



Universidad Nacional
Autónoma de México

Agosto 15/1

Instituto de Geología



350 106

OPINIÓN TÉCNICA

ESTUDIO DE MUESTRAS DE ROCA Y SUELO RELACIONADAS A LA
AVERIGUACIÓN PREVIA: APPGR/SEIDO/UE/TDMS/371/2014

El día 15 de enero de 2015 se recibieron para su estudio 14 muestras empacadas en bolsas de plástico, correspondientes a indicios o evidencias de la Averiguación Previa No. [REDACTED] y con número de folio 83677 (en la cadena de custodia) y número de folio 83678 en las muestras, que contienen una mezcla de materiales como suelo, fragmentos de roca, materia orgánica y fragmentos no naturales. Las muestras fueron recibidas en el Instituto de Geología UNAM y fueron trasladadas al laboratorio para llevar a cabo los estudios correspondientes. Se recibieron las 14 muestras como se muestra en la serie de fotografías de la figura 1. Se abrieron y se tomó un registro fotográfico de cada una. Posteriormente se hizo una descripción de los rasgos más característicos, para tomar submuestras para los diferentes análisis que se llevaron a cabo. Las muestras recibidas se enlistan en la siguiente tabla:

*DE LA
chos
cios e
siguiente*

INDICIO O EVIDENCIA				
FECHA	HORA	NÚMERO	FOLIO	OBSERVACIONES
15/11/2014	16:30	2	83678	Tierra de color negro con ceniza
15/11/2014	16:30	3	83678	Tierra de color negro fino
15/11/2014	16:30	5	83678	Fragmento de rocas con humo, de color blanco
15/11/2014	16:30	11-A	83678	Muestra de suelo a profundidad de 0-3 cm
15/11/2014	16:30	11-B	83678	Suelo a profundidad de 3-25 cm
15/11/2014	16:30	11-C	83678	Suelo 25-30 cm
15/11/2014	16:30	12	83678	Fragmento de roca con daños de humo
15/11/2014	16:30	13	83678	Fragmento de roca en forma de laja
15/11/2014	16:30	15	83678	Fragmentos de roca por daño de fuego
15/11/2014	16:30	16	83678	Fragmentos de roca quemada en una depresión natural
15/11/2014	16:30	17	83678	Fragmentos de piedra con sustancias ámbar
15/11/2014	16:30	18-A	83678	Control o testigo. Muestra de suelo superficial 0-3 cm, en una depresión natural
15/11/2014	16:30	18-B	83678	Testigo suelo a una profundidad de 3-18 cm en una depresión natural
15/11/2014	16:30	18-C	83678	Control suelo a profundidad de 20 cm en una depresión natural

Información confidencial, queda prohibida la reproducción parcial o total de este documento

México D. F. a 18 de septiembre de 2015

Página 1

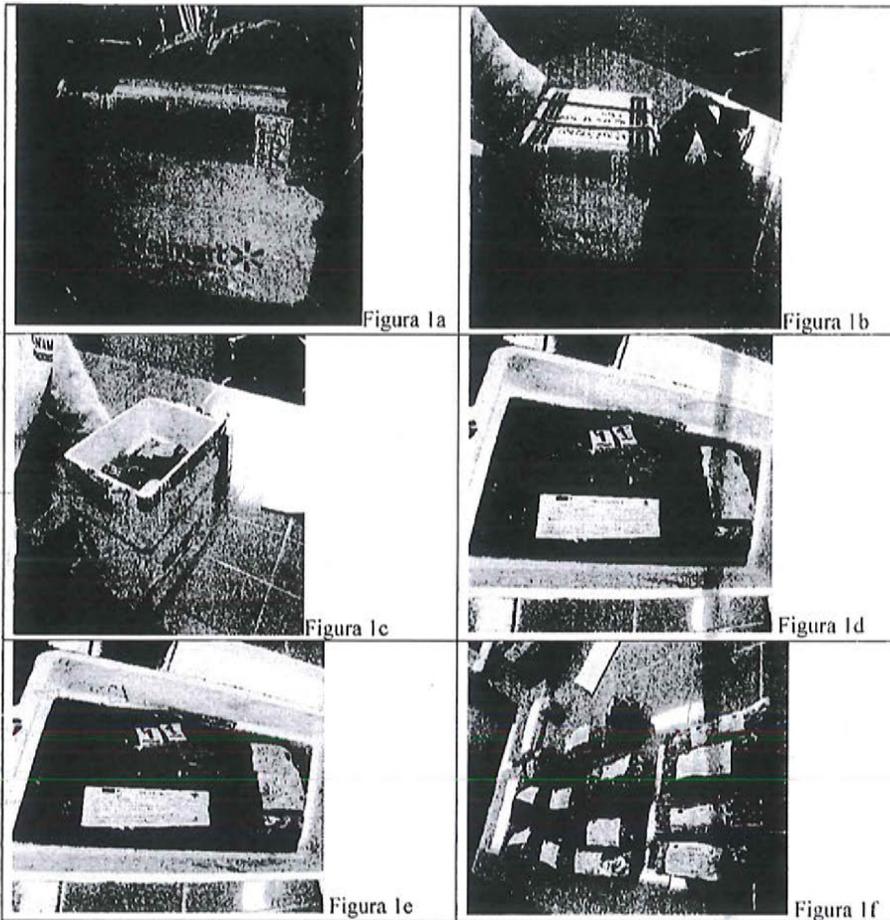
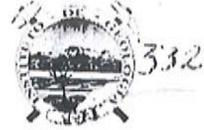


Figura 1a-f. Serie de fotografías que muestran la hielera entregada a la UNAM, con 14 muestras empacadas en bolsas de plástico.

Información confidencial, reservada o de la reproducción total o parcial de este documento

México D. F. a 18 de septiembre de 2015



METODOLOGÍA

Las muestras fueron estudiadas para determinar si sufrieron alguna alteración, cambios estructurales o mineralógicos relacionados a cambios en la temperatura del medio en el que fueron colectadas. Para lo cual se realizaron los siguientes análisis:

1. Descripción megascópica de las muestras. Para esto se observaron las muestras con lupa y microscopio binocular.
2. Determinación de la composición mineralógica y estructura mineral. Para esto las muestras fueron cortadas y laminadas y fueron estudiadas bajo el microscopio con luz polarizada. Además se tomaron imágenes con microscopio electrónico.
3. Determinaciones mineralógicas por el método de difracción de rayos X.
4. Análisis de Raman, para obtener a menor escala la información mineralógica.
5. Pruebas experimentales. Se realizaron pruebas experimentales con fragmentos de rocas de las mismas muestras que fueron sometidas a altas temperaturas controladas, con el fin de buscar minerales y compuestos que pudieran ser indicativos de transformación por altas temperaturas, y para comparar texturas y composición con las muestras no calentadas en el laboratorio.

BASE TEÓRICA SOPORTE DEL ESTUDIO

La roca caliza es un material natural, muy abundante en el sur de México, está formada por agregados de cristales del mineral llamado *calcita*. La calcita es un mineral formado por calcio y carbono (carbonato de calcio CaCO_3). Las rocas calizas pueden contener otros elementos o cristales que representan impurezas de la roca, entre ellos se encuentra el mineral llamado dolomita (carbonato de calcio y magnesio $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$); también en la roca caliza puede contener distintas concentraciones de minerales arcillosos.

El material natural que conocemos como suelo, está constituido por minerales que en su mayoría corresponden a la familia de las *arcillas*. Además puede contener proporciones variables de otros

~~información confidencial, queda prohibida la reproducción, publicación, distribución o uso~~

México D. F. a 18 de septiembre de 2015

Página 3



minerales, como el cuarzo, el feldespato, la calcita, minerales ricos en Fe, como la hematita, limolita, etc., y pequeños fragmentos de rocas propias del lugar. El suelo presenta diferentes texturas, según su composición mineral y contenido de materia orgánica.

OBJETIVO

El presente estudio se enfocó a buscar transformaciones de estos minerales que pudieran indicar exposición en un tiempo prolongado de las muestras a temperaturas elevadas, mayores a las condiciones naturales ambientales.

RESUMEN DE LOS RESULTADOS

1. Las muestras de Roca y Suelo se estudiaron con el objetivo de buscar indicadores de la temperatura a la cual pudieron haber estado sometidas.
2. Las muestras corresponden a suelos y roca caliza.
3. Los suelos contienen fragmentos de materiales no naturales, que incluyen fragmentos de alambre, plásticos y vidrio.
4. Del análisis megascópico se desprende que las muestras contienen evidencias de haber estado expuestas a fuego, tales como: fragmentos vegetales carbonizados, material plástico derretido, evidencias de ahumamiento en la superficie de los fragmentos de roca y abundante ceniza.
5. En análisis microscópico se determinó que los fragmentos de roca corresponden a calizas y calizas dolomitizadas (dolomía), se observó la presencia de calcita y dolomita, minerales de origen natural asociados a los procesos geológicos de la región.
6. Las muestras de roca presentan en la superficie evidencias de exposición a temperaturas mayores a las temperaturas ambientales, que cambiaron la textura de los cristales de dolomita, reduciendo su tamaño, además de la presencia de importante microfracturamiento por exposición a calor.
7. Se realizó un experimento calentando a diferentes temperaturas, en condiciones de laboratorio y a temperaturas constantes, tanto las muestras de roca como de suelo, con el objetivo de

~~Información confidencial, queda prohibida la reproducción parcial o total de esta información.~~

México D. F. a 18 de septiembre de 2015

Página 4



- registrar los cambios texturales y mineralógicos bajo condiciones controladas, para utilizarlos como parámetro de comparación con las muestras recibidas, sin ningún tratamiento.
8. La comparación indican que las muestras recibidas en ningún caso, alcanzaron temperaturas mayores que 800°C.
 9. La presencia de minerales de arcilla (filosilicatos) en todas las muestras de suelo, indica que las muestras aparentemente no estuvieron expuestas a temperaturas mayores que 400°C por tiempo prolongado, ya que las arcillas desaparecen a dicha temperatura, que marca otro límite para acotar los resultados.
 10. Todas las muestras de suelo presentan restos de carbón vegetal, junto con fragmentos de materiales orgánicos, lo que sugiere temperaturas probablemente menores que 350°C.
 11. En todas las muestras se observan rasgos de quemado (aún la 18, considerada como testigo).

De manera preliminar el presente estudio indica que las rocas y suelos sufrieron un calentamiento entre aproximadamente los 200 y los 400°C.

Los datos incluidos en el presente reporte son orientativos y no son concluyentes. Solo reflejan las condiciones del material estudiado y las discusiones e interpretaciones solo se aplican al material en sí, y de manera preliminar.

~~Información confidencial. Agradezco a quien la reproduzca por el interés que me causa.~~



RESULTADOS EN EXTENSO (POR METODOLOGÍA)

1. Descripción macroscópica de las muestras

A continuación se muestran las fotografías de las muestras y la descripción basada en observaciones en muestra de mano, realizadas con lupa y microscopio binocular.

MUESTRA 2. "Tierra de color negro dentro de una depresión natural" (Figura 1.1)

Material fino de color negro, formado por materiales naturales (suelo con fragmentos de roca caliza) y restos orgánicos carbonizados. La estructura del suelo es granular, aunque también se observan agregados en bloques subangulares, que muestran una reacción intensa con HCl, o que indica que contienen carbonato de calcio. Tiene un alto contenido de raíces y plantas frescas. Este material no muestra desarrollo de hongos.

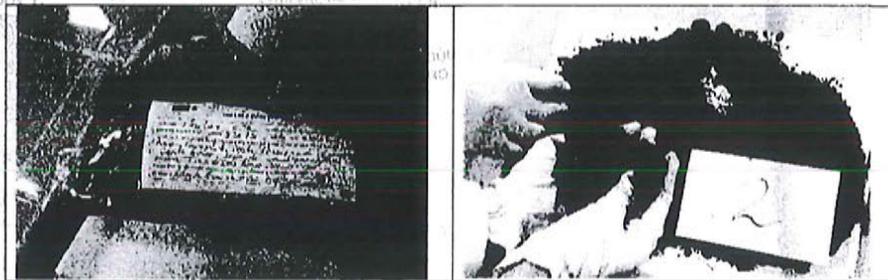


Figura 1.1. Muestra 2.

~~Información confidencial, su divulgación puede ocasionar la reproducción por terceros de los datos contenidos en el presente documento.~~

México D. F. a 18 de septiembre de 2015

Página 6



MUESTRA 3. "Tierra de color negro fino" (Figura 1.2)

Material muy fino de suelo de color negro, que corresponde a un suelo con agregados granulares. Resalta su abundante contenido de materia orgánica carbonizada, lo que sugiere cercanía a algún tipo de fuego. Contiene también materiales no naturales muy variados (restos de basura), entre ellos papel aluminio y muy abundantes fragmentos de alambre. También se aprecian fragmentos de suelo de coloración roja de origen desconocido.

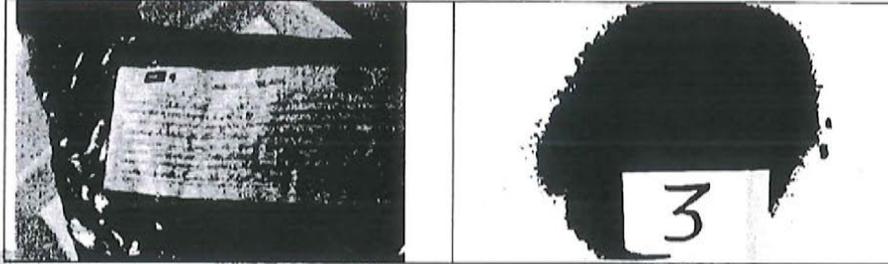


Figura 1.2. Muestra 3.

MUESTRA 5. "Fragmentos de roca con humo de color blanco" (Figura 1.3)

Fragmentos de roca (caliza) cuya superficie muestra coloraciones claras, en tanto que al interior se tiene una coloración oscura.

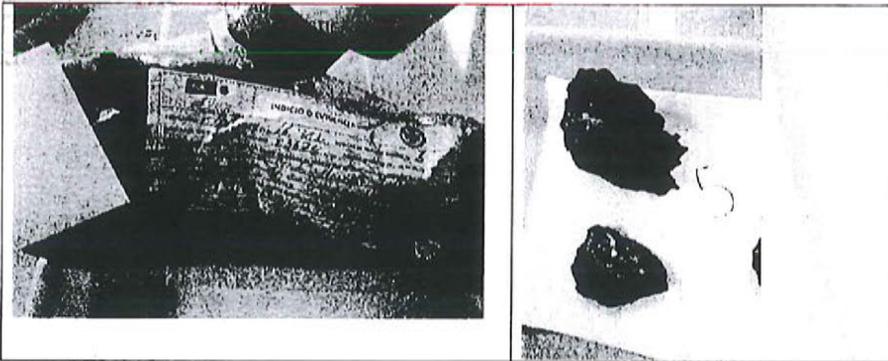


Figura 1.3. Muestra 5.

~~Información confidencial, queda prohibida la reproducción parcial o total de este documento~~

México D. F. a 18 de septiembre de 2015

Página 7



MUESTRA 11a. "Suelo a profundidad 0-3 cm" (Figura 1.4)

Material formado por suelo de color pardo muy oscuro-negro con restos de materiales no naturales quemados, entre ellos, abundantes fragmentos de alambre. También contiene abundantes materiales orgánicos calcinados. El material tiene un alto grado de humedad que ha permitido el desarrollo de hongos, con alta densidad de micelios, que originan una fuerte reacción al HCl. La estructura del suelo es en bloques subangulares bien desarrollados. Contiene fragmentos de caliza muy pequeños.

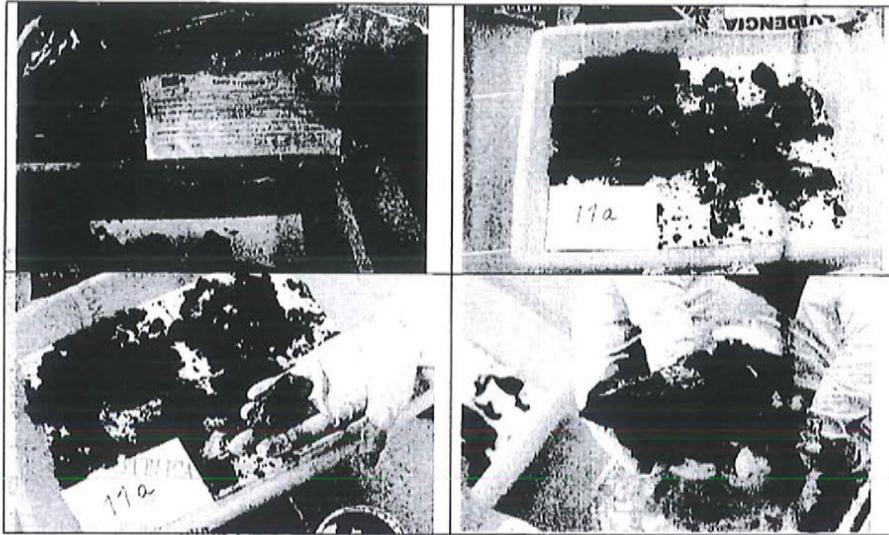


Figura 1.4. Muestra 11a.

~~Información confidencial, queda prohibida la reproducción, parcial o total, de este documento~~

México D. F. a 18 de septiembre de 2015

Página 8



MUESTRA 11b. "Suelo a profundidad de 3-25 cm" (Figura 1.5)

Este material muestra un alto contenido de humedad que ha dado lugar al desarrollo hongos. Corresponde a un suelo de color negro con estructura granular, bien desarrollada, con menor cantidad de materia orgánica carbonizada, comparado con el suelo de la muestra 11a.

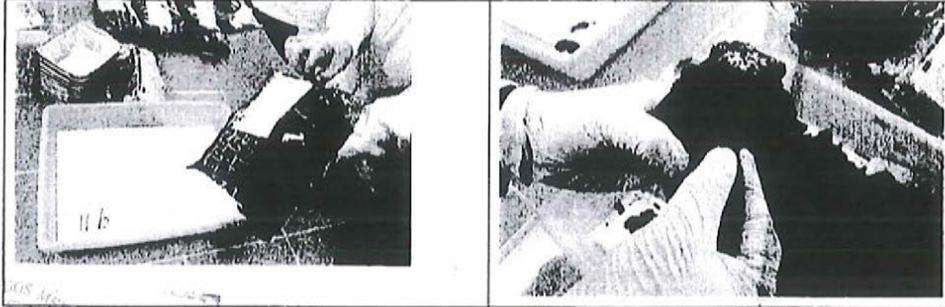


Figura 1.5. Muestra 11b.

MUESTRA 11c. "Suelo 25-30 cm" (Figura 1.6)

Material que también tiene un alto grado de humedad con proliferación de hongos. Se trata de un horizonte A de un suelo bien desarrollado, con estructura granular, de color negro, con algunos pequeños fragmentos de caliza. No contiene materiales no naturales.

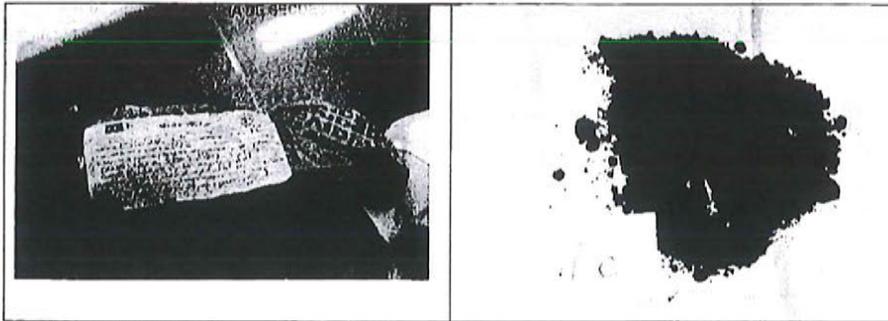


Figura 1.6. Muestra 11c.

~~Información confidencial, su divulgación puede perjudicar los intereses de la institución y de sus miembros~~



MUESTRA 12. "Fragmentos de roca con daños de horno"

La muestra consiste de fragmentos de roca caliza cuya superficie presenta una coloración más oscura – negra, en tanto que en el interior es más clara.



Figura 1.7. Muestra 12.

MUESTRA 13. "Fragmentos de Roca" (Figura 1.8)

En esta muestra, los fragmentos de roca tienen forma de lascas. Su textura es muy fina y su color muy oscuro. Al romperla desprende un olor, relacionado a calizas bituminosas. La superficie está impregnada de material de color muy oscuro (suelo y material orgánico carbonizado).



Figura 1.8. Muestra 13.

Información confidencial, queda prohibida la reproducción paratiro total de este documento.



MUESTRA 15. "Fragmentos de roca con dano de juego" (Figura 1.9)

La muestra está formada por fragmentos de caliza de color negro que tienen un recubrimiento de 1 mm (costra) de color negro. Al interior, se observa el color natural de la caliza. El recubrimiento negro corresponde a material orgánico carbonizado, no se pudo determinar su composición, aunque visualmente es similar al plástico de llanta derretido u otro material plástico (para determinar su origen se requiere de un estudio especial).

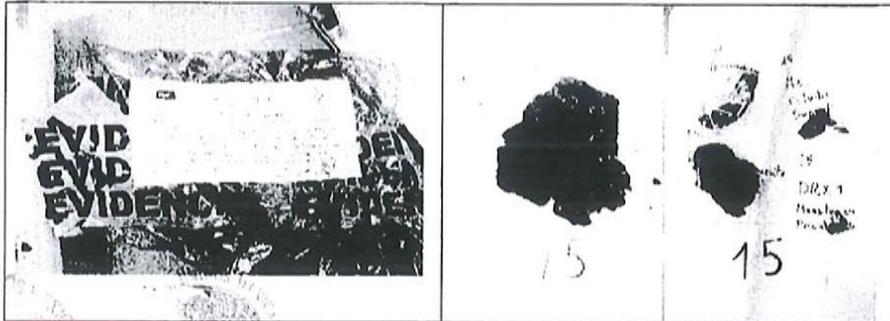
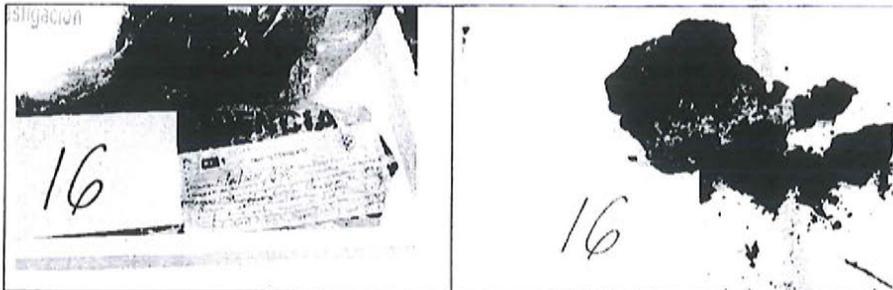


Figura 1.9. Muestra 15.

MUESTRA 16. "Fragmentos de roca quemada en una depresión natural" (Figura 1.10)

La roca de esta muestra tiene diferentes coloraciones, que varían del negro al pardo y blanco. Se nota una quema que solo afecta la parte más superficial de la roca. Las coloraciones pardas observadas se asocian a procesos geológicos (de intemperismo) naturales.



~~Información confidencial, queda prohibida la reproducción parcial o total de este documento~~



Figura 1.10. Muestra 16.

MUESTRA 17 "Fragmentos de piedra con sustancias ámbar" (Figura 1.11)

Se trata de dos fragmentos de caliza. Uno de los fragmentos tiene color pardo oscuro que luce rasgos de quema, en donde inclusive se observa pedazos de plástico fundido.

El otro fragmento está más fresco, y no muestra la coloración por "quema". Ambas muestras tienen áreas en donde se aprecia cristales bien desarrollados de calcita.

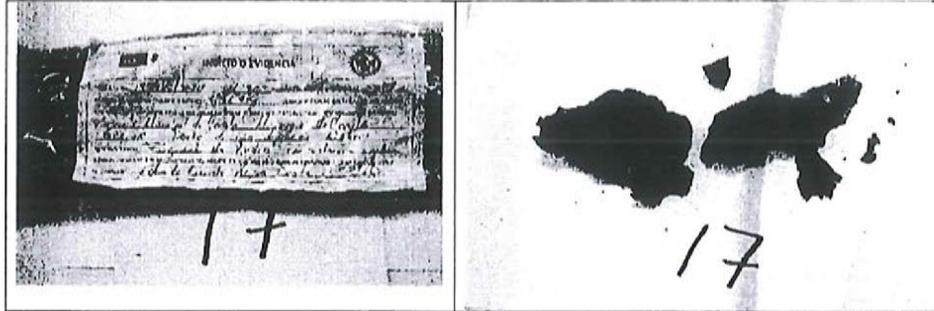
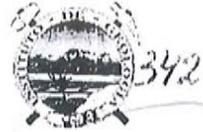


Figura 1.11. Muestra 17.



~~Información confidencial, queda prohibida la reproducción parcial o total de este documento.~~



MUESTRA 18a. "Control o testigo. Muestra de suelo superficial (0-1 cm) en una depresión natural" (Figura 1.12)

Se trata de un suelo de color pardo muy oscuro, de estructura granular bien desarrollada, con abundantes raíces, que constituye un horizonte A. Los agregados son frágiles. Se notan fragmentos pequeños de caliza que componen de 5 a 10% del volumen total. A diferencia de las otras muestras, la 18a no contiene abundante materia orgánica carbonizada, destaca la cantidad de raíces frescas que contiene.

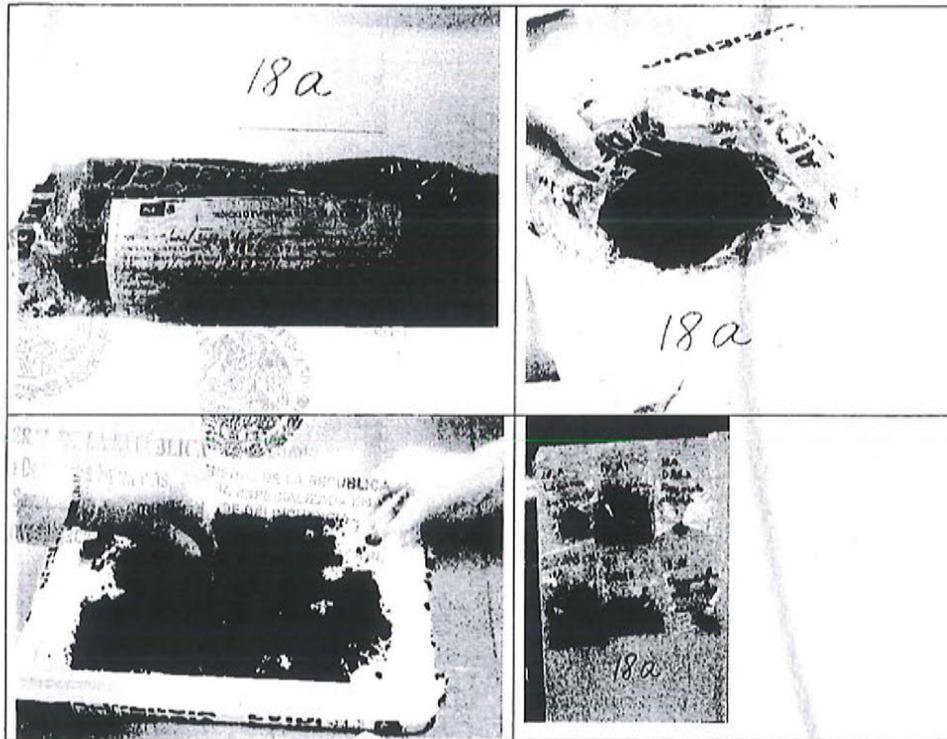


Figura 1.12. Muestra 18a.

~~Información confidencial que no se permite la reproducción parcial o total de este documento~~

México D. F. a 18 de septiembre de 2015



MUESTRA 18b. "Testigo suelo a una profundidad de 3-18 cm en una depresión natural" (Figura 1.13)

Suelo de color pardo muy oscuro, muy similar a 18a. La estructura es granular, con algunos agregados de mayor tamaño, subredondeados, más firmes. Las raíces son abundantes. Se encuentran también fragmentos de caliza, con óxidos de Fe. No contiene la abundancia de restos de basura ni materia carbonizada que se observó en otras muestras.

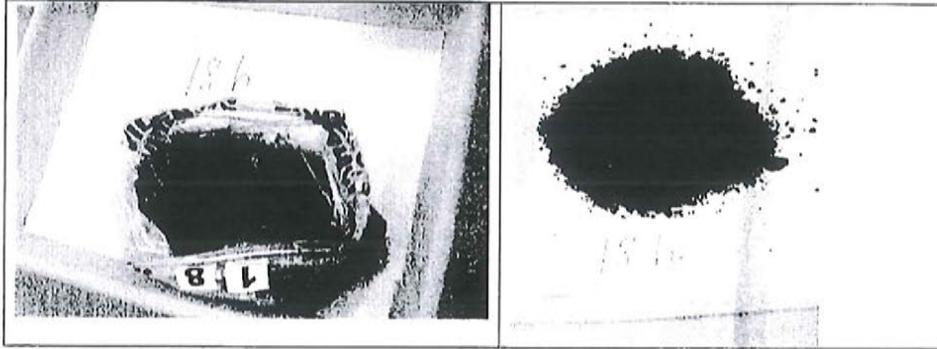


Figura 1.13. Muestra 18b.

TERMINAL TÉCNICA
de Detección, Identificación
y Servicios al Cliente
e Investigación

ESTAL DEL INSTITUTO DE
INVESTIGACIONES
DE GEOFÍSICA Y
DE QUÍMICA
DE LA UNAM
CALLE DE LA
UNAM

Información confidencial, queda prohibida la reproducción parcial o total de este documento

México D. F. a 18 de septiembre de 2015



MUESTRA 18c. "Control de suelo a profundidad de 20 cm en una depresión porroca" (Figura 1.14)

Suelo de color pardo muy oscuro, con estructura granular. La densidad de raíces es menor. Se presentan abundantes fragmentos de roca, muy pequeños que reaccionan fuertemente al HCl, por lo que probablemente corresponden a fragmentos de caliza.

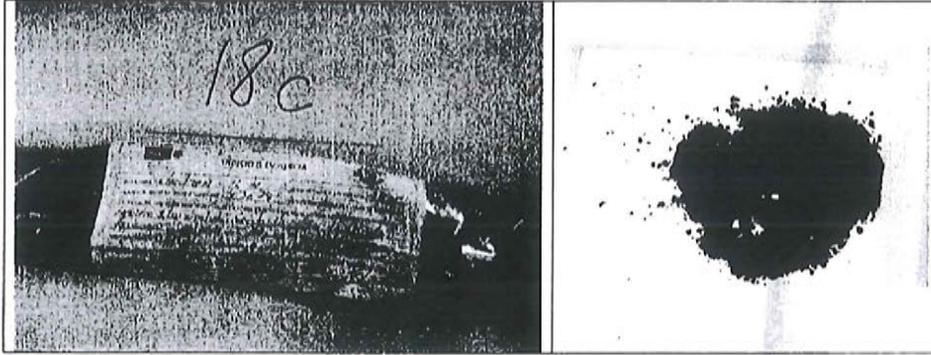
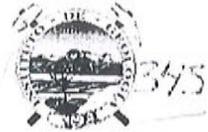


Figura 1.14. Muestra 18c.



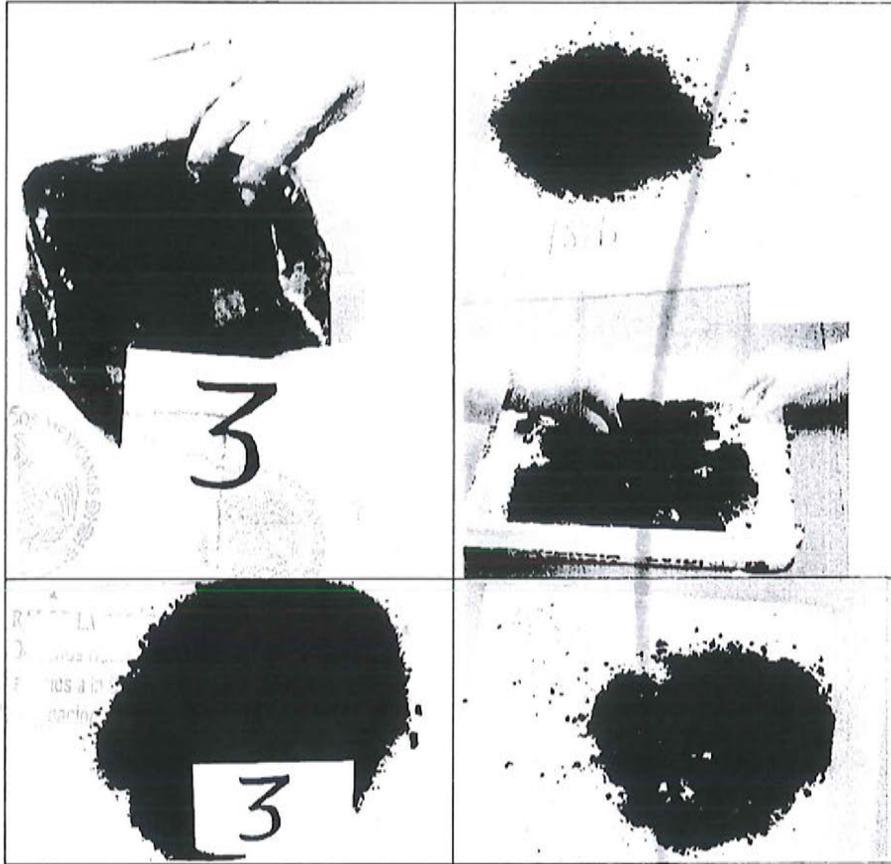
Información confidencial, queda prohibida la reproducción parcial o total de este documento

México D. F. a 18 de septiembre de 2015



1.4. Comparación megascópica entre suelos

Se aprecian en muestra de mano diferencias importantes en la coloración y textura entre los suelos de las muestras 18a, b y c, con respecto a la muestra 3, ya que la muestra 3 presenta una proporción considerable de material carbonizado y ceniza muy fina.



~~Información confidencial que se produce y se reproduce para fines gubernamentales~~

México D. F. a 18 de septiembre de 2015



2. Petrografía

A continuación se describen las muestras de roca que, por su tamaño, pudieron ser laminadas. Estas corresponden a las **muestras 5, 11, 12, 13, 15, 16 y 17.**

Muestra 5 (Figura 2.1)

Es una caliza dolomitizada (dolomía) con diferentes mosaicos predominando cristales grandes con abundante porosidad intercrystalina (Figura 2.1.A). Estos mosaicos son congruentes con la formación natural de la dolomita. En los bordes de la muestra se observan alteraciones de la textura, cambiando a cristales muy pequeños, que mantienen la mineralogía original dolomítica pero con un aumento de la porosidad (Figura 2.1.B Flecha 1). Este borde de alteración está muy localizado y ocupa un área pequeña de la lámina delgada de aproximadamente 400µm. La mayoría de la superficie que constituye el borde del fragmento de roca que se pudo laminar, no presenta una alteración textural visible, pero si está impregnado con una sustancia de color ámbar, de origen orgánico y amorfa (Figura 2.1.C-F). Esta sustancia permea hacia el interior de la roca a través de la porosidad impregnándola (Figura 2.1.G). En el exterior se encuentran abundantes restos orgánicos entre los que destacan restos vegetales semi carbonizados aunque en su mayoría presentan un buen estado de preservación (Figura 2.1.C,H,I).

Observaciones (muestra 5)

Solo una muy pequeña parte de la muestra presenta cambios en la estructura mineral que son congruentes con un calentamiento. No contiene evidencia de cambio mineralógico por lo que la temperatura nunca superó los 800°C. Los abundantes restos vegetales bien preservados apuntan a una exposición a bajas temperaturas y tal vez a la acción directa de humo.

~~Información confidencial, queda prohibida la reproducción parcial o total de este documento.~~

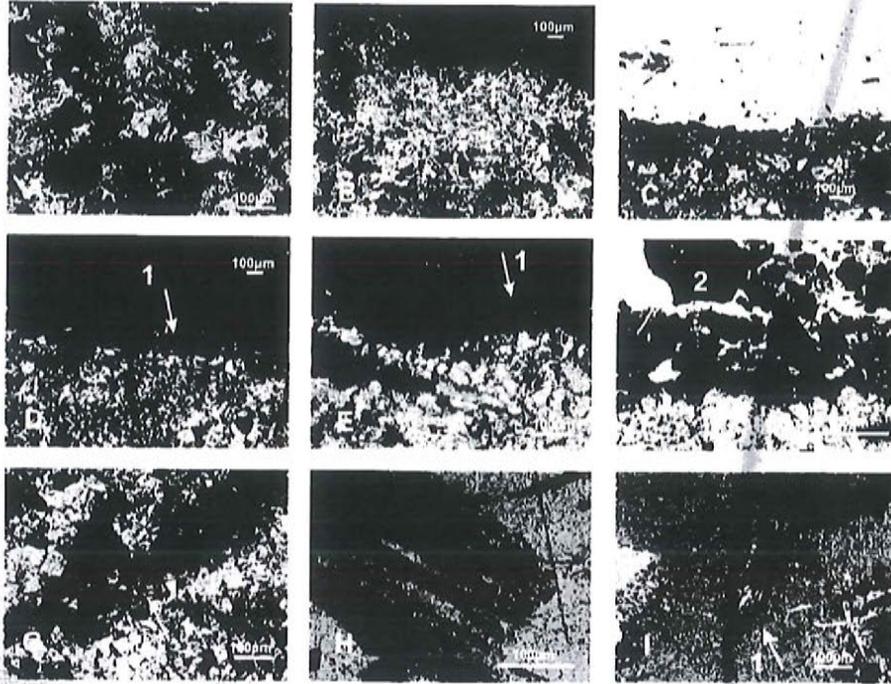


Figura 2.1. Muestra 5. A y B nicoles cruzados. A: Mosaico dolomítico con cristales de gran tamaño. B: Cambio textural del borde alterado que pasa de cristales grandes a cristales pequeños con alta porosidad intercristalina. La flecha 1 indica el contacto de este borde con una sustancia amorfa de posible origen orgánico. C: Borde inalterado de la muestra (Flecha 1) impregnado por una sustancia de color ámbar. La flecha 2 indica restos vegetales bien preservados. D,E: Borde externo impregnado. La flecha indica el contacto. F: Borde impregnado con una sustancia amorfa que permea al interior de la muestra. G: Fracturas internas impregnadas por la sustancia de color ámbar. H,I: Restos vegetales con buen estado de preservación.

~~Información confidencial que no debe ser divulgada ni reproducida parcial o total de este documento~~

México D. F. a 18 de septiembre de 2015

Página 18



Muestra 11 (Figura 2.2).

Consiste en una roca caliza dolomitizada (dolomía) con alta porosidad intercrystalina y un borde de alteración que alcanza los 300µm de espesor (Figura 2.2.A). El borde de alteración presenta un cambio textural en la que la fábrica cristalina que cambia de cristales medianos a cristales más pequeños, además presenta abundantes fracturas perpendiculares a la superficie (Figura 2.2.A, D, H). Este borde de alta porosidad se encuentra impregnado de una sustancia de coloración oscura sin estructura cristalina de posible origen orgánico. La muestra se encuentra recubierta por capas de material orgánico carbonizado (Figura 2.2.B flecha 2) y contiene restos vegetales bien conservados (Figura 2.2.D-I).

Observaciones

La muestra presenta un cambio textural que aparece en la capa externa y que afecta hasta una profundidad aproximada de 100µm, y fracturas perpendiculares a la superficie que son congruentes con un calentamiento de la muestra a probables temperaturas mínimas de 200°C. No se observó ningún cambio mineralógico por lo que la temperatura fue probablemente menor a los 800°C. Los abundantes restos vegetales bien preservados y la ceniza que cubre la zona alterada sugiere una fuerte exposición al humo.

U. N. A. R. I. C. A.
SECRETARÍA DE
EDUCACIÓN PÚBLICA
INSTITUTO DE GEOLOGÍA

~~Información confidencial, queda prohibida la reproducción o el uso de esta información en la red o en cualquier otro medio electrónico.~~

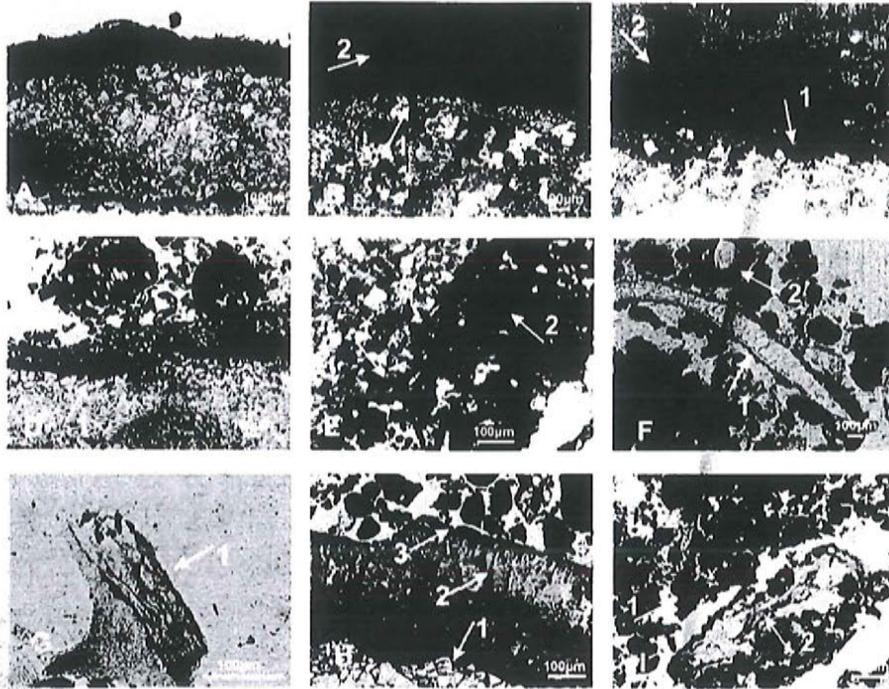


Figura 2.2. Muestra 11a. A: contacto entre la roca inalterada y el borde de alteración (Flecha 1). B: Zona poco alterada (Flecha 1) impregnada con materia orgánica calcinada de origen incierto (Flecha 2). C: Zona impregnada por sustancia amorfa de posible origen orgánico. La flecha 1 indica el área de contacto y la flecha 2 la sustancia amorfa que recubre la muestra. D: se observan tres zonas fundamentales. La roca inalterada, un contacto con la zona de alteración (Flecha 1) y un recubrimiento de material orgánico. E: Detalle del contacto entre la roca alterada (flecha 1) y el material que recubre la muestra (flecha 2). F: La zona de recubrimiento de la muestra presenta restos vegetales bien conservados (flecha 1) y agregados amorfos no identificados. G: Restos vegetales bien preservados. H: Detalle del contacto entre la roca inalterada y la roca alterada (flecha 1) la flecha 2 muestra las fracturas perpendiculares a la superficie típicas de fracturas por calentamiento, la flecha 3 indica la zona de contacto entre la zona alterada y un recubrimiento de material amorfo oscuro. I: Material orgánico calcinado (flecha 1) y restos vegetales bien preservados, sin evidencia de temperatura alta (flecha 2).

Información confidencial, queda prohibida la reproducción parcial o total de este documento

México D. F. a 18 de septiembre de 2015

Página 20



Muestra 12 (Figura 2.3)

La muestra observada es una dolomía con dos mosaicos diferentes y una alta porosidad intercrystalina (Figura 2.3.A). El primer mosaico está compuesto por cristales pequeños (Flecha 1) y el segundo cristales de dolomita de gran tamaño (Flecha 2). Estos mosaicos son consistentes con una roca tipo dolomía que ha sido sometida a procesos de cristalización naturales. En los bordes de la muestra se observa una zona de alteración en la que la fábrica cambia por cristales de dolomita de menor tamaño y una distribución diferente a la que presenta la roca inalterada (Figura 2.3.B-H).

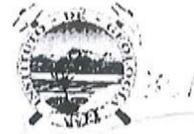
La Figura 2.3.B muestra como la zona de alteración se produce a partir de cristales (Flecha 1) que se rompen y producen una fábrica de cristales de menor tamaño (Flecha 2). Con nicoles paralelos y a mayor aumento se puede observar (Figura 2.3.C) como la zona de alteración (Flecha 1) posee una elevada porosidad debido a la disposición de los cristales. Esta zona alterada se encuentra impregnada por una sustancia de color negro-ámbar sin estructura cristalina y de posible origen orgánico (Figura 2.3.C, flecha 2), en el exterior de la muestra se encuentran numerosos restos carbonizados al parecer de origen vegetal (Figura 2.3.C, flecha 3).

La zona de alteración afecta a ambos tipos de fábricas dolomíticas dejando en algunas ocasiones cristales relicticos en los que se puede observar como a partir de un cristal de gran tamaño (Figura 2.3.D, Flecha 1) se formaron cristales dolomíticos pequeños (Figura 2.3.D, Flecha 2) observándose el contacto entre ambas (Figura 2.3.D, flecha 3). Condiciones similares se pueden observar en la Figura 2.3.E- F en los que se observa la roca inalterada (Flechas 1) y la zona alterada (Flechas 2). Las fotomicrografías 2.3.G y H muestran respectivamente con Nicoles paralelos (G) y cruzados (H) como la porosidad generada (Flecha 1) permite la impregnación de la sustancia oscura de posible origen orgánico. Se observa el contenido de restos orgánicos carbonizados (ceniza) (Flecha 2).

Información confidencial, queda prohibida la reproducción parcial o total de este documento

México D. F. a 18 de septiembre de 2015

Página 21



Observaciones

La muestra posee un cambio textural en la zona externa. Este cambio de textura, se interpreta como el resultado de haber estado sometida a una fuente de calor. Cambios similares fueron observados en las muestras experimentales que se describen en el capítulo 4, a partir de los 200°C.

No se identificaron bajo el microscopio minerales resultado de transformaciones por alta temperatura (la muestra NO contiene Portlandita, mineral que se forma a partir de los 800°C por 8 horas o más de exposición)

Esto sugiere que la temperatura fue probablemente mayor a los 200°C y menor que los 800°C.

La textura indica temperaturas de mínimo 200°C, sin embargo, a dichas temperaturas la materia orgánica se pierde, el hecho de que contenga la costra de material orgánico carbonizado, sugiere una segunda etapa de exposición al humo o precipitado de ceniza. La muestra fue expuesta a algún tipo de quema.

[Faint, illegible text or stamp]

~~Información confidencial. Queda prohibida la reproducción parcial o total de este documento.~~



Muestra 13 (Figura 2.4)

La muestra es una dolomía con varios mosaicos y fábricas todas de origen natural y congruente con el modo de formación de las dolomías (Figura 2.4.A-C). Las fracturas y la porosidad intercrystalina se encuentra impregnada por una sustancia de color ámbar de posible origen orgánico (Figura 2.4.B,C) Los bordes se encuentran recubiertos por un material oscuro, amorfo que se encuentra como agregados que varían desde material compacto hasta cenizas dispersas con abundante material de origen orgánico fuertemente carbonizado (Figura 2.4.D, F flecha1).

Observaciones

No se observaron cambios texturales ni mineralógicos en la muestra 13, que pudieran ser producto de alteración térmica. De haber estado expuesta al calor, la temperatura no llegó a los 200°C. La impregnación de material calcinado sugiere exposición a humo.

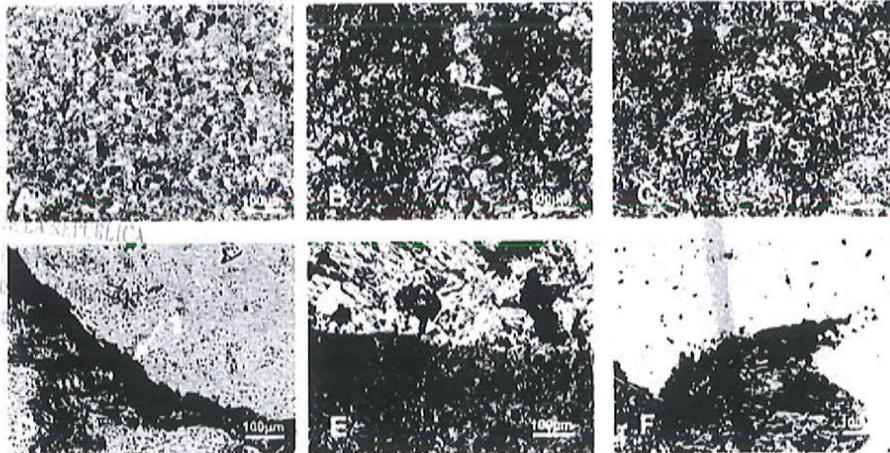
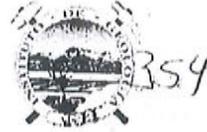


Figura 2.4. Muestra 13. A: Aspecto de la fábrica dolomítica. B-C: Material de posible origen orgánico que impregna porosidad. La flecha indica los poros con mayor concentración de material. D: Contacto entre la dolomía y el material carbonoso sin que se presente cambios en la textura de la roca, flecha 1. E: Contacto natural entre dos fábricas dolomíticas. F: Material carbonizado que recubre la roca.

~~Introducción, conclusión, se debe evitar la reproducción parcial o total de este documento~~

México D. F. a 18 de septiembre de 2015



Muestra 15 (Figura 2.5)

La muestra es una roca caliza dolomitizada (dolomía) con diferentes mosaicos que varían tanto en tamaño como en forma de los cristales (Figura 2.5.A, B, C). Estos mosaicos se presentan en diferentes tipos de dolomías formadas naturalmente. El borde de la muestra presenta una zona de alteración térmica que puede llegar hasta los 200 μm (Figura 2.5.D, E). Esta zona de alteración puede ser dividida en dos partes. La primera una zona de cambio textural donde los cristales se reducen considerablemente en tamaño (Figura 2.5.D, E flecha 1) y una zona de impregnación de una materia amorfa de posible origen orgánico (carbonizada) (Figura 2.5.D, E flecha 2). Esta zona de impregnación o recubrimiento aparece tanto en la zona alterada como en la roca inalterada como recubrimiento (Figura 2.5.F, G) y permea la porosidad de la roca. La zona de alteración con cambio textural presenta algunos cristales relictos sin alterar (Figura P9 H, I).

Observaciones

El cambio textural de la zona alterada puede deberse a un calentamiento a temperaturas iguales o mayores a los 200°C. Sin embargo la no existencia de cambios mineralógicos detectables indica que la temperatura nunca llegó a los 800°C. El recubrimiento de esta muestra no presenta restos vegetales reconocibles. No es posible determinar el origen de la sustancia carbonosa oscura que recubre la muestra pues no posee propiedades ópticas, pero parece tener un origen orgánico. La muestra de mano presentó abundante material carbonizado similar al que se origina de quema plástica de llantas, pero para su identificación se requiere un estudio especial.

~~Información confidencial, queda prohibida la reproducción parcial o total de este documento~~

México D. F. a 18 de septiembre de 2015

Página 25

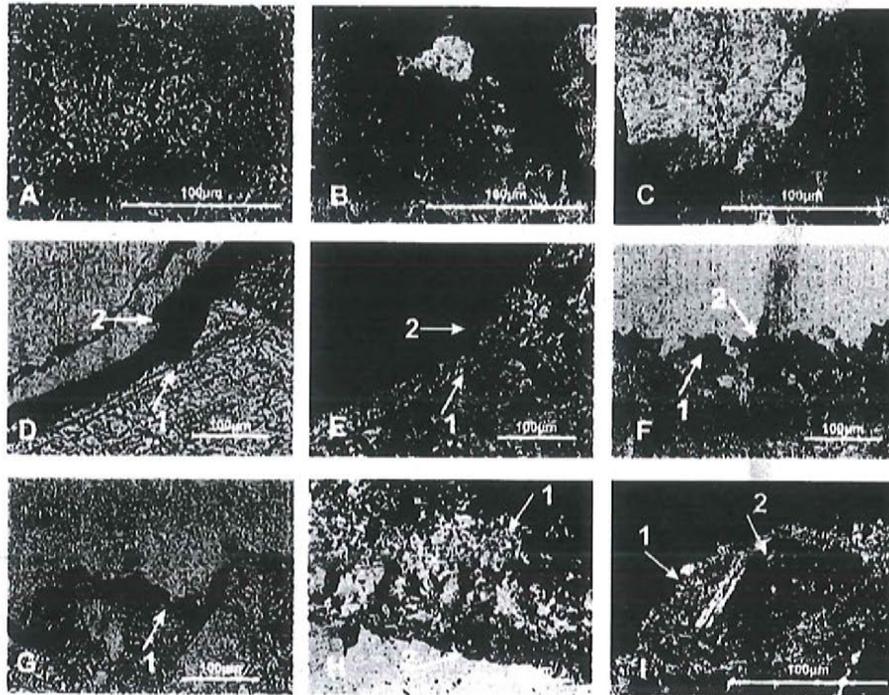


Figura 2.5. Muestra 15. A-C: Aspecto de los mosaicos dolomíticos, A Nícoles paralelos. B, C Nícoles cruzados. D, E: Contacto de la roca inalterada con la zona de alteración con cambio textural (Flecha 1). Recubrimiento de material amorfo, flecha 2. D tomada con Nícoles paralelos y E con Nícoles cruzados. F: Recubrimiento de material amorfo de posible origen orgánico sobre la roca inalterada. La flecha 1 muestra el área de contacto de la sustancia permeando por la porosidad. La flecha 2 agregados amorfos. G: Área de recubrimiento sobre roca inalterada. H: Zona de alteración térmica. La flecha 2 muestra el contacto de la zona de alteración con la roca inalterada y la flecha 1 muestra como la capa exterior impregna la zona porosa alterada. I: Contacto entre la zona alterada y la sustancia que la impregna. La sustancia aparece totalmente oscura bajo Nícoles cruzados debido a su condición amorfa. La flecha 2 muestra cristales relicticos dentro de la zona de alteración.

Información confidencial, queda prohibida la reproducción parcial o total de este documento

México D. F. a 18 de septiembre de 2015

Página 26



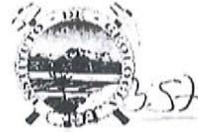
Muestra Ib (Figura 2.6)

La roca corresponde a una caliza dolomitizada (dolomía) con diferentes mosaicos que van desde cristales pequeños a cristales de gran tamaño. La muestra presenta alta porosidad tanto intercrystalina como por fracturas en las que se ven varias generaciones de cementos dolomíticos. Estos mosaicos son congruentes con dolomías formadas en medios naturales (Figura 2.6.A). Algunas partes del borde de la muestra presentan una alteración de la estructura en la que se observan cristales que han cambiado su fábrica original y se ha generado una alta porosidad (Figura 2.6.B). Las zonas porosas se encuentran impregnadas de una sustancia de color ámbar sin estructura cristalina y de posible origen orgánico que permea desde la superficie hasta las fracturas impregnando la mayor parte de la muestra (Figura 2.6.C-G, las flechas 1 indican la roca en su estado normal y las flechas marcadas como 2 indican la sustancia que impregna la muestra). El borde de alteración (Figura 2.6.H, I) muestra una disgregación parcial debido al proceso de preparación de la muestra para observación petrográfica. Esto sugiere una baja consistencia entre los cristales que lo forman. La Figura 2.6.H e I muestran el borde de alteración con el cambio de estructura (Flecha 1) y una pátina que lo recubre (Flecha 2). La sustancia orgánica tiene una serie de restos carbonizados al parecer de origen vegetal en los que se preservan algunas morfologías que se pueden asociar a restos de plantas (Figura 2.6. J-L). Sin embargo, debido a su estado de conservación no es posible una determinación más precisa.

Observaciones

La muestra analizada posee un cambio textural en la zona externa. Este cambio de textura ocurre cuando una caliza se expone a calor, cuyas temperaturas son de alrededor de los 200°C o más. No se observaron cambios mineralógicos (NO hay cambios de Calcita-Dolomita a Portlandita) lo que sugiere que la temperatura fue siempre menor a los 800°C, temperatura a la que ocurre un cambio mineralógico. La gran cantidad de material orgánico parcialmente carbonizado sugiere la exposición de la muestra al humo en una fase de baja temperatura. Esto sugiere dos estadios de

~~Información confidencial, queda prohibida la reproducción parcial o total de este documento~~



exposición, el primero a altas temperaturas y un segundo a humo o a bajas temperaturas. La temporalidad entre ambos se desconoce

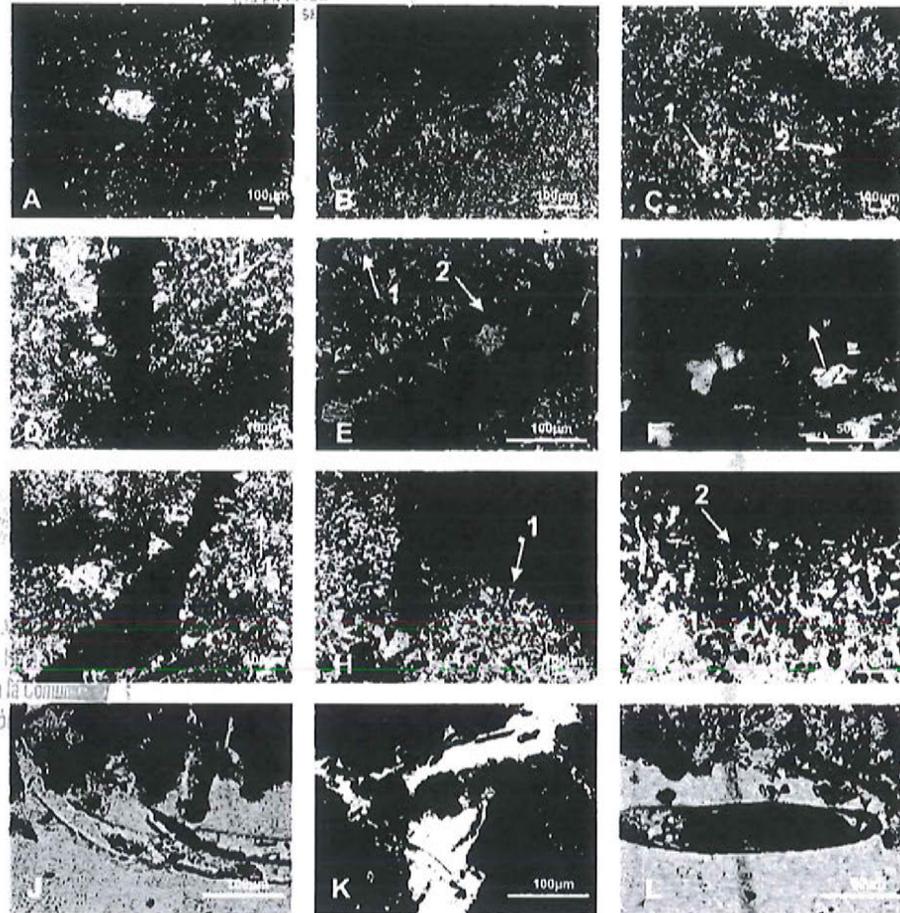


Figura 2.6. Muestra 16. Fotomicrografías de la muestra 16. A,E,F,J,K,L tomadas con Nícoles paralelos. Explicación en el texto.

~~información confidencial, queda prohibida la reproducción parcial o total de este documento~~

México D. F. a 18 de septiembre de 2015



Muestra 1 (Figura 2.7)

La roca corresponde a una caliza dolomitizada (dolomía) con diferentes mosaicos cristalinos. La parte externa presenta una zona alterada que alcanza los 300µm de espesor, en la que cambia la textura original por cristales más pequeños y presenta una alta porosidad (Figura 2.7). Se observan numerosas grietas que son consistentes con fracturas por calor y una impregnación de material de color ámbar de posible origen orgánico. La muestra se encuentra recubierta por diferentes materiales de posible origen orgánico carbonizados que varían desde pequeñas aglomeraciones de material amorfo (Figura 2.7.B flecha 2) hasta fragmentos de baja cristalinidad con múltiples fracturas (Figura 2.7.F flecha 2), que pudieran corresponder a materia vegetal o a un hueso, pero que en este estudio no pudo ser identificado con precisión. No se observan cambios en la composición mineralógica.

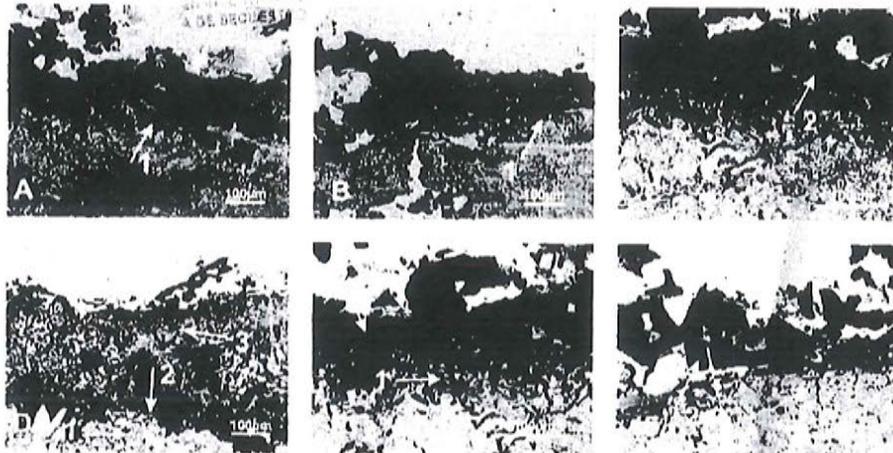
Observaciones

La muestra analizada posee una zona con un cambio textural y fracturas consistentes con un calentamiento mínimo a 200°C. La no existencia de cambios mineralógico indica que esta temperatura nunca alcanzó los 800°C. El recubrimiento de un material oscuro que permea hacia zonas porosas en forma de un material amorfo de color ámbar es consistente con muestras de origen orgánico que se derritieron o carbonizaron encima de la muestra de roca.

IRAI
Derechos Humanos,
Servicios a la Comunidad
Investigación

~~Información confidencial, queda prohibida la reproducción, publicación o distribución~~

México D. F. a 18 de septiembre de 2015



11
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1

Figura 2.7. Muestra 17. Zona alterada con cambio de textura y abundantes fracturas (flecha 1). La alta porosidad de encuentra permeada por un material ámbar amorfo de posible origen orgánico (flecha 2). B: La flecha 1 indica el contacto entre la sustancia ámbar y la roca. La flecha 2 muestra fragmentos oscuros y amorfos sin identificar. C: Zona con abundantes fracturas (flecha 1). La porosidad se encuentra rellena de un material oscuro amorfo que permea desde la superficie y cuyo origen parece ser orgánico. D: La flecha 1 indica la roca inalterada. La flecha 2 muestra el contacto de la roca inalterada con la zona de alteración con cambio textural nótese un cambio en el tamaño de los cristales y un aumento de la porosidad. La flecha 3 muestra la zona alterada con una alta porosidad y que se encuentra impregnada con una sustancia ámbar de posible origen orgánico. E: Detalle de la zona de alteración. La flecha 1 indica las abundantes fracturas irregulares rellenas de una sustancia ámbar amorfa. La flecha 2 muestra esta sustancia oscura adherida a la superficie de la muestra. La flecha 3 indica un material de color ámbar pero que permite el paso de la luz, amorfo y altamente impregnante. F: Detalle de la zona de alteración marcada con la flecha 1, la flecha 2 señala un fragmento orgánico carbonizado que puede corresponder a un fragmento de hueso o vegetal pero que no pudo realizarte la identificación definitiva en el presente estudio.

~~Información confidencial, queda prohibida la reproducción parcial o total de este documento~~

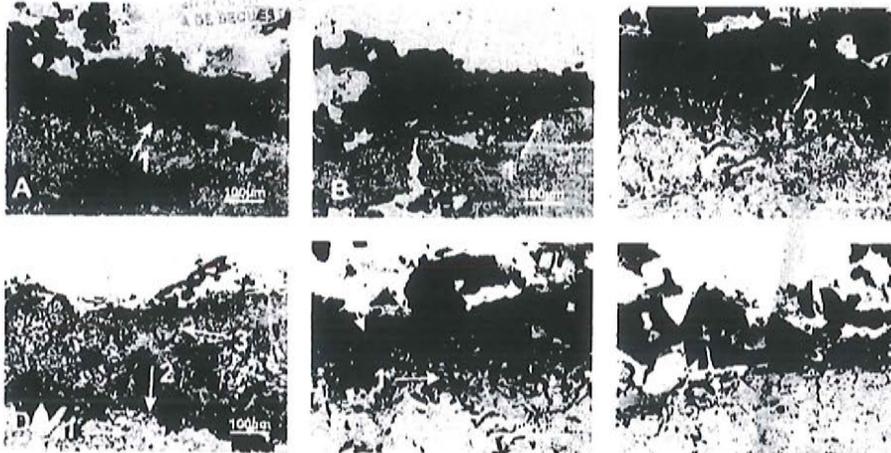


Figura 2.7. Muestra 17. Zona alterada con cambio de textura y abundantes fracturas (flecha 1). La alta porosidad de encuentra permeada por un material ámbar amorfo de posible origen orgánico (flecha 2). B: La flecha 1 indica el contacto entre la sustancia ámbar y la roca. La flecha 2 muestra fragmentos oscuros y amorfos sin identificar. C: Zona con abundantes fracturas (flecha 1). La porosidad se encuentra rellena de un material oscuro amorfo que permea desde la superficie y cuyo origen parece ser orgánico. D: La flecha 1 indica la roca inalterada. La flecha 2 muestra el contacto de la roca inalterada con la zona de alteración con cambio textural nótese un cambio en el tamaño de los cristales y un aumento de la porosidad. La flecha 3 muestra la zona alterada con una alta porosidad y que se encuentra impregnada con una sustancia ámbar de posible origen orgánico. E: Detalle de la zona de alteración. La flecha 1 indica las abundantes fracturas irregulares rellenas de una sustancia ámbar amorfa. La flecha 2 muestra esta sustancia oscura adherida a la superficie de la muestra. La flecha 3 indica un material de color ámbar pero que permite el paso de la luz, amorfo y altamente impregnante. F: Detalle de la zona de alteración marcada con la flecha 1, la flecha 2 señala un fragmento orgánico carbonizado que puede corresponder a un fragmento de hueso o vegetal pero que no pudo realizarte la identificación definitiva en el presente estudio.

Información contenida en esta publicación es de carácter confidencial y no debe ser divulgada sin el consentimiento del autor.