

Estudio físico-químico y micromorfológico de suelos de Denganthza, Valle del Mezquital, Hidalgo

Julia María Domínguez Soto¹, Sixto Sael Serrano Lopez²,
Otilio Arturo Acevedo Sandoval³ y Alma Delia Román Gutiérrez³

¹Ingeniería Agroindustrial, Universidad Politécnica de Francisco I.

²Programa de Energías Renovables, Universidad Tecnológica del Valle del Mezquital.

³Centro de Investigaciones Químicas, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. México.

julia_moon_star@yahoo.com.mx; quim_sael@utvm.edu.mx

Resumen

El presente estudio evaluó la presencia de materiales de cenizas volcánicas en sus primeras etapas de neo formación (geles de silicio, alofanos) en suelos del Cerro de Denganthza, estado de Hidalgo. La toma de muestras se sitúan a una altitud de 2260 a 2338 msnm. Los suelos presentan coloraciones de amarillo-pálido a rojizas, textura franco-arcillo-arenosa (S1-S3) y franco-arenosa (S4-S14). La acidez activa del suelo se presenta de ligeramente alcalino a muy fuertemente alcalino. El ΔpH adquirió valores negativos indicando predominio de carga (-). Se observa por microscopía electrónica la dominancia de geles de silicio poco evolucionados. Los espectros de absorción para infrarrojo muestran bandas características de alofán a 1600, 1200 y 950 cm^{-1} .

Palabras clave: Denganthza, alofano, suelos.

Physicochemical and Micromorphological Study of Soil in Denganthza, Mezquital Valley, Hidalgo

Abstract

This study evaluated the presence of volcanic ash in its early neo-formation stages (silicon gels, allophanes) in soil from the Denganthza Hill, State of Hidalgo. Samples were taken at an altitude of 2260 to 2338 meters above sea level. The soil samples have pale yellow to reddish coloration, sandy-clay-loam (S1-S3) and sandy-loam (S4-S14) textures. Active soil acidity ranges from slightly to strongly alkaline. The ΔpH acquired negative values indicating the prevalence of load (-). The dominance of slightly evolved silicon gels was observed through electron microscopy. The infrared absorption spectra show bands characteristic of allophone at 950, 1200 and 1600 cm^{-1} .

Keywords: Denganthza, allophane, soils.

Introducción

La ceniza volcánica está compuesta de minerales fragmentados y de ellos predomina el vidrio volcánico, el cual muestra muy poca resistencia al intemperismo químico (Campos, 2001). La meteorización del vidrio volcánico tiende a producir compuestos amorfos entre los productos de meteorización, los cuales están influenciados por la calidad de los vidrios (ácidos y básicos), el régimen de temperatura y humedad, la pendiente y el drenaje (Flórez, 2006).

Autores como Walker (1971); Besoain (1972); Spark et al, (1977); Wada (1977); Fischer and Schmincke (1984); Heiken and Wohletz (1985); IGAC (1991) y Shoji *et al.* (1993), entre otros, coinciden en que las cenizas volcánicas están constituidas por vidrios volcánicos, fragmentos líticos y fenocristales.

Algunas investigaciones están orientadas a estudiar los materiales de neo formación como las alófanos e imogolitas, principalmente, a las cuales se les atribuye como precursores a los vidrios volcánicos (Fieldes (1955), Swindale (1965), Besoain (1968), Yamada and Shoji (1982), mencionado en Flórez, 2010) ya que ellos tienen más baja resistencia a la meteorización que los fenocristales y a una rápida disolución que favorece la producción de una solución sobresaturada de Al y Si los cuales al precipitar conjuntamente forman materiales de bajo grado de cristalinidad (mbgc).

Los elementos del ambiente que controlan la formación del alófono son primordialmente el material geológico, la vegetación y el clima. En condiciones naturales, los suelos con alófono poseen un volumen grande, pero cuando acontece una deshidratación este disminuye de manera notable. El alófono es un aluminosilicato no cristalino que no tiene una composición química definida, pero representa una relación atómica Al/Si entre 1 y 2. Con base en esto, en la naturaleza existen alófanos ricos en aluminio (Al/Si = 2:1) y ricos en silicio (Al/Si= 1:1). Cuando muestran abundante aluminio están ligados a la imogolita por tener el mismo arreglo atómico y composición química, pero diferente morfología y los que ostentan exceso de silicio tienen silicatos polimerizados y algunos grupos orto silicatos (Wada, 1989; Shoji *et al.*, 1993).

El alofán es un constituyente de la fracción arcilla de los suelos derivados de cenizas volcánicas a los cuales imparte propiedades físicas y químicas características. Ello justifica los esfuerzos que realizan diversos investigadores con el objeto de determinar cuantitativamente o cualitativamente el alofán y así predecir el comportamiento que tendrán los suelos que lo contengan.

El alofán puede ser detectado mediante métodos instrumentales tales como Análisis Diferencial (ATD), Difracción de Rayos X (DRX), Espectroscopía infrarroja (IR), Microscopía Electrónica de Barrido (MEB) o métodos de análisis químicos como en la Disolución Diferencial de NaOH.

Alrededor de las zonas volcánicas de todo el continente americano se encuentran depósitos de suelos residuales formados por la meteorización de cenizas volcánicas. En México, los suelos derivados de cenizas volcánicas ocupan una superficie de aproximadamente ocho millones de ha, las cuales se ubican a lo largo del eje Neo Volcánico en las inmediaciones del paralelo 19, que cruza gran parte del territorio mexicano. Los suelos que reciben mayor atención desde el punto de vista mineralógico son los de la formación El Doctor, en las inmediaciones del Valle del Mezquital en el Cerro de Dengantha, estado de Hidalgo.

El presente trabajo tiene por objetivo documentar la presencia de materiales de cenizas volcánicas en sus primeras etapas de neo formación (geles de silicio, alofanos) en suelos del Cerro de Dengantha, estado de Hidalgo.

Materiales y métodos

Contexto geológico de la zona de estudio

Regionalmente el área de estudio se localiza en la Provincia Fisiográfica denominada: Zona de Fases Tectónicas y Vulcanismo Reciente o Eje Neovolcánico, se caracteriza por predominar en ella derrames basálticos, numerosos volcanes y lagos o fosas tectónicas. Los derrames volcánicos incluyen basalto, andesita, riolitas y dacita, cuya morfología está representada por estructuras montañosas de mediana altitud; los antiguos lagos o fosas tec-

tónicas están cubiertas por depósitos lacustres, vulcanoclásticos y aluviones recientes. De acuerdo a la clasificación propuesta por Ortega (1992), el Cerro de Dengantha se ubica dentro de la Provincia Geológica llamada “Cinturón Mexicano de Pliegues y Fallas”, del Mesozoico, origen sedimentario marino y ambiente geotectónico Orogeno (Figura 1).

Materiales y métodos

Trabajo de campo

El área de estudio se ubica en la parte sur, sur-este del Cerro de Dengantha, sus coordenadas geográficas tomadas de la Carta Topográfica F14-11 (INEGI, 1981) son las siguientes: 20°17'00"N y 99°07'00"O a una altitud de 2,460 msnm y básicamente es de carácter andesítico-dacítico. Presenta un clima semiseco templado (BS1k) con lluvias en verano cálido y régimen de lluvias de verano. Su temperatura media anual es de 17.5°C y su oscilación térmica de 6.7°C. Anualmente llueve como promedio 581.4 mm, concentrados de mayo a septiembre.

Se hizo la elección de 14 puntos de muestreo a partir de un muestreo aleatorio estratificado, habiendo hecho, previamente, un recorrido de campo. La toma de muestras con diferencias altitudinales variaron de 2260 a 2338 m; mismos que fueron georeferenciados y se muestran en la Tabla 1. Las muestras se secaron al aire y las determinacio-



Figura 1. Ubicación del municipio de Tepatepec de Francisco I. Madero en el Estado de Hidalgo.

Tabla 1. Descripción de los puntos de muestreo del Cerro de Denganthza.

Puntos de muestreo	Altitud (msnm)	Coordenadas geográficas	
		Latitud (N)	Longitud (W)
1	2338	20°17'49.6"	99°06'54.8"
2	2302	20°17'49.6"	99°06'54.8"
3	2298	20°17'51.8"	99°06'56.4"
4	2287	20°17'54.8"	99°06'59.8"
5	2277	20°17'57.8"	99°07'01.01"
6	2273	20°17'58.5"	99°07'01.4"
7	2270	20°17'59.5"	99°07'02.1"
8	2320	20°17'50.5"	99°06'52.6"
9	2323	20°17'50.5"	99°06'52.5"
10	2312	20°17'50.5"	99°06'53.5"
11	2309	20°17'50.0"	99°06'53.4"
12	2297	20°17'51.7"	99°06'55.9"
13	2265	20°17'0.00"	99°04'0.00"
14	2260	20°17'04.7"	99°07'04.5"

Fuente: Elaborado por los autores.

nes físicas y químicas se efectuaron en la tierra fina <2mm. El color del suelo se determinó sobre el material húmedo y seco mediante la clave de Munsell (1975). La textura se realizó por el método de Bouyoucos con destrucción de la materia orgánica y dispersión con hexametáfosfato de sodio. El pH se midió en H₂O (Jaramillo, 2002), KCl 1N (Motta *et al.*, 1990) relación 1:2.5 y pH en NaF relación 1:50 (Sadzawka, 1985). El ΔpH expresa la diferencia entre el pH en H₂O y el de KCl para detectar si existen cargas positivas en el suelo (Uehara y Keng, 1974).

Análisis de laboratorio

Espectroscopia de Absorción Infrarroja (EIR). Los espectros se registraron en un equipo Perkin Elmer System 2000 con transformada de Fourier. Se incorporó una porción de la fracción fina (<2μm) con ocho partes de KBr grado espectroscópico y se midió utilizando un mortero de ágata. Con la mezcla se elaboraron pastillas con ayuda de una prensa. Los espectros fueron registrados entre 400 y 3300 cm⁻¹.

Microscopia Electrónica de Barrido (MEB). Se evaluó la morfología de las partículas en un equipo Jeol modelo JSM-6300. Las muestras en polvo fueron colocadas en porta muestras y recubiertas previamente con oro en un equipo provisto para ello, modelo Desk II. Se trabajó a 20 Kv, a igual distancias de trabajo y acercamientos de 5000, 2,500 y 1000X.

Resultados y discusión

Características físicas y químicas

La caracterización de los suelos del área de estudio se muestra en la Tabla 2. Autores como Schulze *et al.* 1993; Schwertmann 1993 y Acevedo 2004 describen que el color del suelo se relaciona fuertemente con los componentes sólidos del mismo; los suelos de Denganthza presentan coloraciones de amarillo-pálido a rojizas. Acevedo (2004) menciona que en suelos aerobios, óxidos de hierro (hematita, goethita, lepidocrocita, maghemita y ferrhidrita) son compuestos inmóviles con coloraciones entre amarillo y rojo, característica relacionada con el color de los suelos de la zona de estudio y se debe a los minerales presentes en los suelos que varían en relación a su concentración, tamaño del cristal, grado de cementación y posibles sustituciones isomórficas.

La textura es una propiedad física relacionada con la proporción de partículas de diferentes tamaños existentes en un suelo (Medina, 2006). La textura que presentan los suelos es franco-arcillo-arenosa (S1-S3) y franco-arenoso para las once muestras restantes (S4-S14). Con respecto a las propiedades químicas evaluadas se observó que el suelo presenta una acidez activa de ligeramente alcalino a muy fuertemente alcalino (7.79-9.78), la cual indica los protones libres en equilibrio en la disolución del suelo (Jaramillo, 2002).

Tabla 2. Caracterización física y química de los suelos del área de estudio.

Muestra	Color	Textura (%)			Clasificación	H ₂ O	pH (1:2.5)		
		Arcilla	Areña	Limo			KCl	ΔpH	NaF
1	10YR7/6 (h) Pardo oscuro amarillo; 10YR7/6 (s) Amarillo	26	58	16	Franco arcillo arenoso	8.38 (SD, 0.33)	8.14 (SD, 0.10)	-0.25	10.74 (SD, 0.04)
2	2.5Y7/3 (h) Amarillo pálido; 2.5Y8/2 (s) Amarillo pálido	22	54	24	Franco arcillo arenoso	8.69 (SD, 0.17)	9.25 (SD, 0.02)	0.56	11.87 (SD, 0.02)
3	2.5Y5/3 (h) Pardo olivo claro; 2.5Y6/2 (s) Gris pardo claro	20	52	28	Franco arcillo arenoso	9.78 (SD, 0.12)	8.37 (SD, 0.06)	-1.41	11.23 (SD, 0.01)
4	7.5YR3/2 (h) Pardo oscuro; 7.5YR5/1 (s) Gris	10	72	18	Franco arenoso	8.92 (SD, 0.03)	8.1 (SD, 0.03)	-0.82	11.35 (SD, 0.03)
5	5Y8/4 (h) Amarillo pálido; 5Y8/3(s) Amarillo pálido	20	52	28	Franco arenoso	8.41 (SD, 0.06)	7.68 (SD, 0.13)	-0.73	10.53 (SD, 0.06)
6	2.5YR5/3 (h) Pardo rojizo oscuro; 2.5YR3/4 (s) Pardo rojizo oscuro	6	66	28	Franco arenoso	8.53 (SD, 0.06)	8.36 (SD, 0.23)	-0.16	11.05 (SD, 0.01)
7	5Y3/2 (h) Olivo oscuro grisáceo; 5Y4/2 (s) Olivo grisáceo	14	72	4	Franco arenoso	8.65 (SD, 0.09)	7.89 (SD, 0.19)	-0.76	11.45 (SD, 0.04)
8	7.5YR2.5/3 (h) Pardo fuerte; 7.5YR3/2 (s) Pardo oscuro	8	58	34	Franco arenoso	8.7 (SD, 0.05)	7.75 (SD, 0.34)	-0.96	11.36 (SD, 0.02)
9	2.5Y6/8 (h) Amarillo olivo; 2.5Y7/6 (s) Amarillo	14	66	20	Franco arenoso	9.32 (SD, 0.02)	8.32 (SD, 0.13)	-1	11.2 (SD, 0.02)
10	5Y7/3 (h) Amarillo pálido; 5Y6/3 (s) Olivo pálido	8	60	32	Franco arenoso	8.12 (SD, 0.02)	7.39 (SD, 0.24)	-0.73	10.65 (SD, 0.05)
11	2.5Y8/3 (h) Amarillo pálido; 2.5Y8/6 (s) Amarillo	6	60	34	Franco arenoso	9.22 (SD, 0.02)	9.12 (SD, 0.12)	-0.09	11.62 (SD, 0.01)
12	5Y7/2 (h) Gris claro; 5Y7/3 (s) Amarillo pálido	8	54	38	Franco arenoso	7.79 (SD, 0.04)	7.14 (SD, 0.41)	-0.66	9.95 (SD, 0.02)
13	10YR6/4 (h) Pardo amarillo claro; 10YR5/8 (s) Pardo amarillento	20	60	20	Franco arenoso	9.61 (SD, 0.08)	8.71 (SD, 0.16)	-0.9	11.36 (SD, 0.05)
14	7.5YR2.5/3 (h) Pardo fuerte; 7.5YR3/2 (s) Pardo oscuro	8	58	34	Franco arenoso	8.7 (SD, 0.05)	7.75 (SD, 0.34)	-0.96	11.36 (SD, 0.02)

Fuente: Elaborado por los autores.

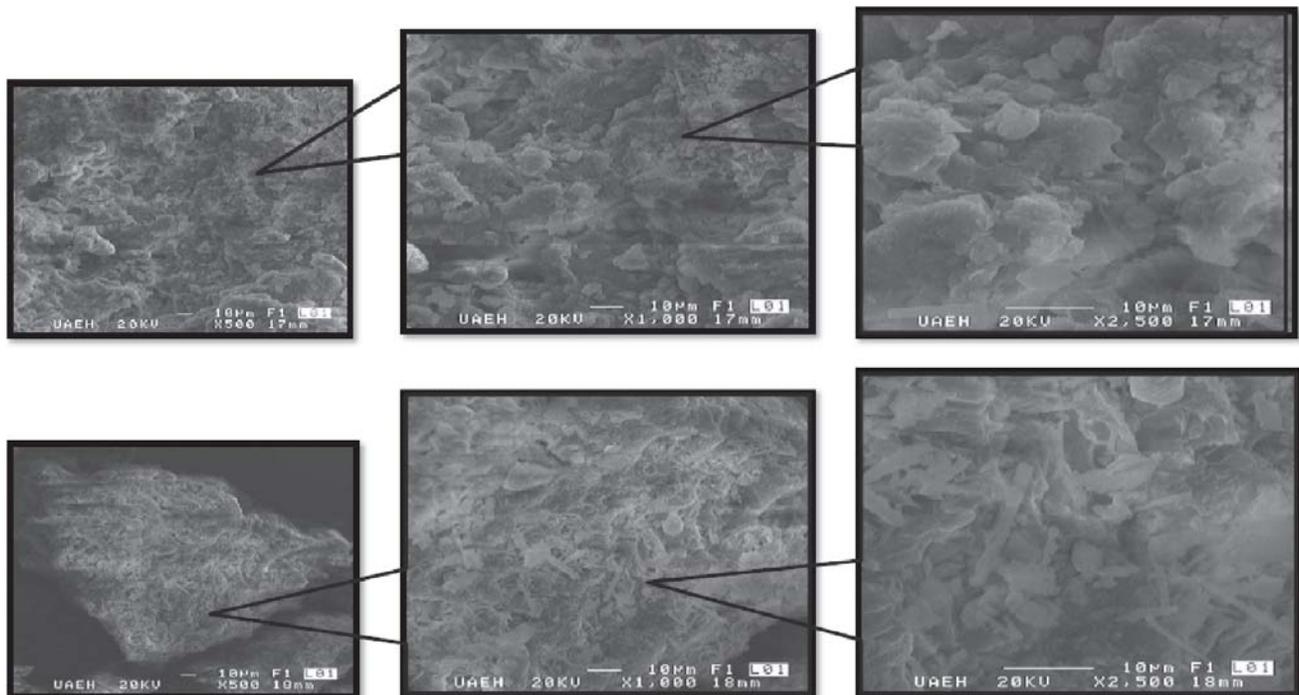
Así mismo, se determinó el pH en KCl que expresa la acidez potencial o intercambiable y de acuerdo a la clasificación de Fassbender (1982) los suelos evaluados se califican como ligeramente alcalino a fuertemente alcalino (7.14-9.25); en términos generales, desde el punto de vista del pH, las muestras se clasifican como suelos básicos. Uehara y Keng (1974) establecieron que el tipo de carga que presenta el suelo se puede determinar obteniendo el valor del ΔpH , adquiriendo valores negativos, el cual indica predominio de este tipo de carga y es intercambiador catiónico. La determinación del pH en NaF se utilizó para detectar la presencia de coloides inorgánicos no cristalinos; obteniéndose valores > 9.95 , dato que según lo reportado por Fields y Perrot (1996) indica la presencia de coloides en cantidades mayores a un 5%.

Caracterización mineralógica

Morfología de las muestras (MEB). Se conoce que la microscopía electrónica permite estudiar las particularidades superfina de la morfología, pequeñas partículas (formas y tamaños reales) de minerales y, en particular, la estructura de los agregados, minerales finamente dispersos, criptocristalinos y amorfos (minerales arcillosos, hidróxidos de hierro, neformaciones, etc.). Los análisis morfológicos realizados a las 14 muestras recolectadas por MEB se presentan en la Figura 2 de las microfotografías, donde se describe lo siguiente:

1. Partículas pequeñas: Partículas poco definidas cuasi esféricas, redondeadas, porosas y desordenadas de pequeñas dimensiones.
2. Aglomerados de mayor tamaño: Material amorfo muy homogéneo, irregular y poroso como se observa con detalle en alta resolución, en general, presentan una morfología no uniforme.
3. Partículas alargadas: Bien definidas, alargadas, prismáticas con presencia de planos cristalinos de corte, aristas y ángulos.

Las microfotografías electrónicas de los suelos muestran dominancia de geles de silicio poco evolucionados, pudiendo ser alofán debido a que este material no cristalino se presenta en forma de esférulos más o menos aglomerados, con diámetro aparente de 100 a 200 Å. Simultáneamente, algunas microfotografías muestran la presencia de finas fibras, aparentemente protoimogolita, soportando, la mayoría, esférulos alofánicos en su superficie. Se conoce que el mineral constituyente de las rocas se altera de manera diferente, el cuarzo es muy estable y sumamente resistente al intemperismo químico, por lo cual prácticamente no se altera (Ostroumov, 2003). Aunque en general se estima que todos estos suelos son jóvenes, no se tiene ninguna información sobre la edad real de éstos. El proceso de alteración que se presentan en las muestras es de sialitización que da lugar a la formación de caolinita y otras arcillas aluminicas. Al progresar el intemperismo, la caoli-



Fuente: Elaborado por los autores

Figura 2. Imágenes de MEB para los suelos de la zona de estudio.

nita u otro silicato, se altera rompiéndose la molécula de sílice y alúmina a través del proceso de alitización y produciéndose sílice hidratada ($\text{Si}(\text{OH})_4$) y alúmina en forma de bohemita (AlO_2H) o de gibbsita ($\text{Al}(\text{OH})_3$), según las condiciones del medio (González, 2004). La presencia de la alteración de los minerales característicos de los suelos derivados de tobas volcánicas hace suponer que la secuencia de meteorización para los suelos de Dengantha de acuerdo a lo reportado por Fiedes (1955) es la siguiente:

Cenizas volcánicas \rightarrow Alofán B \rightarrow Alofán AB \rightarrow
Alofán A \rightarrow Metahalloysita

La forma y tamaño cambian por envejecimiento durante el curso de la transformación del alofán a otras especies como imogolita o haloisita (Besoin, 1963; Sudo, 1953).

Espectroscopía de Infrarrojo (EIR). En suelos el uso de la espectroscopía IR está dirigida hacia el estudio de los silicatos, incluyendo los minerales de arcilla, el espectro IR resultante de la absorción de frecuencias definidas es una propiedad característica del mineral, que en la opinión de Farmer (1990) no solo sirve como una huella dactilar de identificación si no también casos favorables, dan una información sobre la estructura, naturaleza de los constituyentes isomórficos, diferencia entre el agua molecular y los OH estructurales, grado de regularidad estructural, información sobre la familia de minerales a la cual un mineral conocido se relaciona y cambios en el espectro por defecto de moléculas adsorbidas en la arcilla (Besoin, 1985; Madejova *et al.*, 2001).

Los espectros de IR que se muestran en la Figura 3, de las cuales se deduce corresponden a minerales amorfos de alofana e imogolita es un proceso muy joven de alteración. El grupo de bandas identificadas en los espectros de absorción se muestran en la Tabla 3.

Así mismo las bandas se describen a continuación:

1. Bandas de absorción entre $3,600\text{ cm}^{-1}$ y $3,400\text{ cm}^{-1}$ en la región presentan mayor amplitud originada por la deformación de los grupos OH estructurales de enlaces Si-OH y Al-OH (Martínez, 2002). Tuddenham (1960) sugiere que desde un punto de vista mineralógico las frecuencias de vibración a $3,509\text{ cm}^{-1}$ corresponden a agua libre (adsorbida sobre una estructura). Autores como Wada (1967) e Hidalgo (1991) han informado una banda ancha y fuerte con un máximo alrededor de $3,500\text{ cm}^{-1}$.
2. Entre $1,600\text{ cm}^{-1}$ y $1,700\text{ cm}^{-1}$ se observan bandas de absorción debido a la deformación angular de la molécula de agua, Hidalgo (1991) determinó bandas de absorción de agua para la imogolita a $1,630\text{ cm}^{-1}$. El alofán y la imogolita, minerales no cristalinos y poco cristalinos,

Tabla 3. Principales bandas de absorción identificadas en los espectros de IR.

V (cm^{-1})	Grupos
3,600-3,400	OH-estructurales (Si-OH, Al-OH)
1,700-1,600	H ₂ O deformación angular
1,200-950	Al-O-Si Si-O-Si Sílice amorfa
826-798	
715-713	
625-482	
800	Sílice no cristalina

Fuente: Elaborado por los autores.

respectivamente, contienen una gran cantidad de grupos OH reactivos (Adams, 1995).

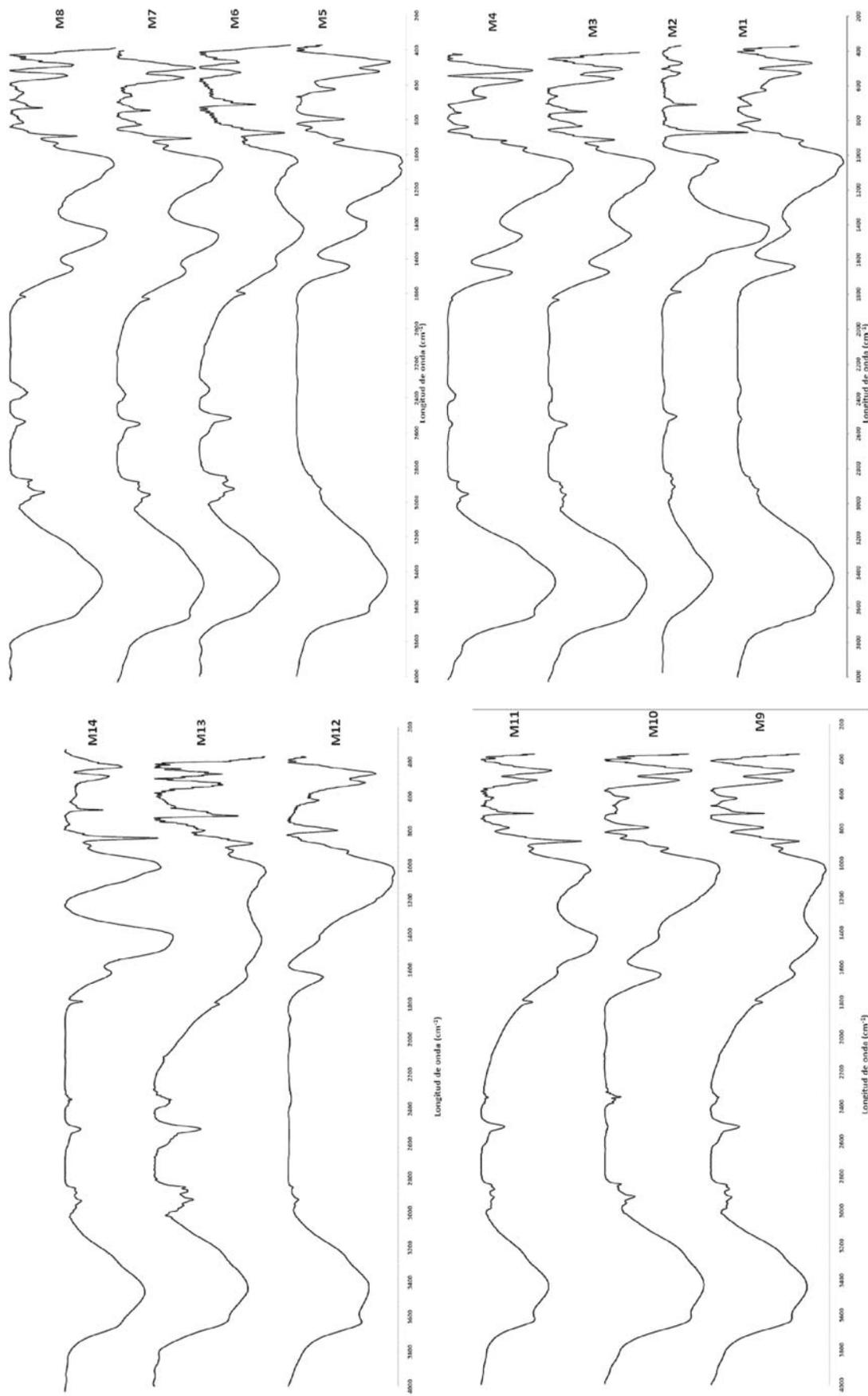
3. Se observan amplias bandas de absorción entre $1,200\text{ cm}^{-1}$ y 950 cm^{-1} con picos máximos cercanos a $1,050\text{ cm}^{-1}$ correspondientes a enlaces Si-O-Al del alofano. Sin embargo, no se descarta la presencia de imogolita en las muestras de suelo, Hidalgo (1991) y Adams (1995) observaron bandas de enlace Si-O-Al alrededor de $1,100\text{ cm}^{-1}$ y 960 cm^{-1} para este mineral poco cristalino.
4. Entre 625 cm^{-1} y 482 cm^{-1} se observa un grupo de bandas asociadas a enlaces Al-O-Si y Si-O-Si ubicadas entre $715-713\text{ cm}^{-1}$ y $826-798\text{ cm}^{-1}$; este último grupo de señales se asigna a la vibración Si-O y es característico de sílice en cualquier forma alotrópica (Vargas, 2008) sílice amorfa o de algunos minerales primarios, tales como la á-cristobalita (González, 1972).

Conclusiones

El método de Uehara y Keng (1974) utilizado para determinar la presencia de coloides inorgánicos no cristalinos es útil a las condiciones y tipo de suelo del Cerro de Dengantha. El método es suficientemente rápido y recomendable dentro del análisis de rutina para distinguir entre suelos que muestran la presencia de estructuras en desorden y suelos que muestran estructuras cristalográficas evolucionadas, método que puede prestar utilidad en áreas como química, fertilidad, física y clasificación de suelos.

En las muestras de suelo se encontró un alto contenido de Sílice ($\text{SiO}_2 > 50\%$); las microfotografías de MEB demuestran que las muestras contienen geles de silicio así como alteraciones en algunas de ellas indicando la presencia de cristales amorfos de alofano.

Una vez más ha quedado demostrado que los suelos del Cerro de Dengantha presentan una serie de característi-



Fuente: Elaborado por los autores.
Figura 3. Espectros infrarrojos de los suelos del Cerro de Dengantha.

cas físicas y químicas que los hacen diferentes a los restantes suelos del Valle del Mezquital, por lo cual requieren de estudios y atención especiales.

Referencias

- ACEVEDO, S.O.; ORTIZ, H.E.C.; CRUZ, Ch.M.E. (2004). El papel de los óxidos de hierro en suelos. **Terra Latinoamericana**, 22(4): 485-497.
- ADAM, M. (1995). **Fundamentos de química de suelos**. Ed. Anaucó, C.A. Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela. 371 pp.
- BESOAIN, M.E. (1968). Imogolite in volcanic ash soils of Chile. **Geoderma** 2: 151-159.
- BESOIAN, M.E. (1972). Mineralogía de las arcillas de los suelos derivados de ceniza volcánica. En: **Papel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina**: Turrialba, Costa Rica. B1.1-B1.13: 6-13.
- BESOIAN, M.E. (1985). Génesis y transformación de los minerales de arcilla en suelos derivados de cenizas del centro-sur de Chile. In: Tosso, J (Ed). **Suelos Volcánicos de Chile**. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Centro de Investigación La Platina. Santiago, Chile. 275-284.
- CAMPOS, C.A.; OLESCHKO, K.; CRUZ, H.L.; ETCHEVERS, B.J.D.; HIDALGO, M.C. (2001). Estimación de alofano y su relación con otros parámetros químicos en andisoles de montaña del Volcán Cofre de Perote. **Terra** 19(2): 105-116.
- FARMER, V.C.; RUSSEL, J.D. (1990). The structure and genesis of allophanes and imolite: their distribution on nonvolcanic soils. In: M.F. De Boer., M.H.B. Hayes and A. Herbillon (Editors). **Soil Colloids and their Association in Soils Aggregates**. Proc. NATO Advances.
- FASSBENDER, H.W. (1982). **Química de suelos en énfasis en suelos de América Latina**. IICA. San José. Costa Rica. 389pp.
- Fieldes, M. (1955). Clay mineralogy of New Zealand soils. Part 2: Allophane and related minerals colloids. **New Z. J. of Sci. and Techn. B. Wellington** 38(6):533-570pp.
- FIELDER, M.; PERROT, K.W. (1986). The nature of allophane in soils. Part III: Rapid field and laboratory test for allophane. **New Zealand Journal of Science** 9(3): 623-629.
- FISHER, R.V.; SCHMINCKE, H.U. (1984). **Pyroclastic Rocks**. Springer Verlag. Berlin. 472 pp.
- FLÓREZ M.M.T.; ZAPATA, R.; MALAGÓN, D.; MADRIÑAN, R. (2006). Alteración química de los fragmentos de matriz y de los vidrios volcánicos de los suelos y paleosuelos ándicos del norte de la Cordillera Central Colombiana. **Rev. Acad. Colomb. Cienc** 30(114): 47-66.
- FLÓREZ, M.M.T.; PARRA, S.L.N. (2010). Rasgos de alteración en los minerales de las cenizas volcánicas del norte de la Cordillera Central de Colombia. **Boletín de Ciencias de la Tierra** 27: 49-70pp.
- GONZÁLEZ, J.; GUERRA, F.; GÓMEZ, H.; ELIZALDE, G. (2004). Ideas Generales sobre meteorización. **Geoenseñanza** 9(2): 213-237.
- HEIKEN, G.; WOHLLETZ (1985). Volcanic ash. University of California. Press, Berkeley. C.C. In: **Encyclopedia of volcanoes**. Ed. Haraldur Sigurdsson. Wiley N.Y. 1155p.
- HIDALGO, C.; ETCHEVERS, J.D.; QUANTIN, P. (1991). Imogolita en un Andisol de México. **Turrialba** 41(4): 509-514.
- INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI (IGAC); 1991: Génesis y taxonomía de los Andisoles Colombianos. **Investigaciones**. Vol. 3(1). Santafé de Bogotá. 118p.
- JARAMILLO, J. (2002). **Introducción a la ciencia del suelo**. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Medellín. Colombia. 595pp.
- MADEJOVÁ, J.; KOMADEL, P. (2001). Baseline studies of the clay minerals society source clays: infrared methods. **Clay and Clay Minerals** 49: 410-432.
- MEDINA, M.; VOLKE, H.V.H.; GONZÁLEZ, R.J.; GALVIS, S.A.; SANTIAGO, L.M.J.; CORTÉZ, F.J.I. (2006). Cambios en las propiedades físicas del suelo a través del tiempo en los sistemas de maíz (*Zea mays*) bajo temporal y mango bajo riego en luvisoles del estado de Campeche. **Universidad y Ciencia** 22(2): 175-189.
- MOTTA, M. (1990). **Métodos analíticos del Laboratorio de suelos**. IGAC. Bogotá 502pp.
- MUNSELL (1975). **Soil Color Charts**. Ed. Kollmorgen Corp. Maryland. USA.
- OSTROUMOV, M.; CORONA CH.P. (2003). Mineralogical study of modernite from the Sierra Madre del Sur, Southwestern, México. **Revista Mexicana de Ciencias Geológicas**. 20(2): 133-138.
- SADZAWKA, R.A.; PORTE, L.O. (1985). Aluminio activo y hierro en suelos volcánicos. **Agricultura Técnica Chile** 45(4): 329-334.
- SCHWERTMANN, U.; STANJEK, H. (1993). Stirring effects on properties of Al goethite formed from ferrihydrite. **Clay and Clay minerals** 46(3): 317-321.
- SCHULZE, D.G. (1993). Significance of organic matter in determining soil colors. **Soil Color**. Special publication 31. Soil Science Society of America. Madison, WI. USA: 71-90.
- SPARKS, R.S. *et al.* (1977). Volcanic plumes. In: **Encyclopedia of volcanoes**. Ed. Haraldur Sigurdsson. Wiley N.Y. 916-918pp.
- SHOJI, S.; NANZYO, M.; SHIRTO, Y.; ITO, T. (1993). Chemical kinetics of weathering in Young Andisols from northeast Japan using age normalized to 10°C. **Soil Science** 155: 53-60.
- SUDO, T.; TAKAHASHI, H. (1953). Particle shape of a certain clay and hydrated halloysite as revealed by the electron microscope. **Miner J.** 1(1): 66-68.
- SWINDALE, L.D. (1965). The properties of soils derived from volcanic ash. Meeting on class, and corr of soils from volcanic ash. FAO. Report Rome 14: 53-55.
- TUDDENHAM, V.M.; LYON, R.J.P. (1960). Infrared techniques in the identification and measurement of minerals. **Anal. Chem.** 32: 1630-1634pp.
- UEHARA, G.; KENG, J. (1974). Relaciones entre mineralogía y el manejo de los suelos en América Latina. En: **Manejo de suelos en la América Tropical**. North Carolina State University. Raleigh. 370-375.

- VARGAS, R.Y.M.; GÓMEZ, V.V.; VÁZQUEZ, L.E.; GARCÍA, B.A.; AGUILAR, S.G.; SÁNCHEZ, M.H. (2008). Caracterización espectroscópica, química, morfológica y propiedades superficiales de una montmorillonita mexicana. **Revista Mexicana de Ciencias Geológicas** 25(1): 135-144.
- YAMADA I.; SHOJI S.; FUJIMORA, Y.; SAIGUA, M. (1982). Chemistry and clay mineralogy of Ando soils, Brown forest soils and Pozolic soils formed from recent Towada ashes, Northeastern Japan. **Soil Science** 133: 69-86.
- WADA, K. (1977). Amorphous clay constituents of soils. **Adv. Agron.** 26: 211-260.
- WADA, K. (1989). Allophane and imogolite. In: G.B. Dixon y S.B. Wedd (Ed). **Minerals in soil environments**. SSSA, Madison, WI. 1051-1081.
- WALKER, G.P. (1971): Grain-size characteristics of pyroclastic deposits. **J. Geol.** 79:696-714pp.
-