

SUELOS DERIVADOS DE ROCAS Y CENIZAS VOLCÁNICAS ANDESITICAS DE LA ZONA ORIENTAL DEL IZTACCIHUATL

Por Abdón Cortés Lombana, Guillermo León Vallejo
y Rafael Hernández Sánchez

En México es común encontrar volcanes y depósitos de cenizas volcánicas de origen basáltico, andesítico y riolítico. Algunos de los originados de cenizas volcánicas ricas en material vítreo han sido clasificados como suelos de Ando. El principal objetivo en este estudio es el de reafirmar la existencia de suelos de Ando en el país y, principalmente, en el Valle de México; definir sus características físico-químicas y su clasificación dentro de los diferentes grupos de suelos, así como indicar su aptitud de explotación.

Los suelos derivados de cenizas volcánicas ocupan grandes extensiones en el mundo y a ellos los científicos del suelo han dedicado su atención, especialmente en los últimos años. Como resultado de esto, varias investigaciones se han realizado en la región circumpacífica, en donde la actividad volcánica ha sido notable.

Es obvia la importancia del grado de intemperismo de los suelos cuyo mecanismo determina propiedades muy importantes de éstos. Señala la naturaleza de los materiales de los cuales se han derivado los suelos y el tipo de minerales secundarios que se forman como resultado de la alteración y que ocurren en los diferentes horizontes del perfil, concentrados por remoción o como residuo. Además controla la liberación de los elementos solubles esenciales para el crecimiento de las plantas: una insuficiente liberación de nutrimentos significa que se requiere un suplemento de materiales fertilizantes para obtener una buena producción de cosechas.

El presente estudio hace referencia a los suelos de origen volcánico, denominados de *Ando*, cuyas características específicas les imprimen un interés especial tanto científico como práctico, y los cuales cubren amplias extensiones, siendo importantes en el desarrollo económico de México.

*Revisión de literatura **

Los suelos relacionados con el presente estudio bajo la denominación general de "suelos derivados de cenizas volcánicas", están limitados a aquéllos en los cuales existe un contenido alto de materiales amorfos en la fracción arcillosa, una baja densidad aparente, contenido de materia orgánica relativamente alto en el horizonte A, consistencia friable y otras propiedades específicas.

Reciben estos suelos diversas denominaciones en los distintos países; sin embargo, es de anotar a este respecto que en la reunión para la clasificación y correlación de los suelos derivados de cenizas volcánicas, celebrada en Tokio (Japón), en el año de 1964, luego de discutirse ampliamente el nombre más conveniente, se llegó a la

* La tesis original contiene una amplia revisión de literatura sobre las características de los suelos, condiciones de formación, génesis de los suelos derivados de cenizas volcánicas y clasificación de los suelos derivados de cenizas volcánicas.

conclusión de que "Suelos de Ando" era el más adecuado. Ando es un vocablo derivado del japonés: *An* que significa oscuro y *do* que quiere decir suelo.

En el Japón el primer nombre local llegó a ser reemplazado por el de "Húmico de Alofano". Ohmasa (1964) llama a aquellos suelos derivados de cenizas volcánicas ricos en humus y de color negro, "Kuroboku", afirmando que corresponden al de suelo de Ando utilizado por los científicos americanos.

En Nueva Zelanda se les llamó "Franco Marrón Amarillento" y "Franco Pómez Amarillento", hoy en día reemplazado parcialmente por "Suelo Alvic". En Chile y Argentina se les llama normalmente "Trumaos" (Besoin 1957), palabra indígena que significa "polvo de color amarillo" o "amontonar polvo", con lo cual se exalta el rasgo textural pulverulento y el color característico de estos suelos; en la actualidad también son incluidos los Trumaos dentro de la denominación de "Suelos Alofánicos".

El término alofánico no se restringe solamente al grupo de suelos derivados de cenizas volcánicas, puesto que otros suelos formados de diferentes materiales parentales, también contienen cantidades considerables de alofano. Taylor (1960) los ha llamado "Amórficos" y en la Séptima Aproximación (U.S.D.A. 1960) están incluidos como Andepts.

Materiales y métodos

Localización de la zona de estudio. Los suelos objeto de esta investigación se encuentran ubicados en la zona oriental del Iztaccíhuatl, en el municipio de San Juan Tetla (Puebla), formando una faja de terreno que se extiende desde los 2 600 hasta los 4 200 metros de altura sobre el nivel del mar. Dentro del área está localizado el campo experimental San Juan Tetla, perteneciente al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales (INIF).

Geología. De acuerdo con el mapa geológico elaborado por Mosser, con base en trabajos de este autor y de Segerstrom y Fries (Mosser, 1957-1961; Fries, 1956), las manifestaciones volcánicas que cubren discordantemente el bloque elevado de la Sierra Nevada, se agrupan en la serie andesítica Tláloc-Telapón.

Las partes antiguas del Iztaccíhuatl marcan, con otros cerros volcánicos, los elementos Pliocénicos más antiguos de la zona del Clarión. En toda el área se reconocen las series volcánicas del Plioceno, en parte por su posición, ya que se hallan encima de materiales más antiguos fuertemente erosionados, pero también por su mejor conservación, lo que comprueba su mayor juventud geológica; de aquí que el análisis morfológico sea de primordial importancia en la determinación de edades.

Los fines del Terciario y el comienzo del Cuaternario se caracterizan por nuevos impulsos tectónicos y por un cambio climático de seco a húmedo; las aguas socavaron arroyos y cañones en los complejos volcánicos del Terciario y en los abanicos aluviales. Las andesitas que constituyen la mayor parte del Iztaccíhuatl aparecieron en el Cuaternario Medio.

Clima. Jáuregui, citado por Del Río (1962), mediante el empleo del sistema Koeppen, considera que la parte alta de la Sierra Nevada, con excepción de la cima del Popocatepetl y del Iztaccíhuatl, a las cuales asigna el subtipo *ET*, está dentro del tipo *Cwbgi*. Vivó y Gómez (1946) señalan igualmente para las cimas los subtipos

ET y EF. Contreras Arias, citado por Madrigal (1964), utilizando el método Thornhwaite, le asigna a la Sierra Nevada el clima $BiB_{1/2}a^1$.

Vegetación. La relación de las especies vegetales existentes en la zona de trabajo está tomada de los resultados obtenidos por el Ing. May Nah (1965), durante el reconocimiento fitogeográfico realizado por él en la región. May Nah indica la existencia de seis asociaciones en la zona de coníferas: 1) *Pinus teocote*; 2) *Pinus leiophylla*; 3) *Pinus montezumae*; 4) *Pinus hartwegii*; 5) *Pinus ayacahuite* var. *veitchii*; 6) *Abies religiosa*.

Sobre los 4 000 metros de altura aparece la vegetación de tipo alpino, caracterizada por las siguientes especies: a) arbustivas: *Lupinus montanus* y *Penstemon gentianoides*; b) herbáceas: *Muhlenbergia* spp, *Agrostis* spp, *Draba jorullensis*, *Arenaria bryoides*, *Arenaria reptans*, *Cirsium nivale*, *Gnaphalium sarmentosum* y otras menos abundantes.

El trabajo se inició con un recorrido exploratorio de la zona, a fin de obtener una idea acerca de la fisiografía y geomorfología e ir conociendo los suelos presentes. Se utilizaron fotografías aéreas a escala 1:20,000 de la Compañía Mexicana de Aerofoto.

Una vez delimitados los suelos existentes se procedió a hacer una descripción morfológica de los perfiles representativos de los suelos estudiados; se recolectaron muestras de los horizontes de cada uno de los perfiles descritos, en las cuales se realizaron los siguientes análisis:

- a) Color en seco y en húmedo por el sistema Munsell.
- b) Fraccionamiento del suelo por el método de Jackson *et al* (1950).
- c) Materia orgánica y nitrógeno total por los métodos de Walkley y Black y Kjeldahl respectivamente.
- d) Determinación del pH.
- e) Conductividad eléctrica en el Puente de Wheatstone.
- f) Análisis químicos por fusión, según las técnicas indicadas por Corey y Jackson (1963).
- g) Pérdida de agua por calcinación a 1 000°C.
- h) Análisis por difracción de rayos X en suelo total y en la fracción arcillosa menor de 2 micras.
- i) Análisis térmico diferencial en la fracción arcillosa menor de 2 micras.
- j) Observación al microscopio electrónico, de la fracción arcillosa menor de 2 micras, de algunos horizontes.
- k) Capacidad de intercambio de cationes de la fracción arcillosa menor de 2 micras.
- l) Fijación de fósforo en el suelo utilizando fósforo radioactivo.

Resultados y discusión

En la región estudiada se identificaron y describieron dos grupos de suelos: el primero, el más importante, corresponde a los suelos formados a partir de cenizas volcánicas, llamados de Ando o Húmicos de Alofano, y el segundo forma parte de los suelos de la zona alpina sobre los 4 000 metros de altura sobre el nivel del mar.

Además se diferenciaron los siguientes grupos de suelos de menor importancia dentro de la zona, por ocupar áreas muy pequeñas: a) Suelos coluvio-aluviales y b) suelos litosólicos. Estos últimos se describen dentro del estudio, únicamente con base en sus características externas más sobresalientes, como son: relieve, pendiente dominante, vegetación, drenaje, etcétera.

Suelos de Ando

Comprenden la mayor parte de la región estudiada, extendiéndose desde los 2 600 hasta las 4 000 metros sobre el nivel del mar. La cota 2 600 corresponde al límite inferior del área estudiada.

El relieve que presenta la región en donde aparecen estos suelos es muy quebrado y en algunos lugares escarpado, con pendientes dominantes 25-50% y mayores del 50%; algunos sectores tienen inclinaciones más suaves, pero son de escasa frecuencia.

El material parental de los suelos está formado por depósitos de cenizas ande-síticas recientes que varían desde varios metros, hasta algunos centímetros de profundidad. Se anota a continuación la descripción morfológica de uno de los perfiles descritos.

Perfil Núm. 1

Fecha: 20 de agosto de 1965

Localización. Campo experimental San Juan Tetla, a dos kilómetros al noroeste de la casa principal, por el camino que del llano denominado "Majadas" conduce al llano de "Tecocho".

Altura: 3 450 m sobre el nivel del mar.

A° Horizonte compuesto de residuos vegetales parcialmente descompuesto 0.00 - 0.02 m que muestran, en general, color negro en húmedo (10YR2/1) y gris oscuro (10YR4/1) en seco

A₁ Textura, franco arenosa; color en húmedo, negro (10YR2/1) en seco, 0.02 - 0.50 m en seco, gris oscuro (10YR4/1); estructura, granular fina; consistencia, blanca en seco, muy friable en húmedo y en mojado, no pegajosa y no plástica; retención de humedad, buena; presencia de raicillas y de macroorganismos, abundante; contenido de materia orgánica, alto; reacción al ácido clorhídrico, ninguna; pH, 6.1; transición gradual al siguiente horizonte.

A₃ Textura, franco arenosa; color marrón grisáceo muy oscuro en húme- 0.50 - 0.75 m do (10YR3/2); marrón a marrón oscuro en seco (10YR4/3); estructura, subangular fina débil; consistencia, blanda en seco, friable en húmedo y no pegajosa y no plástica en mojado; retención de humedad, buena; presencia de raicillas y de macroorganismos, abundante; contenido de materia orgánica, alto; reacción al ácido clorhídrico, ninguna; pH, 6.3; transición clara al siguiente horizonte.



Figura 1. Perfil Núm. 1. representativo de los suelos del Iztaccíhuatl, derivado de cenizas volcánicas andesíticas. Altura: 3,450 metros sobre el nivel del mar

CUADRO 1

Resultados de los análisis con rayos X de suelo total y material de origen. Suelo del Iztaccíhuatl, desarrollados a partir de cenizas volcánicas andesíticas. Perfil Núm. 1. Altura: 3,450 m.s.n.m.

PROFUNDIDAD — cm	Minerales identificados
0 — 50	Feldespatos (microclina, plagioclasa), cristobalita, cuarzo, biotita, augita.
50 — 75	Feldespatos (plagioclasa, microclina), cristobalita, cuarzo, biotita, augita.
75 — 115	Feldespatos (microclina, plagioclasa), cristobalita, cuarzo, micas (biotita y muscovita), augita.
115 — 150	Feldespatos (microclina, plagioclasa), cristobalita, cuarzo, micas (biotita y muscovita), augita.
150 — X	Feldespatos (microclina, plagioclasa), cristobalita, biotita, augita, hornablenda, magnetita.

CUADRO 2

Resultados de los análisis con rayos X en la fracción arcillosa menor de dos micras, sin tratamiento, solvatada con glicerol y después de la eliminación del hierro de los suelos del Iztaccíhuatl desarrollados a partir de cenizas volcánicas andesíticas. Perfil Núm. 1. Altura: 3,450 m.s.n.m.

PROFUNDIDAD — cm	Minerales identificados
0 — 50	Haloisita, metahaloisita, gibsita, biotita, hidrobiotita.
50 — 75	Gibsita, haloisita, metahaloisita, caolinita, biotita, hidrobiotita.
75 — 115	Haloisita, metahaloisita, gibsita, biotita, hidrobiotita, caolinita.
115 — 150	Haloisita, metahaloisita, hidrobiotita, biotita, caolinita.

CUADRO 3

Minerales identificados por microscopía electrónica y resultados de la capacidad de intercambio de cationes (C.I.C.) en la fracción arcillosa menor de dos micras de los suelos del Iztaccíhuatl desarrollados a partir de cenizas volcánicas andesíticas. Perfil Núm. 1. Altura: 3,450 m.s.n.m.

PROFUNDIDAD — cm	Minerales identificados	C.I.C. (meq./100 gr)
0 — 50	Alofano, haloisita, metahaloisita.....	45.7
50 — 75	Alofano, haloisita, caolinita.....	47.3
75 — 115	Caolinita, alofano.....	30.45
115 — 150	No se observó.....	30.45

- B* Textura, franco arenosa; color marrón amarillento oscuro en húmedo (10YR4/7), marrón amarillento claro en seco (2.5Y6/4); estructura, subangular media débil; consistencia, ligeramente dura en seco, friable en húmedo y ligeramente pegajosa y ligeramente plástica en mojado; retención de humedad, buena; presencia de raicillas y macroorganismos, escasa; contenido de materia orgánica, bajo; reacción al ácido clorhídrico, ninguna; pH, 6.8; transición clara al siguiente horizonte.
- C* Material tobáceo muy meteorizado de color marrón grisáceo en húmedo (2.5Y5/2) y gris claro en seco (2.5Y7/2); con textura franco arenosa; este horizonte descansa sobre toba más consolidada de color gris. *Observaciones:* En el perfil y sobre la superficie del suelo hay presencia de rodados grandes (50 a 60 cm de diámetro) de origen andesítico.

Suelo Húmico Alpino

Hace su aparición este grupo de suelos en la parte más alta de la zona estudiada, en el límite superior de la vegetación de coníferas, a una altura de 4 100 m sobre el nivel del mar.

El material parental es una mezcla de rocas andesíticas de colores grises y rosáceos de diversos tamaños. La vegetación característica está compuesta por gramíneas propias de esa faja alpina.

Descripción morfológica del perfil dominante

Fecha: Septiembre 4 de 1965.

Localización: Flanco sudoriental del Iztaccihuatl a 300 m de las nieves perpetuas.

Altura: 4 100 m sobre el nivel del mar.

A Textura, arenosa franca; color marrón grisáceo muy oscuro en seco 0.00 - 0.20 m (10YR3/2) y negro en húmedo (10YR2/1); estructura, de grano simple; consistencia, suelta en seco, suelta en húmedo y no pegajosa y no plástica en mojado; retención de humedad, regular; presencia de raicillas, muy abundante; contenido de materia orgánica, alto; reacción al ácido clorhídrico, no hay; pH, 5.4; transición clara al siguiente horizonte.

C Material parental formado por rocas andesíticas fragmentadas y cementadas entre sí por un material de color gris rojizo (5YR5/2) en 0.20 - X m húmedo; de textura franco arenosa con mucha gravilla.

Observaciones: El perfil permanece muy húmedo y helado, especialmente después de los 20 cm de profundidad, lo que hace pensar que existe un subsuelo similar al permafros de las regiones árticas y subárticas.

CUADRO 4

Resultado de los análisis por rayos X de suelo total y material de origen. Suelo húmico alpino (Iztaccihual) desarrollado a partir de roca madre andesítica. Perfil Núm. 3. Altura: 4,100 m.s.n.m.

PROFUNDIDAD — cm	Minerales identificados
0 — 20	Feldespatos (microclina, sanidina, plagioclasa), cristobalita, cuarzo, augita
20 — X	Feldespatos (microclina, sanidina, plagioclasa), cristobalita, cuarzo, augita, óxidos de hierro
Roca	Feldespatos (microclina, sanidina, plagioclasa), cristobalita, cuarzo, augita, óxidos de hierro

CUADRO 5

Resultados de los análisis de rayos X en la fracción arcillosa menor de dos micras, sin tratamiento, solvatada con glicerol y después de la eliminación del hierro, del suelo húmico alpino (Iztaccihual) desarrollado a partir de la roca madre andesítica. Perfil Núm. 3. Altura: 4,100 m.s.n.m.

PROFUNDIDAD — cm	Minerales identificados
0 — 20	Biotita, hidrobiotita, vermiculita, caolinita, cristobalita, feldespatos
20 — X	Cristobalita, feldespatos, caolinita, biotita, hidrobiotita, vermiculita

CUADRO 6

Minerales identificados por microscopía electrónica y resultado de la capacidad de intercambio de cationes en la fracción arcillosa menor de dos micras del suelo húmico alpino (Iztaccihual) desarrollado a partir de roca andesítica. Perfil Núm. 3. Altura: 4,100 m.s.n.m.

PROFUNDIDAD — cm	Minerales identificados	C.I.C. (meq./100 gr)
0 — 20	No se observó.....	38.85
20 — X	Caolinita pobremente cristalizada.....	16.80

Suelos Coluvio-aluviales

Ocupan estos suelos pequeñas áreas ubicadas al pie de las fuertes pendientes, especialmente en el fondo de las profundas depresiones existentes. Los suelos han sido formados por el material de arrastre transportado por las aguas de deshielo y por el material coluvial desprendido de las zonas más altas y colocado allí por la acción de la gravedad.

Son suelos evolucionados que han sido colonizados por la vegetación propia de esta zona. El perfil se caracteriza por la heterogeneidad de sus capas, alternándose los lechos de arenas y gravas con lechos de cantos rodados de todos los tamaños.

Suelos Litosólicos

En esta unidad se han agrupado las áreas más elevadas de la zona con topografía escarpada, cuyas pendientes son superiores siempre al 50%. El relieve es el factor más importante en la diferenciación de estos suelos, aunque en la región cercana a las nieves perpetuas el factor clima cobra igual importancia. Los suelos no tienen una morfología claramente expresada y consisten en una masa de fragmentos rocosos y de rocas consolidadas que están intemperizadas imperfectamente.

Resumen y conclusiones

Las características que presentan los suelos estudiados (perfiles 1 y 2), permiten incluirlos dentro de los suelos de *Ando* y *Húmico Alpino* respectivamente. Estos grupos constituyen el principal objetivo del trabajo, puesto que muestran una secuencia genética a partir de la materia parental de la cual se han desarrollado. *Suelos de Ando*. El análisis de las características morfológicas, físicas, químicas y mineralógicas del perfil representativo de los suelos de *Ando* pone en evidencia lo siguiente:

El proceso intempérico no ha obrado con mucha intensidad en estos suelos, observándose que la alteración física de las partículas de cenizas volcánicas ha predominado sobre la descomposición química, lo que ha dado como resultado una escasa formación de arcilla.

El perfil es de tipo *A(B)C* existiendo una marcada diferencia entre el horizonte superficial de color negro y los horizontes subyacentes marrón amarillento. El color del horizonte *A* está relacionado con el contenido de materia orgánica presente en esta parte del perfil, mientras que los colores del subsuelo pueden tener su origen en el intemperismo de los vidrios volcánicos, de la asociación mineral predominante en las cenizas o en los compuestos del hierro, mostrando colores diversos según el grado de hidratación en las distintas etapas de evolución del suelo.

Los valores del pH aumentan con la profundidad, desde ligeramente ácidos hasta casi neutros, lo cual indica condiciones de lavado poco intensas. También puede influir en este hecho la capacidad amortiguadora del alofano presente en los suelos.

El contenido de materia orgánica del horizonte *A* es muy alto y en su acumulación intervienen factores tales como: *a)* la temperatura baja, que es capaz de disminuir la actividad microbiana; *b)* la vegetación existente, que proporciona per-

manentemente material orgánico, y c) la formación de un complejo alofano-humus muy estable. Considerando las condiciones bajo las cuales se efectúa la descomposición de la materia orgánica, es de esperarse que el tipo de humus formado sea el Mor, de gran importancia en la química del perfil.

Los análisis químicos por fusión, así como los de difracción de rayos X en el suelo total, indican que los minerales presentes no han sido muy alterados, ya que no se registran pérdidas apreciables en el contenido de elementos totales y se observa la presencia a través del perfil de los compuestos primarios propios del material de origen.

Las arcillas presentes en estos suelos se encuentran formando una mezcla en la que predominan alofano, haloisita, y metahaloisita, encontrándose en menor proporción la caolinita mal cristalizada. Es también importante la presencia en la fracción arcillosa menor de dos micras de gibsita y de minerales del tipo de la hidrobiotita y vermiculita. La formación de los minerales arcillosos identificados está relacionada principalmente con el intemperismo de los vidrios volcánicos, cuya facilidad de descomposición es superior a la de los feldespatos y las micas. Lo anterior indica que en estos suelos ocurre una transformación del estado amorfo al estado cristalino, con formación de alofano como producto intermedio.

De acuerdo con la Séptima Aproximación (USDA, 1960), estos suelos pertenecen al orden *Inceptisol*, suborden *Andept*; a nivel de gran grupo, los suelos representados por el perfil en referencia se incluyen entre los *Umbrandept*.

Suelos Húmico Alpino. El estudio del perfil característico del grupo de suelos Húmico Alpino, señala varios datos importantes:

Se trata de suelos poco evolucionados cuyo perfil presenta únicamente un horizonte A formado en su mayor parte de materia orgánica parcialmente descompuesta, el cual yace directamente sobre la roca madre fragmentada.

Las condiciones climáticas extremas, en especial las bajas temperaturas, han impedido que el intemperismo químico obre en forma más intensa, dando como resultado una incipiente formación de arcilla.

El alto contenido de materia orgánica está relacionado con las bajas temperaturas que reducen notablemente los procesos químicos y biológicos de descomposición; por otra parte, el tipo de vegetación existente en la zona proporciona grandes cantidades de residuos orgánicos.

La parte mineral del perfil está caracterizada por la presencia de microclina, sanidina, plagioclasas, especialmente andesina, cristobalita, cuarzo, augita y óxidos de hierro. Estos constituyentes indican la presencia de material andesítico. Los análisis de difracción de rayos X señalan claramente que los minerales primarios no han sufrido alteración apreciable, lo que concuerda perfectamente con el escaso desarrollo del perfil e indica la juventud de estos suelos.

La presencia de feldespato, micas y otros silicatos diferentes a la arcilla, en la fracción menor de dos micras, indican que la alteración física es la que predomina en esta región fría. Los diferentes métodos utilizados para identificar los minerales arcillosos, establecen la presencia de pequeñas cantidades de caolinita pobremente cristalizada.

Las características de estos suelos permiten incluirlos en la Séptima Aproximación, dentro del orden *Inceptisol*, suborden *Umbrepts* y en el gran grupo de los *Criumbrept*.

Potencialidad de explotación de los suelos estudiados

Las características topográficas generales que presenta la zona objeto del presente estudio, la hacen útil únicamente para la explotación forestal, a excepción de la región alpina en donde las condiciones climáticas impiden su uso con fines económicos.

Es indispensable conservar estos suelos con la vegetación actual, pues de lo contrario el proceso erosivo obraría intensamente y acabaría con el suelo en corto tiempo.

Referencias citadas

- AGUILERA H., N. (1961.) *Algunos suelos de la Meseta Tarasca*. Folleto Técnico Núm. 1. Escuela Nacional de Agricultura, Chapingo, México.
- (1965.) *Suelos de Ando: génesis, morfología y clasificación*. Serie de Investigación Núm. 6. Colegio de Postgraduados, Escuela Nacional de Agricultura, Chapingo, México.
- BESOAIN, M. E. (1957.) *Mineralogía de las arcillas de algunos suelos volcánicos de Chile*. Agric. Téc., Santiago de Chile. 2:110-163.
- BIRRELL, K. S. (1964.) *Some properties of volcanic ash soils*. Report on the "Meeting on the classification and correlation of soils from volcanic ash". Word soil resources. Report 1e. FAO, Roma.
- DUCHAUFOUR, R. (1960.) *Precis de Pedologie*. Masson and Cie. Editeurs 120 Boulevard Saint-Germain, París.
- FRIES, J. C. (1956.) *Bosquejo geológico de las partes central y occidental del Estado de Morelos y áreas contiguas de Guerrero y México*. Cong. Geol. Intern. México, D. F.
- JACKSON, M. L.; WHITTING, L. D. y PENNINGTON, R. P. (1950.) *Segregation procedure for the mineralogical analysis of soils*. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 14:72-78.
- KELLER, W. D. (1957.) *The principles of chemical weathering*. Lucas Brothers publishers. Columbia, Missouri.
- MADRIGAL, S. X. (1964.) *Contribución al conocimiento de la ecología de los bosques de Oyamel (Abies religiosa) en el Valle de México*. México.
- MOSSER, F. (1957.) *Los ciclos del vulcanismo que forman la Cuenca de México*. Cong. Geol. Intern. México.
- MOSSER, F. (1961.) *Informe sobre la geología de la Cuenca del Valle de México y zonas colindantes*. Secretaría de Recursos Hidráulicos, Comisión Hidrológica. México.
- MITCHELL, B. D., FARMER, V. C. y McHARDY. (1964.) *Materiales inorgánicos amorfos en los suelos*. Adv. Agr. 16:327-368.
- USDA. (1960.) *Soil conservation service; soil clasification: a comprehensive system*. 7th Approximation. Dep. Agr. Washington.