo 10YR 4/2, con un pH de 6 (moderado a ligeramente ácido), con contenido de CaCO₃ de reacción invisible e inaudible lo que quiere decir que está libre de carbonatos (K₀), la estabilidad de agregados es mediana ya que hay mucho carbón y algunos flotaron al hacer la prueba; la prueba de Al activo fue negativa. Pedregosidad 2% Cf, estructura subangular en bloque, gruesa, moderado, densidad aparente alta, densidad de raíces alta, el límite del horizonte es gradual ondulado. La toma de la muestra de carbón para el fechamiento se realizó en la pared oeste.

-3C (120-124 cm) tiene una textura CR (franco arcillosa) brillo tenue, no se sienten casi los granos de arena, no es abrasiva, sus colores en seco son 7.5YR 8/2 y en húmedo 7.5YR 4/4, con un pH de 6 (moderado a ligeramente ácido), con contenido de CaCO₃ de reacción invisible e inaudible lo que quiere decir que está libre de carbonatos (K₀), la estabilidad de agregados es alta; la prueba de Al activo fue negativa. Pedregosidad 2% Cf, estructura subangular en bloque, gruesa, moderado, densidad aparente mediana, densidad de raíces mediana, el límite del horizonte es claro ondulado.

-4Ah (124- 162 cm) tiene una textura CLf (franco limosa fina) adhesiva, harinosa, se agrieta fácilmente, sus colores en seco son 10YR 8/3 y en húmedo 7.5YR 4/4, con un pH de 6.5 (muy ligeramente ácido), con contenido de CaCO_3 de reacción invisible e inaudible lo que quiere decir que está libre de carbonatos (K0), la estabilidad de agregados es muy alta; la prueba de Al activo fue ligeramente positiva. Pedregosidad 2% Gf, estructura subangular en bloque, gruesa, débil moderado, densidad aparente mediana, densidad de raíces mediana, el límite del horizonte es difuso uniforme.

-4Bw (162-204 cm) tiene una textura CRL (franco arcillo-limosa) ligeramente harinosa, casi no se agrieta, muy moldeable, sus colores en seco son 10YR 8/4 y en húmedo 10YR 6/8, con un pH de 6.5 (muy ligeramente ácido), con contenido de CaCO_3 de reacción invisible e inaudible lo que quiere decir que está libre de carbonatos (K0), la estabilidad de agregados es alta, se enturbió y la prueba de Al activo fue negativa. Pedregosidad 2% Cf, estructura subangular en bloque, gruesa, débil moderado, densidad aparente mediana, densidad de raíces baja, el límite del horizonte es gradual ondulado.

-4C (204-340 cm) tiene una textura C (franca) ligeramente harinosa, es abrasiva, se agrieta al presionar, sus colores en seco son 7.5YR 8/2 y en húmedo 7.5YR 6/2, con un pH de 6.5 (muy ligeramente ácido), con contenido de CaCO_3 de reacción invisible e inaudible lo que quiere decir que está libre de carbonatos (K0), la estabilidad de agregados es muy alta; y la prueba de Al activo fue negativa. Pedregosidad 40% Cm, estructura masiva, densidad aparente alta, densidad de raíces muy baja, el límite del horizonte no se observa por ser el límite visible.

Interpretación de las características de suelo

Procesos pedogenéticos dominantes

En superficie hay una vegetación somera en la que se observan pequeños pinos sembrados para la reforestación, acículas de los pinos aledaños, así como matorral de encinos y variantes de Festucas, Stipas, Vulpias y Eringiun (Figura. 41 y 42). Además de erosión laminar.



Figura 41. Stipa (Der), Vulpia (Izq). Fotos Ivonne S. Schönleber R y Jannu Lira Alatorre (octubre 2009)



Figura 42. Eryngium (Izq.), Festuca y Eryngium (Der.). Fotos Ivonne Schönleber y Jannu Lira (octubre 2009)

Todo ha sido alterado por el proceso minero. Se identificaron los siguientes horizontes: un horizonte Ah y dos AC por acumulación de materia orgánica humificada sobre el escombros de mina más reciente (C).

Los horizontes C (relleno cultural) que subyacen a los horizontes Ah, 2Ah, y 3Ah constan de lascas, núcleos y fragmentos de obsidiana consecuencia del trabajo minero y artesanal, con clastos de riolita, en una matriz que parece toba con un alto contenido de vidrio volcánico microscópico; la prueba de Al fue negativa en todos los casos.

En el 2Ah y 3Ah hay presencia de materia orgánica porque hay humus y restos muy chicos de artefactos de obsidiana. Del 3Ah proviene el carbón que fue fechado por ^{14}C , indicando una edad del Postclásico tardío a la Colonia temprana. 3C también es relleno cultural causado por la minería, debajo del 3Ah.

4Ah es un horizonte con materia orgánica y representa la superficie de un suelo sepultado por la minería. 4Bw es un horizonte mineral que no tiene mucha pedregosidad y se caracteriza por un contenido de arcilla cercano al 30%, un color rojizo y una estructura bien desarrollada que permiten caracterizarlo como un horizonte diagnóstico Cámbico. 4C es el material parental, un depósito de flujo piroclástico riolítico (Figura.43 y 44)

El impacto de la actividad minera en el área inició desde la época prehispánica, se ha utilizado como zona de vertederos de los desechos del trabajo de los mineros/artesanos (patio de mina), así como, de lo que se trae de las casas donde se realiza el trabajo de talla artesanal.

En suma, el perfil puede caracterizarse como un Technosol formado en tres etapas de depósito de escombros de mina (C, 2C, 3C) tras las cuales se acumuló materia orgánica humificada en su superficie (Ah, 2Ah, 3Ah). Este Technosol sepulta a un Cambisol (4Ah-4Bw-4C), que era el suelo original del área antes de la minería. Este Cambisol, en términos de clasificación WRB, tendría el calificativo Vitric si fuera el suelo primario clasificado, ya que presenta reacción tenue en la prueba de Al activo en sus primeros 38 cm (4Ah) Jordán (2005).



Figura 43. CARSN2 perfil completo (Izq.); parte media y superior del perfil, suelo enterrado (Der.). Fotos Jannu Lira Alatorre (mayo 2010)



Figura 44. Suelo enterrado (3Ah) de donde se tomó la muestra CARSN2 para fechamiento ^{14}C . Foto Ivonne Schönleber Riusech (mayo 2010).

Perfil CARSN3

Localidad: Sierra de las Navajas.

Número de perfil 3

Nombre del sitio: CARSN3 (Figura. 45).

Clasificación del suelo:

WRB: SpolicTechnosol (Eutric, Archaic, Loamic, Hyperartefactic, Technoskeletal, Tephric, Thapto-Cambic) [clasificación tentativa basada en descripción general y comparación con perfiles vecinos] USDA.

Fecha de la descripción: 8/05/2010 en campo.

Autor Ivonne Schönleber, Lorenzo Vázquez Selem.

Localización: coordenadas UTM E E0544975, N2220731 WGS84.

Altitud: 2951 msnm, con 4 metros de error.

Forma del terreno:

Posición en el relieve: Ladera de barranca.

Pendiente:

Exposición: W.

Uso de suelo o vegetación: Minería y silvicultura.

Paisaje: Piedemonte.

Clima: Cwb, semifrío subhúmedo con lluvias en verano, la temperatura media anual es de 22.6°C y la diferencia entre verano e invierno es de 05.9°C.

Ubicación de la toma de la muestra: la muestra se tomó en la pared oeste entre los 202 cm y 204 cm.

Las medidas son en centímetros.

400 cm tiene el perfil de altura total donde se tomó la muestra.

Fechas calibradas (1303-1475 * 1284-1633 Cal A.D.)

Información acerca del suelo

Material parental: escombros de mina con fragmentos de obsidiana, que sepultan a un suelo formado a partir de depósitos piroclásticos riolíticos.

Drenaje natural: bien drenado.

Condiciones de humedad en el perfil: desconocida.

Profundidad al manto freático: desconocida.

Presencia de rocas superficiales: sí.

Presencia de sales o soda: ninguna.

Influencia humana: minería.



Figura 45. Entrada a mina CARSN3 (Izq.), perfil completo CARSN3 (Der.). Foto Ivonne Schönleber Riusech (mayo 2010)

Perfil
0 – 3 cm AC
3 –200 cm 2C
200 – 204 cm 3Ah
204 – 208 cm 3AB
208 – 270 cm 3BW
270 – 400 cm 3C

Descripción breve del perfil. Siebe (2017) e Interpretación

El perfil tiene 400 cm de profundidad. Consta de dos capas de escombro de mina (representadas por los horizontes superficiales AC 2C) que en conjunto pueden describirse como un Technosol. Éstas sepultan a un suelo preexistente (3Ah-3Bw-3C) con características de Cambisol.

Se tomó una muestra de carbón para fechamiento 14C a 202 a 204 cm (3Ah) que arroja una edad del Postclásico tardío a la Colonia temprana.

Descripción del perfil

Interpretación de las características de suelo

Procesos pedogenéticos dominantes

En el primer horizonte (AC, 1-3 cm) apenas hay una incipiente acumulación de materia orgánica humificada, por lo que se infiere una acumulación de escombro de mina muy reciente. El horizonte C también es relleno cultural de obsidias envueltas en una matriz de carácter arenoso con una profundidad muy amplia de 3 a 200 cm, de tonalidad café claro.

Sepultado por este relleno cultural hay un suelo caracterizado por una secuencia 3Ah-3Bw-3C, el suelo original previo a la ocupación humana y la minería. El 3Ah (200-204 cm) tiene materia orgánica humificada, de color café oscuro, de aquí se tomó la muestra de carbón para ser fechada, que arroja una edad dentro del Postclásico tardío y Colonia temprana (edad calibrada 1303-1475 AD, sigma-1; 1284-1633 AD sigma-2). En los 4 cm siguientes se tiene un 3AB, un horizonte de transición con presencia de materia orgánica. De 208 a 270 cm de profundidad hay un horizonte 3Bw, con color café claro ligeramente rojizo, con características de horizonte Cámbico, lo que permite clasificar este perfil enterrado como Cambisol. Por debajo (270-400 cm) se observa el material parental definido como un 3C con una tonalidad naranja a crema clara, consistente de flujo piroclástico riolítico con grava originado por el proceso volcánico de toda la región.

En conjunto, este perfil consiste en un Technosol (0-200 cm) que cubre al suelo original de la zona, que es un Cambisol (200-400 cm).

A 3 metros de distancia de este perfil se obtuvo un dato de dendrocronología, con clave SN22 con 119 anillos, lo que indica el año de 1891 para el establecimiento del árbol (coordenadas E0544972, N2220745, con 2952 msnm). De acuerdo con esto, hacia 1891 había cesado la acumulación de escombros de mina en el sitio.

Interpretación general de los CARSN

Los tres perfiles analizados (CARSN1, CARSN2, CARSN3) como indicadores para el reconocimiento de la actividad minera del pasado se clasificaron como Technosol por tener 20 % más o igual (en volumen, en promedio ponderado) de artefactos en el primer metro desde la superficie del suelo o hasta el material parental. Son suelos formados por una significativa cantidad de artefactos generados por humanos, extraídos de profundidades diferentes a las que se encuentran. IUSS Working Group WRB (2015). Como calificador primario se tiene un Spolic (>35% del volumen de artefactos son escombros de mina), y como calificadores secundarios cumplen con las siguientes características: Eutric, Archaic, Loamic (o Arenic), Ochric, Hiperartefactic, Technoskeletal, y Tephric. No presentan reacción a la prueba de Al activo, por lo cual no es probable el calificador secundario Vitric, pero como están formados en escombros de mina que consta de una matriz de depósito piroclástico poco intemperizado, admiten el calificador Tephric.

En el caso de SNPE3, aparentemente el material parental de este perfil de solo 19 cm de profundidad es escombros de mina, por lo que se trataría de un Technosol. Como en sus dos horizontes superficiales (0-19 cm) presenta reacción marcada a la prueba de Al activo, muy probablemente cumple con el calificador Vitric.

El material diagnóstico son artefactos líticos. Comprenden fragmentos de artefactos sin corteza de meteorización (córte), por encima de las que sí lo tienen.

Perfil SNPE3

Está en el cruce de la mina de arena y la cabaña del INAH, junto al letrero de área de reforestación 2009. (Figura.46)

Localidad: Sierra de las Navajas.

Número de perfil: 3.

Nombre del sitio: SNPE3

Clasificación del suelo:

WRB: [Spolic Technosol (Eutric, Archaic, Loamic, Ochric, Hyperartefactic, Technoskeletal, Vitric)]. Es una clasificación tentativa ya que el perfil es muy somero; sin embargo, por su ubicación y contexto, se infiere que está desarrollado en escombros de mina. USDA.

Fecha de la descripción: 14/06/2011 en campo y 06/10/2022 en laboratorio.

Autor Ivonne Schönleber, Lorenzo Vázquez Selem.

Localización: coordenadas UTM E0544877, N2221076, WGS84.

Altitud: 2959 msnm error de 6 metros.

Forma del terreno: convexo.

Posición en el relieve: Ladera de barranca.

Pendiente: inclinación: 7°, Exposición: E.

Uso de suelo o vegetación: Área de reforestación 2009.

Paisaje: Piedemonte.

Clima: Cwb, semifrío subhúmedo con lluvias en verano, la temperatura media anual es de 22.6°C y la diferencia entre verano e invierno es de 5.9°C.

Ubicación de la toma de la muestra:

19 cm tiene el perfil de profundidad total

Información acerca del suelo

Material parental: depósitos piroclásticos riolíticos.

Drenaje natural: bien drenado.

Condiciones de humedad en el perfil: fresco.

Profundidad al manto freático: desconocida.

Presencia de rocas superficiales: no.

Presencia de sales o soda: ninguna.

Influencia humana: minería.

Perfil
4.5 – 9 cm Ah
9 – 19 cm AC



Figura 46. SNPE3. Fotografía Jannu Lira (2011)

Descripción breve del perfil. Siebe (2017) e Interpretación

Suelo desarrollado a partir de escombro de mina de obsidiana acumulado desde la época prehispánica hasta el presente. Solo se describieron en campo los primeros 19 cm de profundidad, que no presentan artefactos. Las texturas son las mismas para ambos horizontes (CLf), el pH varía de 6 a 5.5 (ligeramente ácido a moderadamente ácido), libre de carbonatos en todo el perfil, con una estabilidad de agregados de muy alta a alta, y con una reacción muy fuerte ++ a fuerte + de Al activo.

El mantillo midió de 0 a 4.5 cm, se identificó como tipo moder, con una secuencia L-Of-(Oh)-Ah (Figura. 47).



Figura 47. Mantillo tipo Moder en el perfil SNPE3. Foto Jannu Lira Alatorre (2011)

Descripción del perfil

-Ah (4.5-9 cm) tiene una textura CLf (franco limosa fina) adhesiva, harinosa y se agrieta al presionarla, sus colores en seco son 7.5YR 6/4 y en húmedo 7.5YR 2.5/2, con un pH de 6 (ligeramente ácido), con contenido de CaCO₃ de reacción invisible e inaudible lo que quiere decir que está libre de carbonatos (K0), la estabilidad de agregados es muy alta y la reacción a la prueba de Al activo fue muy fuerte ++.

-AC (9-19 cm) tiene una textura CLf (franco limosa fina) adhesiva, harinosa y se agrieta al presionarla, sus colores en seco son 10YR 7/3 y en húmedo 7.5YR 3/3, con un pH de 5.5 (moderadamente ácido), con contenido de CaCO₃ de reacción

invisible e inaudible lo que quiere decir que está libre de carbonatos (K0), la estabilidad de agregados es alta y la reacción a la prueba de Al activo fue fuerte +.

Interpretación de las características de suelo

Procesos pedogenéticos dominantes

El uso de suelo es un bosque plantado de pinos de diferentes edades. El perfil es somero pero el contexto permite inferir que el material parental es escombros de mina. Se identificaron los siguientes horizontes: Ah y AC. Ha ocurrido una importante acumulación de materia orgánica humificada, que revela un período de estabilidad geomorfológica relativamente largo, probablemente de varias décadas, después del cese de la actividad minera en el sitio. La clasificación propuesta se basa en las observaciones generales y en la comparación con perfiles similares del área.

En ambos horizontes Ah y AC la prueba del Al activo fue positiva, por lo que tiene las características de un horizonte Ándico o más probablemente Vítico.

La siguiente clasificación es tentativa, pues no se observaron los horizontes del subsuelo. Se propone lo siguiente: Spolic Technosol (Eutric, Archaic, Loamic, Ochric, Hyperartefactic, Technoskeletal, Vitric). Los calificadores Spolic, Archaic, y Hyperartefactic, y Technoskeletal se asignan de manera tentativa, asumiendo que debajo de los horizontes descritos hay un escombros de mina similar al de otros perfiles cercanos.

Perfil SNPE4

Antigua entrada a las minas. Área reforestada a 100 m con presencia de cultivo actual en semiterrazas o terrazas falsas (metepantlis). Hay evidencia de metates, fragmentos de lascas y desecho de talla prehispánicos, todo a los alrededores.

Este perfil está junto al camino, pasando la casa del artesano Juan Castelán Mata (Figura.48).

Localidad: El Nopalillo.

Número de perfil: 4.

Nombre del sitio: **SNPE4** perfil 4, La Joya.

Clasificación del suelo:

WRB: Eutric Cambisol (Loamic, Ochric, Tephric). USDA.

Fecha de la descripción: 14/06/2011 en campo y 06/10/2022 en laboratorio.

Autor: Ivonne Schönleber, Jannu Lira, Lorenzo Vázquez Selem.

Localización: coordenadas UTM E0545326, N2219563, WGS84

Altitud: 2893 msnm error de 6 metros.

Forma del terreno: convexo.

Posición en el relieve: Piedemonte.

Pendiente: inclinación: desconocida, Exposición: NE.

Uso de suelo o vegetación: Agricultura con metepantlis, abundancia de magueyes, área de reforestación de encino/pino.

Paisaje: silvícola, antrópico y agrícola.

Clima: Cwb, semifrío subhúmedo con lluvias en verano, la temperatura media anual es de 22.6°C y la diferencia entre verano e invierno es de 5.9°C.

111 cm tiene el perfil de profundidad total.



Figura 48. Vista general del perfil SNPE4. Foto Jannu Lira Alatorre (2011).

Información acerca del suelo

Material parental: depósitos piroclásticos riolíticos.

Drenaje natural: bien drenado.

Condiciones de humedad en el perfil: fresco.

Profundidad al manto freático: desconocida.

Presencia de rocas superficiales: sí.

Presencia de sales o soda: ninguna.

Influencia humana: agricultura.

Perfil
0 – 27 cm Ah
27 – 41 cm AB
41 – 64 cm Bw1
64 – 97 cm Bw2

97 – 111 cm Cw1
111 cm Cw2

Descripción breve del perfil. Siebe (2017) e Interpretación

Este perfil se encuentra fuera de la zona de minas. Se utilizó para fines comparativos por presentar las características propias de la zona antes del impacto de la minería.

El sitio está alterado por la actividad agrícola (y en los alrededores por la minera de la obsidiana) desde la época prehispánica hasta el presente. El perfil tiene 111 cm de profundidad y una coloración café-rojiza en el subsuelo. La textura es franco arcillo limosa en superficie, predominantemente franco arcillosa en partes intermedias y arcillo arenosa en el subsuelo. El pH varía de 7 a 6 (muy ligeramente alcalino a ligeramente ácido), libre de carbonatos en todo el perfil, con una estabilidad de agregados de alta a baja, y sin reacción de Al activo.

Descripción del perfil

-Ah (0-27 cm) tiene una textura CRL (franco arcillo limosa) es ligeramente harinosa, no se agrieta y es muy moldeable, sus colores en seco son 10YR 6/3.5 y en húmedo 7.5YR 3/3, con un pH de 7 (muy ligeramente alcalino), con contenido de CaCO₃ de reacción invisible e inaudible lo que quiere decir que está libre de carbonatos (K0), la estabilidad de agregados es alta y la prueba de Al activo fue negativa. Pedregosidad 15%, estructura subangular en bloque, media, fuerte, densidad aparente media, densidad de raíces es muy alta, el límite del horizonte es gradual ondulado.

-AB (27-41 cm) tiene una textura CR (franco arcillosa) superficie opaca, casi no hay granos de arena, no es abrasiva, sus colores en seco son 7.5YR 6/6 y en húmedo 5YR 4/4, con un pH de 7 (muy ligeramente alcalino), con contenido de CaCO₃ de reacción invisible e inaudible lo que quiere decir que está libre de carbonatos (K0), la estabilidad de agregados es moderada y la prueba de Al activo fue negativa. Pedregosidad 15%, estructura subangular en bloque, grueso-fino, fuerte, densidad

aparente media, densidad de raíces es muy alta, el límite del horizonte es gradual irregular.

-Bw1 (41-64 cm) tiene una textura RA (arcillo arenosa) superficie opaca ligeramente brillante, granos de arena perceptibles, poco abrasiva, sus colores en seco son 7.5YR 6/4 y en húmedo 5YR 5/3, con un pH de 7 (muy ligeramente alcalino), con contenido de CaCO_3 de reacción invisible e inaudible lo que quiere decir que está libre de carbonatos (K0), la estabilidad de agregados es moderada y la prueba de Al activo fue negativa. Pedregosidad 20%, estructura subangular en bloque, grueso fino, moderado, densidad aparente media, densidad de raíces es alta, el límite del horizonte es difuso irregular.

-Bw2 (64-97 cm) tiene una textura CR (franco arcillosa) superficie opaca, casi no hay granos de arena, no es abrasiva, sus colores en seco son 7.5YR 7/4 y en húmedo 5YR 4/3, con un pH de 6.5 (muy ligeramente ácido), con contenido de CaCO_3 de reacción invisible e inaudible lo que quiere decir que está libre de carbonatos (K0), la estabilidad de agregados es baja y la prueba de Al activo fue negativa. Pedregosidad 30%, estructura subangular en bloque, medio-fino, baja, densidad aparente alta, densidad de raíces es alta, el límite del horizonte es difuso irregular.

-Cw1 (97-111 cm) tiene una textura RA (arcillo arenosa) superficie opaca ligeramente brillante, granos de arena perceptibles, poco abrasiva, sus colores en seco son 7.5YR 8/3 y en húmedo 5YR 4/4, con un pH de 6.5 (muy ligeramente ácido), con contenido de CaCO_3 de reacción invisible e inaudible lo que quiere decir que está libre de carbonatos (K0), la estabilidad de agregados es moderada y la prueba de Al activo fue negativa. Pedregosidad 40%, estructura subangular en bloque, medio fino, moderado, densidad aparente mediana, densidad de raíces es media, el límite del horizonte es difuso irregular.

-Cw2 (111 cm >) tiene una textura RA (arcillo arenosa) superficie opaca ligeramente brillante, granos de arena perceptibles, poco abrasiva, sus colores en seco son 7.5YR 8/4 y en húmedo 5YR 4/4, con un pH de 6 (ligeramente ácido), con contenido

de CaCO_3 de reacción invisible e inaudible lo que quiere decir que está libre de carbonatos (K0), la estabilidad de agregados es baja y la prueba de Al activo fue negativa. Pedregosidad 50%, densidad de raíces es nula.

Interpretación de las características de suelo

Procesos pedogenéticos dominantes

En superficie hay acículas de los pinos aledaños, y alrededor hay tierra preparada para cultivo de maíz, frijol, y haba, además de erosión laminar, es decir evidencias de alteración por los procesos antrópicos de la agricultura y el camino que está a un lado. Hay fragmentos de metates y artefactos consecuencia de la actividad antrópica, Estos aparecen de los 41 cm hasta los 97 cm de profundidad.

Los horizontes Ah y AB denotan acumulación de humus por la degradación de la flora, siendo el segundo un horizonte de transición.

Los horizontes Bw (41-97 cm) tienen contenidos de arcilla de 30-40% y color rojizo y buen desarrollo estructural, por lo que cumplen con las características de un horizonte de diagnóstico Cámbico. Con base en ello, el perfil se clasifica como Cambisol.

Los horizontes denominados Cw se ubican de los 97 a los 111 cm de profundidad, son una mezcla entre restos de coloración clara a blanca y una matriz que parece toba con un alto contenido de vidrio volcánico microscópico.

La prueba de Al activo fue negativa en todos los horizontes descritos, por lo que este perfil no presenta propiedades ándicas ni vítricas, sin embargo, su formación a partir de material piroclástico moderadamente intemperizado en los horizontes Cw justifica el calificador Tephric.

La clasificación propuesta es Eutric Cambisol (Loamic, Ochric, Tephric).

3. Definición de los calificadores de suelos

A continuación, se presenta un resumen de los calificadores principales y suplementarios de los suelos identificados en orden alfabético. Información obtenida de IUSS Working Group WRB (2015).

- **Archaic:** clasificador suplementario, del griego *archae*, inicio, que tiene una capa, de 20 cm de espesor, en los primeros 100 cm de la superficie del suelo, con 20% de artefactos producidos por procesos pre-industriales, p. ej. cerámicas o lítica que muestran evidencia de alteración humana y que están dentro de los Technosoles.
- **Arenic:** clasificador suplementario, del latín *arena*, puede presentar una textura arenosa o arenosa franca en una capa de al menos 30 cm de espesor, dentro de 100 cm de la superficie del suelo mineral.
- **Eutric:** es un clasificador suplementario, del griego *eu*, bueno, y *trophae*, comida. Indica saturación de bases mayor a 50%.
- **Hyperartefactic:** clasificador suplementario del griego *hyper*, sobre, y latín *ars*, arte, y *factus*, hecho: que tiene 50% de artefactos dentro de 100 cm de la superficie del suelo, sólo en Technosols.
- **Loamic:** clasificador suplementario del inglés *loam*, franco, clase textural franca, franco arenosa, franco arcillo-arenosa, franco arcillosa o franco arcillo-limosa.
- **Ochric:** clasificador suplementario, del griego *ochros*, pálido, contiene 0.2 % de carbón orgánico del suelo en la capa de la superficie del suelo mineral hasta una profundidad de 10 cm de la superficie del suelo; no tiene un horizonte mólico o úmbrico y no cumple los criterios del clasificador Humic.
- **Spolic:** es un clasificador principal de los Technosoles, del latín *spoliare*, explotar; normalmente es mayor o igual a 20 cm de espesor, contiene artefactos que provienen de desechos de la minería, escorias y cenizas entre algunos.

- Technoskeletal: del griego technae, arte, tiene 40% de fragmentos gruesos, que cumplen el criterio de artefactos, en una profundidad de 100 cm de la superficie del suelo hasta roca continua.
- Technosol: suelo que se caracteriza por tener igual o más del 20% de artefactos en los primeros 100 cm desde donde inicia el suelo hasta la roca continua. Son suelos con propiedades y desarrollo edáfico que están dominadas por su origen técnico, contienen muchos artefactos alterados por el hombre o extraído de profundidades mayores. Incluyen suelos de desechos o escombros de minas y cenizas, Los Technosols se denominan a menudo como suelos de minas.
- Tephric: clasificador suplementario, del griego tephra, montón de ceniza, que tiene material tétrico que comienza a menos de 50 cm de la superficie del suelo y tiene más de 30 cm de espesor, o menor a esto y está directamente sobre roca continua.
- Thapto–Cambic: cuando se encuentra un horizonte de diagnóstico enterrado o una capa enterrada con una propiedad de diagnóstico, se añade Thapto como subclasificador al nombre del suelo suprayacente. Thapto del griego thaptein, sepultar. Cambic es un clasificador suplementario y del latín cambire, cambiar

El que se identifique un Thapto – Cambic en los Technosoles es por la presencia de un horizonte Cambic sepultado por el escombros de mina en el que se desarrolló un Technosol.
- Vitric: es un clasificador suplementario del Technos, del latín vitrum, vidrio, este término se aplica a capas con vidrio volcánico derivadas de eyecciones volcánicas, las capas con propiedades vítricas se desarrollan a partir de materiales tétricos.