

Determinación de las Formas de Nitrógeno en Suelos Derivados de Cenizas Volcánicas de la Sierra Tarasca, Michoacán, México¹

L. Cruz Huerta*, J.D. Etchevers**

ABSTRACT

The soils of the Tarascan Plateau of Michoacán, Mexico are derived from volcanic materials showing several degrees of weathering. These soils contain allophane, an amorphous clay mineral, and exhibit a slow rate of organic matter mineralization. Both characteristics have been held responsible for some fertility problems encountered in these soils. The objectives of the present work were: determine chemical characteristics of these soils; fraction the nitrogen they contain and establish the relationship between the former and latter determinations. Observations and analyses practiced in samples obtained at 10 sites (0 to 20 and 20 to 40 cm depth) along a soil transect 80 km long (2200 to 2700 meters) showing a Udic soil moisture regime indicated Andic characteristics in most soils. Oxalate extractable Al and percentage P fixation ranged from 1.0 to 8.4% and 44 to 99%, respectively. Percentages of organic matter in the first depth increment were high (1 to 15%), and the allophane ranged from 0.9 to 16.7%. The relationship between the two former variables was very high ($r = 0.98$) and suggested the existence of some organic-mineral complex. Main N fractions were: insoluble-N, hydrolyzable-N and inorganic soluble-N, which represented 23 to 75, 20 to 41 and 1 to 16% of the total N, respectively. Fixed NH_4 varied from 5 to 52% of the total N. Most of the above fractions were closely associated with the Andic properties. The inorganic-N and the hydrolyzable-N, which represent the available N and the N-mineralizable in the short term, respectively, were not lacking in these soils. The above finding suggested that the low levels of available N are due to factors other than those considered, perhaps denitrification or NO_3^- -N lixiviation.

COMPENDIO

Los suelos de la Meseta Tarasca de Michoacán, México, que se derivan de materiales volcánicos, presentan diversos problemas nutricionales relacionados principalmente con el nitrógeno, tal vez debido a la presencia de alofán y a la escasa mineralización de la materia orgánica. Los objetivos del presente trabajo fueron: caracterizar el material volcánico y las fracciones de nitrógeno orgánico e inorgánico y establecer relaciones cuantitativas entre ellos con el fin de tratar de explicar las variaciones de las últimas. En el estudio realizado en 10 sitios (0 a 20 y 20 a 40 cm de profundidad) de un transecto de 80 km (2200 a 2700 msnm), localizado en la Meseta Tarasca, resultó que la mayoría de los suelos presentaron características ándicas. El índice de correlación entre los porcentajes de materia orgánica y alofán fue muy alto ($r = 0.98$) lo que indicaría la existencia de complejos de gran estabilidad. Las principales fracciones de nitrógeno fueron: la insoluble, la hidrolizable y la inorgánica (23 a 75%, 20 al 41% y de 1 a 16.4% del N-total, respectivamente); una proporción importante (4.7 a 52% del N total) correspondió a amonio fijo. La mayoría de estas fracciones se asociaron con las propiedades ándicas. Las fracciones inorgánica e hidrolizable, corresponden al nitrógeno mineralizable a corto y a largo plazo, respectivamente. Los niveles de ambas fracciones deberían ser suficientes para abastecer las necesidades de las plantas, lo cual aparentemente no ocurre.

INTRODUCCION

Los Andosoles constituyen un 4.3% de la superficie total de México. Estos suelos poseen, en general, un gran potencial productivo. Sin embargo, exhiben propiedades químicas peculiares que afectan negativamente su fertilidad. Entre ellas, se puede mencionar las altas capacidades de fijación de P y tampón, el elevado contenido de Al extractable y la acumulación de materia orgánica (M.O.). Esta última

condición posiblemente es causada por una baja tasa de la mineralización, lo cual se refleja en una escasa disponibilidad de N para las plantas. Tanto la acumulación de M.O., como la baja tasa de mineralización de estos suelos, determinan la necesidad de tener que adicionar fertilizantes nitrogenados para lograr rendimientos aceptables, lo cual constituye una paradoja, dado el alto porcentaje de N total que contienen.

¹ Recibido para publicación el 10 de enero de 1987

* Investigador Auxiliar Adjunto, Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, Chapingo, Estado de México

** Profesor Investigador, Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, Chapingo, Estado de México, México.

El conocimiento de los mecanismos de mineralización del N orgánico y los pasos que la bloquean, así como de los mecanismos responsables de la acumulación de la M.O., pueden contribuir a diseñar prácticas de manejo más adecuadas para estos suelos. El paso previo a la obtención de este conocimiento

es realizar un recuento de las formas en que se encuentra el N en el suelo para, posteriormente, estudiar su susceptibilidad a ser mineralizado

Las formas más importantes de N inorgánico en los suelos son: nitratos (N-NO_3^-), nitritos (N-NO_2^-) y amonio intercambiable y fijado (N-NH_4^+). Las tres primeras se consideran disponibles para las plantas; sin embargo, existen en el suelo en muy pequeño porcentaje (26). Por ejemplo, el contenido de N mineral (N-NO_3^- y N-NH_4^+) en muestras húmedas en andosoles chilenos es, en general, menor a 20 ppm (4). Sin embargo, el amonio fijado puede alcanzar proporciones considerables. En suelos hawaianos de origen volcánico, Mikami y Kanegiro (20) encontraron concentraciones desde 0 a 585 ppm de amonio fijado, lo cual equivalía del 0 al 32% del N total. En andosoles de la Sierra Tarasca de México, Velázquez (33) determinó que el amonio fijado nativo oscilaba entre 10 y 87 ppm y que éste se relacionaba con el contenido de M O, el tipo predominante de mineral arcilloso y la cantidad de K intercambiable. Como se puede observar, esta fracción puede llegar a constituir una proporción importante del N-total en suelos volcánicos y aparentemente no ha recibido la suficiente atención. Particularmente, poco se sabe sobre el papel que tal fracción juega en la escasa disponibilidad del N que exhiben estos suelos.

Sowden *et al.* (28) estudiaron la distribución de N en algunos suelos volcánicos tropicales de la región del Caribe y encontraron que, del 80 al 98% del N total, era hidrolizado por HCl 6M. La principal fracción de N orgánico en estos suelos era la aminoácida y oscilaba de 39 al 50%, decreciendo con la profundidad. Entre un 20 y 24% del N total se captó como N-NH_4^+ , el cual se incrementaba ligeramente con la profundidad y se cree que se deriva de la descomposición de amidas y de algunos aminoácidos, del amonio fijado a las arcillas y de materiales que contienen N no identificado. El N de aminoazúcares fue casi constante. Del 9 al 20% de N-hidrolizable no pudo ser identificado.

El N orgánico se encuentra en la mayoría de los suelos y particularmente en los volcánicos en forma de complejos estables, que, bajo ciertas circunstancias, dificultan su mineralización. Existen varias teorías para explicar este fenómeno pero dos de ellas parecen ser las más viables por lo que han recibido mayor atención. La primera postula que los compuestos de N son estabilizados por reacción con otros constituyentes orgánicos del suelo, en tanto que la segunda supone que los compuestos orgánicos del N son estabilizados a través de la adsorción sobre minerales arcillosos (7). Esta última teoría se ve apoyada por los resultados de las investigaciones conducidas en

México por Moncada (21), Aguilera (1, 2) y Cervantes (8), quienes coincidieron en señalar a los contenidos de arcillas alofánicas y de sesquióxidos de hierro y aluminio como posibles causantes de la lenta mineralización de la M O.

Como consecuencia de la estabilización del N orgánico resulta que sólo una pequeña fracción (aproximadamente un 3%), es mineralizada por los microorganismos (7). Este hecho tiene una gran importancia práctica porque limita la disponibilidad de N para las plantas.

Los objetivos del presente trabajo fueron: a) caracterizar el material volcánico, particularmente aquellas propiedades que pudieran relacionarse con el fenómeno de acumulación de la M O y mineralización del N, y b) caracterizar las diferentes fracciones de N orgánico e inorgánico y establecer relaciones cuantitativas entre estas fracciones y ciertas propiedades químicas, que ayuden a explicar su variación.

MATERIALES Y METODOS

Los suelos estudiados provinieron de la Meseta Tarasca, ubicada en la parte central del Estado de Michoacán, México; han sido reconocidos como pertenecientes al Orden Inceptisol en la Taxonomía de Suelos (8) y como Andosoles húmicos, mólicos y ócricos en el sistema FAO/UNESCO.

El muestreo (0 a 20 y 20 a 40 cm) se realizó en el mes de enero de 1983 en 10 sitios representativos de un transecto de aproximadamente 80 km que comprende altitudes desde 2200 a 2700 msnm.

Caracterización del material volcánico

Para la caracterización química de los suelos se emplearon suelos secos al aire y procedimientos recomendados por ICOMAND, es decir, Al extractable en oxalato ácido (Al_O) (5), fijación de P (5) y el porcentaje de vidrio volcánico (34). La densidad aparente se determinó en terrones secos al aire cubiertos con parafina (27), debido a que esa era la humedad de campo en el momento de muestreo. También se llevaron a cabo otras pruebas comúnmente empleadas en los laboratorios para determinar el carácter ácido de los suelos derivados de cenizas volcánicas, como son el pH en NaF (15), contenido de alofán calculado a partir de los resultados obtenidos por disolución selectiva con ditionito-citrato-bicarbonato (alofán_{dcb}) (3), alofán oxalato-pirofosfato (alofán_{p-o}) determinado por el procedimiento recomendado por Russell *et al.*, (23) y la prueba de la toluidina (32).

Se determinaron las siguientes fracciones de Al extractable: en $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ 1N pH 4.8 (19), con ditionito-citrato-bicarbonato (Al_{dcb}) por el método de Aomine y Jackson (3), con pirofosfato de sodio 0.1 M (Al_p) por el método descrito por Wada e Higashi (31) y la diferencia entre los dos métodos anteriores ($\text{Al}_{\text{dcb-p}}$) se obtuvo mediante el procedimiento descrito por Wada y Gunjigake (30).

Fraccionamiento del nitrógeno

El N total se determinó por el método Kjeldahl estándar, usando ácido salicílico para incluir nitratos (16) con suelo tamizado a través de malla 1.68 mm. Las determinaciones de N inorgánico incluyeron las fracciones N-NO_3^- , N-NH_4^+ y N-NO_2^- . Su extracción se hizo con KCl 2 M. Los extractos tratados con óxido de magnesio se destilaron por arrastre de vapor para determinar N-NH_4^+ y posteriormente con aleación de Devarda para evaluar el N-NO_3^- (6). El N-NO_2^- se cuantificó por el método colorimétrico de Illosvay modificado por Griess (6). La determinación de amonio fijado se realizó por el método de Silva y Bremner (25). Las fracciones orgánicas de N-NH_3 , de aminoácidos; aminoazúcares; y de naturaleza desconocida, (NND), se determinaron siguiendo la metodología descrita por Bremner (6).

Para relacionar los diferentes parámetros se estableció una matriz de correlación lineal. Para ello, se empleó el programa CORR de SAS 822 (24).

RESULTADOS Y DISCUSION

Caracterización del material volcánico

En el Cuadro 1 se presentan los resultados de la caracterización química de los suelos seleccionados para el estudio. Estos se discuten en otro trabajo (11). Nueve de los 10 sitios satisficieron la mayoría de los requerimientos para ser considerados como Andisoles, de acuerdo con uno de los criterios propuestos por ICOMAND específicamente para ciertos suelos de México (17). Este señala que, si el régimen de humedad del suelo es ústico, el porcentaje de Al soluble en oxalato ácido debe exceder el 1%, el porcentaje de fijación de fósforo alcanza un valor mayor de 60% y posee una densidad aparente menor de 0.9 g/cm^3 . La última condición fue satisfecha sólo por cuatro de los 10 sitios experimentales. Este hecho podría deberse a que los suelos fueron muestreados durante el período invernal, después de un proceso natural de secado. Kubota (16) encontró cambios irreversibles en el volumen de este tipo de suelos que afectarían su densidad aparente. A este respecto, Etchevers e Hidalgo (12) observaron que el secado al aire de suelos volcánicos de la Sierra Nevada, México, se traducían en au-

mentos de la densidad aparente. Ello significaría que esta característica hay que juzgarla con reserva ya que de haberse muestreado y procesado los suelos en la forma recomendada por ICOMAND (18) es posible que las densidades hubiesen sido menores. El carácter ándico de los sitios experimentales se manifestó además por el incremento del pH en NaF, respecto del pH en agua y por la reacción positiva o dudosa en ciertos casos, a la prueba de la toluidina propuesta por Wada y Kakuto (32) y por los niveles relativamente elevados de alofán.

Fraccionamiento del nitrógeno

Los resultados de las determinaciones de N total, M.O. y las fracciones inorgánicas de N se presentan en el Cuadro 2 y las asociaciones de éstas con el Al y el alofán, determinado por diferentes procedimientos, se incluyen en el Cuadro 3.

El porcentaje de N total varió de 0.03 a 0.63% y el de M.O. de 0.9 a 15.4%. Las diferencias entre la primera profundidad (0 a 20 cm) y la segunda (20 a 40 cm) fueron, en general, pequeñas y reflejan la uniformidad relativa de las propiedades de la parte superficial de estos suelos (Cuadro 1). Sólo un suelo exhibió menos de un 1% de M.O., pero seis de ellos presentaron más de 3.5%, considerado como un valor adecuado en suelos no volcánicos. Tres de estos últimos exhibieron porcentajes superiores al 10% de M.O., considerado elevado para cualquier tipo de suelo. Los niveles de M.O., y por ende, los de N, deberían ser suficientes para sostener una producción vegetal elevada, en la mayoría de los casos. Sin embargo, información sobre el estado nutricional de las plantaciones de maíz de la zona señala que los niveles de este nutrimento en las plantas son deficientes durante la época de inicio de formación de la mazorca (13). Este hecho señala claramente alguna distorsión en el mecanismo de mineralización de la M.O., su inaprovechabilidad por las plantas o la pérdida desde el perfil.

Los sitios con mayores porcentajes de N y M.O. se encuentran más alejados del volcán Parícutín, en tanto que los que tienen menores porcentajes se localizan en la cercanía de su base. Esto conduce a concluir que, a mayor distancia del volcán, tanto el N como la M.O. se acumulan a una tasa mayor o la descomposición de la última es más lenta. Ello podría deberse a la naturaleza de las sustancias que constituyen la fracción coloidal de estos suelos. Se ha informado que la M.O. forma asociaciones complejas, particularmente con el alofán, lo cual le conferiría cierta resistencia a la descomposición debido a su alta estabilidad (7). La existencia de este tipo de asociaciones ha sido observada por los autores en preparaciones microscópi-

Cuadro 1. Resultados de las pruebas para determinar el caracter ándico de los suelos de un transecto de la Sierra Tarasca, Michoacán, México.

Profundidad	Al Oxalato ácido	P Fijado NZBS	Densidad aparente	pH			Alofán		Prueba de toluidina
				H ₂ O 1:2	NaF 2'	60'	dc ^b 1	o-p ²	
cm		%		g/cm ³			%		
Zacan									
0 - 20	1.3	48	1.01	6.3	10.9	11.4	1.3	8.9	+/-
20 - 40	2.4	75	0.96	6.5	11.3	11.7	1.7	16.7	+/-
San Felipe									
0 - 20	1.8	71	1.07	5.9	10.7	11.1	2.6	11.3	-
20 - 40	2.1	72	0.82	6.3	10.7	11.1	3.8	12.7	-
Pomacuarán									
0 - 20	2.1	44	1.15	6.6	10.1	10.5	1.3	12.3	-
20 - 40	1.1	52	1.24	6.7	10.1	10.5	0.9	7.6	-
Quinceo									
0 - 20	3.9	88	1.27	6.5	10.9	11.5	3.3	25.0	-
20 - 40	4.7	88	1.22	6.7	10.9	11.4	2.9	28.0	-
Arantepacua									
0 - 20	2.6	73	1.21	5.7	10.9	11.1	2.4	14.2	-
20 - 40	2.6	71	1.08	6.3	10.4	11.0	3.5	14.3	-
Sevina									
0 - 20	5.8	97	0.85	5.8	11.8	12.0	10.3	30.1	-
20 - 40	6.6	98	0.75	6.4	12.0	12.2	11.0	33.6	-
San Juan Tumbio									
0 - 20	2.4	82	1.04	6.0	10.6	11.0	2.7	13.0	-
20 - 40	2.4	85	1.04	6.2	10.7	11.0	2.8	13.3	-
Lázaro Cárdenas									
0 - 20	3.4	95	0.91	6.1	11.0	11.5	4.0	20.0	-
20 - 40	2.9	93	0.91	6.5	11.1	11.6	4.1	17.0	-
San Gregorio									
0 - 20	6.6	98	0.80	5.8	12.1	12.3	15.6	33.5	+/-
20 - 40	6.6	99	0.77	6.3	12.1	12.3	16.7	37.8	+/-
Paso del Muerto									
0 - 20	8.4	98	0.82	5.5	11.9	12.2	15.4	44.7	+/-
20 - 40	8.2	99	0.96	5.5	12.1	12.4	15.2	42.2	+/-

1 El alofán dc^b se estimó calculando el porcentaje de SiO₂ y sumando el 21% de su valor, adicionándole los porcentajes de Al₂O₃ y de Fe₂O₃.

2 El alofán o-p se obtuvo sumando al porcentaje de Al₂O₃ (donde el Al se obtuvo del % Al₀ - % Al_p), el porcentaje de SiO₂ (% Si₀), más un 30% de agua.

3 El signo negativo indica que hubo metacromosis lo que significa la ausencia de alofán emogolita. El signo +/- indica que la prueba no fue conclusiva, que la intensidad del color del azul de toluidina disminuyó en gran medida.

Cuadro 2. Resultados de nitrógeno total, materia orgánica, y las fracciones inorgánicas de un transecto de la Sierra Tarasca, Michoacán, México.

Profundidad	Nitrógeno total (< 1.68 mm)	% Materia Orgánica	N-NH ₃ Fijado p.p.m.		N-NO ₃ ⁻	N-NH ₄ interc.	N-NO ₂ ⁻	Nitrógeno inorgánico
cm					%			
Zacán								
0 - 20	0.05	1.5	304.0	38.1	27.41	9.34	0.2	4.62
20 - 40	0.08	2.4	253.3	22.6	31.04	11.95	0.2	3.86
San Felipe								
0 - 20	0.16	4.1	272.7	14.0	30.86	13.26	0.1	2.27
20 - 40	0.16	4.4	296.6	15.0	26.79	15.65	0.1	2.15
Pomacuarán								
0 - 20	0.04	0.9	368.5	45.2	28.83	24.52	0.1	6.52
20 - 40	0.03	0.9	305.8	52.6	22.58	19.61	0.4	7.34
Quinceo								
0 - 20	0.07	2.7	261.6	26.1	13.75	15.72	0.1	2.96
20 - 40	0.06	2.4	257.9	27.6	17.69	20.52	0.2	4.13
Arantepacua								
0 - 20	0.12	2.9	313.2	20.24	150.76	19.04	0.1	10.62
20 - 40	0.11	2.9	283.7	20.00	27.51	12.09	0.1	2.80
Sevina								
0 - 20	0.34	10.1	298.5	8.10	44.98	29.18	0.2	2.01
20 - 40	0.36	10.4	261.6	6.70	17.99	24.70	0.1	1.10
San Juan Tumbío								
0 - 20	0.16	4.1	233.3	12.8	32.60	21.73	0.2	2.98
20 - 40	0.12	3.4	289.3	18.8	13.23	25.26	0.2	2.51
Lázaro Cárdenas								
0 - 20	0.15	3.8	313.2	17.10	25.79	18.95	0.2	2.44
20 - 40	0.12	3.8	282.8	18.70	20.40	13.60	0.4	2.28
San Gregorio								
0 - 20	0.52	15.4	324.3	5.90	34.53	28.04	0.2	1.13
20 - 40	0.42	13.0	283.7	6.20	30.26	24.86	0.2	1.22
Paso del Muerto								
0 - 20	0.63	13.7	331.6	4.90	66.69	28.43	0.1	1.42
20 - 40	0.60	15.2	285.6	4.70	40.59	19.25	0.3	0.99

cas hechas con las fracciones arena y limo grueso de estos suelos, pero este aspecto no se discute aquí.

El porcentaje de N total se asoció en alto grado con todas las formas de aluminio extractable, de alo-

fán_{deb} y el alofán_{o-p}. Esta es una asociación indirecta debido a que la M.O. y el N total, se encuentran íntimamente relacionados ($r = 0.98$) y en estos suelos es la primera la que se halla unida al alofán.

Cuadro 3. Índices de correlación entre la materia orgánica, nitrógeno total y la fracción inorgánica de N y las diversas formas de Al extractado y alofán, en suelos de la Meseta Tarasca, Michoacán, México.

Determinación química	Al inter. CH ₃ COONH ₄	Al _o	Alp	Al _{dcb}	Al _{dcbp}	Alofán _{dcb}	Alofán _{o-p}
	r						
M Orgánica	0.86*	0.91*	0.98*	0.96*	0.90*	0.98*	0.88*
N Total	0.80*	0.91*	0.96*	0.94*	0.89*	0.96*	0.88*
N-NO ₃	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
N-NH ₄ interc	0.52	0.62	0.60	0.55	0.62	0.61	0.58
N-NH ₄ fijado	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

El N-NH₄⁺ fijado en la primera profundidad (0 a 20 cm) varió de 233 a 369 ppm y en la segunda (20 a 40 cm) de 258 a 305 ppm. Las diferencias entre ambos estratos no fueron de mayor importancia. Los valores de N-NH₄⁺ fijado obtenidos en el presente experimento son mayores que aquellos encontrados por Velázquez (33) para los suelos de la misma zona, pero concuerda con los de Young y Aldag (35) para suelos colombianos de origen volcánico. El N-NH₄⁺ fijado fue relativamente constante en los distintos suelos, lo cual también significa que su variación con respecto al porcentaje de N total, al contenido de arcillas y a otras características que confieren el carácter ándico de los suelos —tales como el contenido de Al o el porcentaje de alofán— no fue significativa. Ello hace suponer que el método empleado no cuantificó adecuadamente la cantidad real del N-NH₄⁺ fijado en el suelo. La magnitud de esta fracción, así como la naturaleza de la fijación y los métodos analíticos para su determinación, merecen mayor atención.

La mayor contribución a la fracción inorgánica la hizo el N-NO₃⁻. Generalmente, la concentración de este ión fue mayor que la de N-NH₄⁺ intercambiable. Este comportamiento es normal y señala que la microflora funciona adecuadamente. Las concentraciones de N-NO₃⁻ en las profundidades 0 a 20 y 20 a 40 cm, variaron de 14 a 151 de 13 a 41 ppm, respectivamente. Las concentraciones de este ión se consideran como muy altas, comparadas con las observadas en otros suelos (22). El hecho que los resultados de esta prueba no se correlacionen con otros parámetros, tales como N total, sugiere la independencia de estos dos factores. El N inorgánico (N-NO₃⁻ + N-NH₄⁺) de los suelos del transecto estudiado alcanzó valores muy superiores a los esperados.

Las concentraciones máximas de N-NH₄⁺ se observaron en los sitios de Sevina, San Gregorio y Paso del Muerto que son los suelos con características ándicas más pronunciadas, con mayor proporción de alofán

y humedad residual, después de secados al aire. Las concentraciones de N-NH₄⁺ determinadas en estos suelos se consideran elevadas y no existe una explicación evidente para este hecho. En contraste con la concentración de N-NH₄⁺ y de N-NO₃⁻ soluble la de N-NO₂⁻ fue menor a 1 ppm en todos los suelos; dada su poca importancia no será discutida. Sin embargo, este valor señala que el proceso de la nitrificación es bastante activo, porque, de no ser así, se produciría una acumulación de este ión.

Las muestras de suelo empleadas para la determinación de N-inorgánico soluble e intercambiable (N-NH₄⁺, N-NO₂⁻ y N-NO₃⁻) fueron obtenidas durante la estación seca (invierno), cuando sus contenidos de humedad eran relativamente bajos. Con objeto de uniformar estos valores los suelos se secaron al aire. Debido al bajo contenido inicial de agua, se supuso que los cambios que ocurrieron debido al proceso de secado, fueron mínimos. En consecuencia, los valores de las diversas fracciones de N inorgánico deberían ser similares a las que se encontrarían en el suelo al final de la estación seca, aún cuando, Bernardi *et al.* (4) encontraron que la concentración de N inorgánico en suelos de Ando se incrementaba sustancialmente con el tiempo, después del muestreo. Ello podría deberse a que estos suelos retienen, aún después de secos al aire, porcentajes de humedad relativamente altos lo cual puede permitir la continuación de la mineralización de la M.O. y al hecho de que, al secarse un suelo, aumenta la fracción de N mineralizable. El porcentaje de N inorgánico con respecto al del N total (orgánico + inorgánico) varió para la primera profundidad de 1.1 a 10.6% y la segunda de 1.0 a 7.3%. Estos niveles deberían ser suficientes para abastecer las necesidades de las plantas, lo cual aparentemente no ocurre. Posiblemente, los métodos empleados no fueron lo suficientemente exactos para medir las concentraciones de estos iones o alternativamente el N inorgánico, inicialmente presente en el perfil, se pierde por medio de

algún mecanismo antes que la planta pueda aprovecharlo, lo cual debería ser motivo de otra investigación.

En el Cuadro 4 se presentan las concentraciones de N de las diversas fracciones orgánicas y en el Cuadro 5 la asociación de éstas con diversas formas de Al y alofán, respectivamente

Los porcentajes de N orgánico variaron desde 0.043 y 0.026% (primera y segunda profundidad) en el sitio de Pomacuarán, hasta 0.63 y 0.57 para idénticos estratos en Paso del Muerto. En general, el porcentaje de N orgánico en el primer estrato fue mayor o igual que en el segundo. Según Fassbender (14), la fracción orgánica de N varía comúnmente del 85 al 95% del N total, pero, en los suelos del presente trabajo, ella constituyó entre el 50 y el 94% de éste. La primera cifra ocurrió en Pomacuarán el cual demostró ser un sitio atípico desde el punto de vista de sus propiedades ándicas, en tanto que el otro extremo se presentó en el sitio Paso del Muerto, un Andisol típico. Los sitios que presentaron más del 90% del N total en forma orgánica (Sevina, Paso del Muerto y San Gregorio) también tuvieron los más altos porcentajes de alofán, lo que sugiere que este mineral impide de alguna manera la mineralización de la M.O. que contiene el N. En general, se puede decir que la proporción de N orgánico en los sitios más cercanos al volcán es menor que la observada en los otros suelos. Esto significaría que la fracción inorgánica en estos lugares es relativamente más abundante, particularmente el $N-NH_4^+$ fijado. Esta fracción requiere de mayor estudio en los suelos de ando con problemas de abastecimiento de N para las plantas

El porcentaje de nitrógeno total hidrolizable (NTH) representa la fracción de N que es susceptible de ser mineralizada, por lo que es importante conocer su magnitud. Esta fracción en los suelos estudiados varió de 0.012 a 0.155%. En seis de los 10 sitios, el porcentaje de NTH fue mayor en los suelos superficiales. Los valores más altos (0.124 a 0.155%) se encontraron en los sitios de Sevina, Paso del Muerto y San Gregorio. La fracción del NTH varió respecto del N total de 20 a 41% para la primera profundidad y 22 a 38% para la segunda. El porcentaje de NTH es el parámetro que se asoció más estrechamente con los porcentajes de M.O. con algunas formas de Al extractable y con el alofán_{dcb} y alofán_{o-p}.

El nitrógeno insoluble en ácido (NIA) se considera como una fracción no mineralizable de este elemento, por lo que difícilmente las plantas podrían disponer de ella. El porcentaje de NIA varió de 0.014 a 0.50% lo que representó entre un 23 y un 75% de N total. En los sitios Paso del Muerto, Sevina y San Gre-

gorio, es decir los que presentaron fuertes características ándicas se observaron las proporciones más altas de NIA (57 a 75%), lo cual concuerda con las observaciones hechas por Dalag (9, 10), quien señala que los porcentajes de NIA en suelos de origen volcánico son mayores que en los suelos de otro origen. Los porcentajes de NIA respecto del N total encontrados en este trabajo parecen inusualmente altos si se comparan con los encontrados por Stevenson (29), los cuales son del orden del 20 al 35%. El porcentaje de NIA se correlacionó estrechamente con el porcentaje de alofán_{dcb} ($r = 0.82$) y alofán_{o-p} ($r = 0.72$). Esta asociación probablemente está relacionada con la baja tasa de mineralización que se le atribuye a estos suelos (28) y requiere de mayores estudios

Los porcentajes de $N-NH_3$ variaron para la primera profundidad (0 a 20 cm) de 0.008 a 0.038% y para la segunda (20 a 40 cm) de 0.007 a 0.041%, observándose los más altos en San Gregorio, Paso del Muerto y Sevina. Los porcentajes de $N-NH_3$ con respecto al del N total, en la primera profundidad (0 a 20 cm) variaron de 5 a 15% y en la segunda (20 a 40 cm) de 6 al 12%. Aparentemente estos valores son bajos comparados con las estimaciones presentadas por Stevenson (29) que alcanzan del 20 al 30% para suelos superficiales. Según Dalag (9, 10), el $N-NH_3$ es más cuantioso en suelos derivados de origen volcánico que en aquéllos que no lo son. La concentración de $N-NH_3$ se correlacionó significativamente con el porcentaje de M.O., con el N total, con las fracciones de Al extractable y con el alofán_{o-p} y _{dcb}. El $N-NH_3$ puede ser mineralizado por los microorganismos y ello explicaría el por qué presentó valores bajos

El N-aminoácido también forma parte de la fracción hidrolizable y se encuentra en estos suelos en concentraciones del 0.002 al 0.043%, para la primera profundidad (0 a 20 cm), mientras que para la segunda (20 a 40 cm), los valores oscilaron desde 0.002 a 0.032%. Los porcentajes de N-aminoácidos con respecto al N total fueron del 3 al 10% para la primera profundidad (0-20 cm) y del 2 al 8% para la segunda (20-40 cm). Los porcentajes de N-aminoácidos se correlacionaron significativamente con los porcentajes de M.O., de N total, con las diversas fracciones de Al extractable y con el alofán_{dcb} y _{o-p}.

El N-aminoazúcares contribuye a la fracción hidrolizable, aunque en un pequeño porcentaje, debido tal vez, a que son ampliamente preferidas por la microflora. Los porcentajes de N-aminoazúcares presentes en la primera profundidad (0 a 20 cm) variaron de menos de 0.001% a 0.009% y en la segunda de menos del 0.001% a 0.004%. Los porcentajes de N-aminoazúcares respecto al de N total fueron desde menos de 1% al 6%. Estos valores no se asociaron significativa-

Cuadro 4. Fracciones orgánicas del nitrógeno en suelos derivados de cenizas volcánicas de la Sierra Tarasca, Michoacán, México.

Profundidad cm	N Total	N-Hidrolizable				N N D	NIA N insoluble	N orgánico cofracción del total
		NTH	N-NH ₃	N-aminácidos	N-aminoazúcares			
					%			
Zacan								
0 - 20	0.080	0.029 (36)	0.012 (15)	0.005 (7)	0.003 (6)	0.009 (11)	0.019 (24)	60
20 - 40	0.112	0.042 (38)	0.011 (10)	0.004 (4)	<0.001 (4)	0.026 (23)	0.040 (36)	73
San Felipe								
0 - 20	0.195	0.051 (26)	0.015 (8)	0.006 (3)	0.003 (2)	0.026 (13)	0.112 (57)	83
20 - 40	0.198	0.057 (29)	0.016 (8)	0.005 (2)	0.002 (<1)	0.035 (18)	0.106 (54)	83
Pomacuarán								
0 - 20	0.082	0.020 (24)	0.008 (10)	0.002 (3)	0.003 (4)	0.007 (8)	0.023 (28)	52
20 - 40	0.058	0.012 (24)	0.007 (12)	0.002 (3)	0.002 (4)	0.002 (3)	0.014 (23)	45
Quinceo								
0 - 20	0.100	0.041 (41)	0.013 (13)	0.010 (10)	<0.001 (<1)	0.019 (19)	0.029 (29)	71
20 - 40	0.093	0.036 (38)	0.012 (13)	0.007 (8)	0.003 (3)	0.014 (15)	0.028 (30)	68
Arantepecua								
0 - 20	0.160	0.042 (27)	0.014 (9)	0.005 (3)	<0.001 (<1)	0.023 (15)	0.078 (50)	77
20 - 40	0.142	0.037 (26)	0.012 (8)	0.004 (3)	<0.001 (<1)	0.021 (15)	0.072 (51)	77
Sevina								
0 - 20	0.369	0.125 (34)	0.022 (6)	0.009 (3)	0.009 (3)	0.084 (23)	0.212 (57)	91
20 - 40	0.390	0.124 (32)	0.030 (8)	0.017 (4)	0.004 (1)	0.073 (19)	0.230 (61)	93
San Juan Tumbio								
0 - 20	0.183	0.046 (25)	0.021 (11)	0.011 (6)	<0.001 (<1)	0.013 (7)	0.112 (61)	86
20 - 40	0.154	0.046 (30)	0.014 (9)	0.010 (7)	0.002 (1)	0.019 (13)	0.075 (49)	80
Lázaro Cárdenas								
0 - 20	0.184	0.050 (28)	0.015 (8)	0.007 (4)	<0.001 (<1)	0.028 (15)	0.043 (52)	79
20 - 40	0.151	0.095 (29)	0.013 (9)	0.007 (5)	<0.001 (<1)	0.023 (15)	0.075 (50)	78
San Gregorio								
0 - 20	0.554	0.155 (28)	0.038 (7)	0.043 (8)	0.005 (1)	0.068 (12)	0.361 (65)	93
20 - 40	0.454	0.134 (30)	0.029 (6)	0.032 (7)	<0.001 (<1)	0.072 (16)	0.286 (63)	93
Paso del Muerto								
0 - 20	0.670	0.131 (20)	0.035 (5)	0.002 (3)	0.003 (<1)	0.071 (10)	0.500 (75)	94
20 - 40	0.606	0.155 (26)	0.041 (7)	0.004 (8)	0.002 (<1)	0.067 (11)	0.417 (69)	94

1. Calculado a partir de la sumatoria de los porcentajes de N⁺H, NIA y nitrógeno inorgánico.

2. Los valores entre paréntesis son los porcentajes respecto de nitrógeno total.

3. Porcentajes de N-orgánico respecto de N-total, es igual a la sumatoria del N⁺H más NIA

Cuadro 5. Coeficientes de correlación entre las fracciones orgánicas de Al extractable y el alofán en suelos de la Sierra Tarasca, Michoacán, México.

Fracción Orgánica	Al							
	NTH	CH ₃ COONH ₄	Al _o	Al _p	Al _{dcb}	Al _{dcb-p}	Alofán _{dcb}	Alofán _{o-p}
	r							
NTH	—	0.854*	0.913*	0.972*	0.951*	0.886*	0.972*	0.883*
NIA	0.858*	0.673*	0.753*	0.855*	0.835*	0.783*	0.816*	0.719*
N-NH ₃	0.956*	0.829*	0.893*	0.947*	0.916*	0.847*	0.938*	0.855*
N-aminoazúcares	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
N-aminoácidos	0.876*	0.872*	0.810*	0.987*	0.882*	0.84 *	0.593*	0.789*
NND	0.934*	0.767*	0.876*	0.891*	0.899*	0.808*	0.912*	0.847*

NS = No significativo.

* = < 0.01

mente con ningún otro parámetro debido probablemente a que ellos fluctuaron en un rango muy estrecho.

Los porcentajes estimados del nitrógeno hidrolizable de naturaleza desconocida (NND) variaron para la primera profundidad (0 a 20 cm) de 0.007 a 0.084% y para la segunda (20 a 40 cm) de 0.002 a 0.073%. Los valores más altos se observaron en Sevina, Paso del Muerto y San Gregorio. Los porcentajes de NND con referencia a los de N total fueron, para la primera profundidad, de 7.3 a 22.9% y en la segunda de 2.9 a 23.2%. En algunos sitios los porcentajes fueron ligeramente mayores al 20%, lo cual coincide con las estimaciones sugeridas por Stevenson (29). El porcentaje de NND se correlacionó estrechamente con los porcentajes de M.O., N total, con las diversas fracciones de Al extractable y con el alofán_{dcb} y _{o-p}.

CONCLUSIONES

La mayoría de los suelos de un transecto de aproximadamente 80 km de longitud, ubicado en la Sierra Tarasca, Michoacán, México, presentó características ándicas y por lo tanto, puede ser considerado como Andisoles. La intensidad de las propiedades ándicas aumentó con la distancia al volcán.

El porcentaje de N total varió de 0.03 a 0.63%, exhibiendo diferencias entre la primera (0 a 20 cm) y la segunda (20 a 40 cm) profundidad. Siete de los 10 suelos presentaron porcentajes de N mayores de 0.11%. En general, los porcentajes de N fueron mayores en aquellos suelos con propiedades ándicas más intensas.

La fracción inorgánica (N-NO₃⁻, N-NO₂ y N-NH₄⁺ intercambiable), la cual representa el N inmediatamente disponible, se encontró en niveles considerados suficientes (11 a 16.4% del nitrógeno total) y debería abastecer las necesidades de N de las plantas.

El N-NH₄⁺ fijado representa una proporción importante del N total (5 a 53%) y se considera que debe ser estudiada en mayor detalle ya que constituye una forma de competencia para las plantas y los microorganismos.

La estrecha asociación que se observa entre los porcentajes de alofán y los de M.O., N total y sus fracciones, sugieren la existencia de complejos de gran estabilidad entre ellos y requieren de mayor atención.

La fracción orgánica mineralizable a largo plazo corresponde al nitrógeno total hidrolizable y varió de 20 a 41% con respecto al N total. Los porcentajes más altos se presentaron en los sitios con características ándicas más intensas.

El N orgánico constituyó del 50 al 94% del N total. Los sitios con mayor contenido de alofán presentaron más del 90% de su N total en forma orgánica.

El N insoluble en ácido es la fracción más cuantiosa y no mineralizable; varió del 23 al 75% respecto del N total. Los valores altos se presentaron en los sitios con características ándicas más intensas. Este parámetro se asoció estrechamente con los porcentajes de alofán y esto se relacionaría con la baja tasa de mineralización que exhibirían estos suelos.

LITERATURA CITADA

1. AGUILERA H., N. 1961. Suelos de Ando: Génesis, Morfología y Clasificación ENA/CP. Chapingo, México (Serie de Investigación no 6).
2. AGUILERA H., N. 1969. Distribución geográfica y características de los suelos derivados de cenizas volcánicas de México. In Primer Panel sobre Suelos Derivados de Cenizas Volcánicas de América Latina. Turrialba, Costa Rica.
3. AOMINE, S.; JACKSON, M.L. 1959. Allophanic determination in Ando soil by cation exchange capacity delta value. Soil Science Society Proceeding 14:210-214.
4. BERNARDI, C.; SAN MARTIN, E.; MELENDEZ, E.; AOMINE, S. 1973. Nitrogen and organic matter of volcanic ash soils of Santa Barbara association in Chile. Soil Science Plant Nutrition 19:139-146.
5. BLAKEMORE, L.C.; SEARLE, P.L.; DALY, B.K. 1977. Soil Bureau Laboratory Methods: A method for chemical analysis of soils. New Zealand Soil Bureau Sci. Rep.
6. BREMNER, J.M. 1965. Inorganic forms of nitrogen. In Methods of soil analysis. Ed by C.A. Black *et al* Part 2 Agronomy 9:1179-1237.
7. BREMNER, J.M. 1967. Nitrogenous compounds. In Soil biochemistry. Ed by A.D. McLean; G.H. Peterson New York. Marcel Dekker.
8. CERVANTES R., G. 1965. Génesis y clasificación de algunos suelos en la Meseta Tarasca, Edo de Michoacán, Chapingo, México. Colegio de Postgraduados (Tesis de Maestría).
9. DALAY, R.C. 1978a. Distribution of organic nitrogen in organic volcanic and nonvolcanic tropical soils. Soil Science 125:178-180.
10. DALAY, R.C. 1978b. The nature and distribution of soil nitrogen in tropical soils. Tropical Agriculture 55:369-376.
11. ETCHEVERS, B.; J.D.; CRUZ H., L.; HIDALGO M., C. 1985a. Criterios analíticos para la clasificación del nuevo orden Andisoles. In Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo (18., La Paz, Baja California). Resúmenes. La Paz, Baja California.
12. ETCHEVERS, B.; J.D.; HIDALGO M., C. 1985b. Determinación de la densidad aparente en suelos de ando. In Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo (18., La Paz, Baja California). Resúmenes. La Paz, Baja California.
13. ETCHEVERS B.; J.D.; IRINIDAD S., A.; GUERRERO N., S.; PEREZ G., A.; GARCIA L.D.; MORFIN R., G. 1985c. Levantamiento nutricional del maíz en suelos de la Sierra Tarasca de Michoacán. Agrociencia 60:143-154.
14. FASSBENDER, W.H. 1984. Química de suelos. San José, Costa Rica, IICA.
15. FIELDS, M.; PERROIS K., W. 1966. The nature of allophane in soils. III. Rapid test for laboratory and field for allophane. New Zealand Jour. Sci. 9:623-629.
16. KUBOTA, T. 1972. Formation of aggregate of allophanic soils. Effect of drying on the dispersion of the soils. Soil Science and Plant Nutrition 18:79-87.
17. LEAMY, M.L. 1984. ICOMAND. New Zealand. Soil Bureau, DSIR, Lower Hut. Circular letter no. 6.
18. LEAMY, M.L. 1984. ICOMAND. New Zealand, Soil Bureau, DSIR, Lower Hut. Circular letter no. 7.
19. McLEAN, E.O. 1982. Soil pH and lime requirement. In Methods of soil analysis and microbiological properties. Ed by A.L. Page. Madison, Wisconsin USA p. 1988-2224.
20. MIKAMI, D.I.; KANEHIRO, Y. 1968. Native fixed ammonium in Hawaiian soils. Soil Science Society of America Proceedings 32:481-485.
21. MONCADA DE LA F., J. 1960. Estudio fisicoquímico de algunos suelos de origen volcánico del Edo. de Michoacán, México. Tesis de Maestría. Chapingo, México. Colegio de Postgraduados.
22. ORTEGA T., E. 1981. Química de suelos. Chapingo, México UACH.
23. RUSSELL, M.; PARFITT, R.; CLARIDGE, G.G. 1981. Estimation of the amounts of allophane and other materials in the clay fraction of an Egmont Loam protile and other volcanic ash soils. Australian Journal of Soil Research 19:185-195.
24. SAS INSTITUTE. 1982. SAS user's guide. Raleigh N.C.
25. SILVA J.A.; BREMNER, J.M. 1966. Determination and isotope - ratio analysis of different forms nitrogen in soils. 5. Fixed ammonium. Soil Science Society of America Proceedings 30:587-594.
26. SMITH, S.J.; YOUNG, L.B. 1975. Distribution of nitrogen forms in virgin and cultivated soils. Soil Science 120:354-360.
27. SOIL CONSERVATION Service. 1973. USDA. Investigación de suelos. Trad. al español por A. Contin. Editorial Trillas, México, D.F.
28. SOWDEN, F.J.; GRIFFITH, M.; SCHNITZER, M. 1976. The distribution of nitrogen in some highly organic volcanic soils. Soil Biology and Biochemistry 8:55-60.
29. STEVENSON, F.J. 1982. Organic forms of soil nitrogen. In Nitrogen in agricultural soil. Ed. by F. Stevenson. Madison Wisconsin USA p. 67-122.
30. WADA, K.; GUNJIGAKE, N. 1979. Active aluminum and iron and phosphate adsorption in Ando soils. Soil Science 128:331-336.

31. WADA, K.; HIGASHI, T. 1976. The categories of aluminum and iron humus complexes in Ando soils determined by selective dissolution. *Journal Soil of Science* 27:357-368.
32. WADA, K.; KAKUTO, Y. 1985. A spot test with toluidine blue for allophane and imogolite. *Soil Science Society of America Journal* 49:276-278.
33. VELAZQUEZ H., A. 1971. Determinación de NH_4^+ no intercambiable y la capacidad de fijación de NH_4^+ en distintos suelos de México. Tesis de Maestría. Chapingo, México. Colegio de Postgraduados.
34. WALLACE, R.C.; STEWART, R.B.; NEALL, V.E. 1985. Volcanic glass field laboratory test. Massey University. Department of Soil Science. Occasional Report no. 7)
35. YOUNG, J.L.; ALDAG, R.W. 1982. Inorganic forms of nitrogen in soil. In *Nitrogen in agricultural soil*. Ed. by F.J., Stevenson. Madison, Wisconsin, USA. p. 43-66.

Notas y Comentarios

Premio Nobel de Química de 1987

El Premio Nobel de Química de 1987 fue concedido a dos estadounidenses, Charles Pedersen y Donald Cram, y a un francés, Jean-Marie Lehn. El galardón honra sus contribuciones al estudio del reconocimiento molecular, conocido como la química "hospedante - huésped" ("host-guest").

Los químicos comprenden ahora, por ejemplo, cómo una molécula grande, tal como una proteína, puede reconocer y reaccionar selectivamente con otra. El reconocimiento molecular ha permitido a los biólogos comprender cómo los antígenos conocen a sus anticuerpos. Usando los mismos principios, los químicos están diseñando nuevos sensores químicos para detectar metales específicos y sustancias letales en el ambiente.

En medicina, el reconocimiento molecular está conduciendo a nuevos sistemas de aplicar drogas a órganos y tejidos específicos. Y los químicos pueden producir pequeñas moléculas que realizan las mismas reacciones altamente selectivas que las enzimas. El futuro puede ser aún más excitante.

El concepto del reconocimiento molecular se remonta en el tiempo a un descubrimiento casual hecho por Charles Pedersen, hace 25 años. Pedersen, quien tiene ahora 84 años y está retirado, nació en Corea, de padres noruegos. Mientras trabajaba como investigador químico para Du Pont, en Wilmington, Delaware, hizo un descubrimiento por pura casualidad. En una de sus reacciones, usó algún material inicial que estaba contaminado. Como resultado, obtuvo una pequeña cantidad de un subproducto conjuntamente con el principal compuesto que estaba elaborando.

Siendo un químico cuidadoso, no arrojó el subproducto por el desague, sino que decidió examinarlo

Encontró que el compuesto tenía una estructura no usual . . . un anillo de 12 carbonos y seis oxígenos, con dos átomos de carbón entre cada oxígeno. Cuando Pedersen se dispuso a estudiar sus propiedades, había una sorpresa esperándolo.

La soda caústica no se disuelve en disolventes orgánicos, tales como el éter o la bencina. Sin embargo, cuando Pedersen agregó su nuevo subproducto al disolvente orgánico, la soda caústica desapareció gradualmente en la solución. En consecuencia, ¿qué estaba haciendo el nuevo compuesto de Pedersen?

El compuesto de Pedersen se disuelve en disolventes orgánicos y tiene además seis átomos de oxígeno que rodean a un ion de sodio en la misma forma débil como seis moléculas de agua. El poliéter toma entonces una forma de corona. Por esta razón, Pedersen llamó a su subproducto un "éter corona". El nombre químico es 18-corona-6, o 18C6, debido a que tiene 18 átomos en su anillo, seis de los cuales son de oxígeno. La Du Pont retuvo los resultados de Pedersen por cuatro años mientras la compañía obtenía las patentes necesarias. En 1962, la Du Pont permitió a Pedersen publicar los resultados.

Una de las primeras tareas para los éteres corona fue la de persuadir a los iones metálicos, como el sodio y el potasio, a entrar en solución en disolventes orgánicos partiendo de soluciones acuosas. Ciertas reacciones químicas dependen de estos iones metálicos para funcionar. Algunas de estas reacciones ocurren solamente en un disolvente orgánico y el transferir los iones metálicos de una fase acuosa a una fase orgánica puede ser un problema. Los éteres corona resolvieron aquel problema de ayudar a los iones metálicos a cambiar de fase.

Los químicos pueden ahora armar éteres corona a la medida, a partir de varios tamaños de iones metáli-