

ORIGEN Y GENESIS DEL TALPETATE

Horizonte Endurecido de Suelos Volcánicos de la Región Centro-Pacífico de Nicaragua

Origin and Genesis of the Talpetate

Indurated Horizon of Volcanic Soils of the Central-Pacific Region of Nicaragua

Christian Prat¹ y Paul Quantin²

¹ ORSTOM, IRENA, Managua, Nicaragua.

² ORSTOM, Bondy, Francia.

Palabras clave: Nicaragua, Masaya, Talpetate, Suelos volcánicos endurecidos, Duripán, Fragipán, Andosol, Brunisol, Mineralogía, Micromorfología, Caracterización, Génesis.

Index words: Nicaragua, Masaya, Talpetate, Indurated volcanic soils, Duripan, Fragipan, Andosol, Brunisol, Mineralogy, Micromorphology, Characterization, Genesis.

Mots clefs: Nicaragua, Masaya, Talpetate, Sols volcaniques indurés, Duripan, Fragipan, Andosol, Sols bruns, Mineralogie, Micromorphologie, Caractérisation, Genèse.

RESUMEN

Algunos suelos de Nicaragua poseen un horizonte llamado *talpetate*, cuyo nombre vernáculo, del mismo origen náhuatl que el término mexicano *tepetate*, indica que se trata de un horizonte endurecido.

En la región Centro-Pacífico de Nicaragua, se estudió un *talpetate* mediante observaciones morfológicas de perfiles de suelos a lo largo de toposecuencias laterales y transversales de pequeñas cuencas, observaciones microscópicas de láminas delgadas, y análisis mineralógicos, físicos y químicos.

El *talpetate* estudiado se define esquemáticamente como un horizonte endurecido, pardo oliváceo claro (10YR5/6) en seco y pardo oscuro (10YR3/2) en húmedo; limoso fino; de estructura masiva, atravesada por numerosos tubos biológicos, grietas y raíces. El *talpetate* presenta una superposición de capa masiva y de capa con nódulos acorazados de acreción, y ocasionalmente se observa la presencia de huellas de hojas en su parte basal. Este horizonte de unos centímetros hasta más de un metro de espesor, se localiza cerca de la superficie. En ciertos casos, se encuentra a tres metros de profundidad. Su densidad aparente es inferior a 1 g/cm³.

El *talpetate* está constituido por cenizas de andesita basáltica de labradorita y pigeonita de la serie toleítica. La mayor parte de los vidrios volcánicos fueron "palagonitizados" al momento, o poco después del depósito, formando así esmectitas férricas. Sin embargo, a esta alteración primaria se sobrepone otra posterior meteórica, que conduce, bajo un clima tropical con estación seca bien marcada, a la formación de haloisita. En un clima más húmedo, donde un andisol cubre al *talpetate*, se observa formación de gibsitanes, manganes y alófana. La porosidad de este material es elevada ($\leq 65\%$ del peso seco) y

está constituida principalmente por vacíos formados por empacamiento de los microlitos.

Los resultados de este estudio muestran que el *talpetate* es una toba volcánica que se distribuye sobre 2,500 km² a lo largo de un eje este-oeste, principalmente al oeste de la caldera de Masaya, fuente de este material. La toba proviene de una o de varias olas de flujo piroclástico, devastadoras o batientes (*surge* en inglés) emitidas al momento de la explosión hidro-magmática que formó la caldera actual de Masaya, hace aproximadamente 2,000 años, como lo indica nuestro hallazgo arqueológico. Su origen freato-magmático se explica por la presencia de nódulos acorazados de cineritas acrecionadas; la sobreposición de capas masivas alternadas con capas con nódulos y por su distribución en los suelos y según la geomorfología.

Por eso, se propone, sustituir el término ambiguo de *talpetate* o los de "toba de Masaya" o "toba del Retiro" por el de "toba palagonitizada de Masaya", para designar el material volcánico endurecido de los suelos de la región Centro-Pacífico de Nicaragua.

SUMMARY

Some Nicaraguan soils present an indurated horizon, named "*talpetate*", with vernacular name, from the same nahuatl origin than mexican "*tepetates*", means indurated soil.

In the Central-Pacific area of Nicaragua, we studied a *talpetate* through field morphological observations of soils profiles, along lateral and transverse toposequences, and in small watersheds, as well as microscopicals on thin sections and mineralogical, physical and chemical analyses.

The *talpetate* that we studied, is schematically defined as an indurated horizon, bright oliveaceous brown (10YR5/6) in the dry state and dark brown (10YR3/2) in the wet state; fine loamy; massive structure; pierced by numerous biologi-

cal tubes, cracks and roots. It presents a superposition of massive layer on accreted armored nodules; sometimes, there are leafprints at the base of the *talpetate* layer. This horizon of ones centimeters to more than one meter depth, is localized near the surface, but it can some time reach until three meters deep. Its bulk density is less than 1 g/cc;

The *talpetate* is composed of basaltic andesite ash of labrador and pigeonite type and of the tholeiitic series. Most of the basaltic glasses were "palagonitized" when the tuff has been deposited or little afterwards, thus leading to the formation of feriferous smectites. However, a secondary and meteoric alteration was superimposed on this primary alteration which formed halloysite under a tropical climate, characterized by a well pronounced dry season. Under a more humid climate, we can observe mainly the formation of gibbsitans, mangans and allophane, related to the presence of Andisols over the *talpetate*. The porosity is very high ($\leq 65\%$ of the dry weight) and proceeds mainly the voids formed by packing of microlites.

The results of this study show that the *talpetate* is a volcanic toba, spread over 2 500 km² from the east-west direction from the west side of the Masaya caldera. This tuff proceeded from one or several surges, produced during the phreatomagmatic explosion, which led to the formation of the present caldera of Masaya, some 2 000 years ago, as our archaeological discovery proves it. Its phreatomagmatic origin accounts from the presence of "armoured" nodules of ash accretion. The superposition of "massive" and of "armoured nodules" layers follows the slopes of the present relief, but the *talpetate* disappears at the bottom of the talweg, where it has been probably eroded.

For all this facts, we suggest to leave the ambiguous term of *talpetate* or "Masaya tuff" or "El Retiro tuff", in favour of "palagonitized tuff of Masaya", to rename this indurated horizon in the soils of the Central-Pacific area of Nicaragua.

RESUME

Certains sols du Nicaragua possèdent un horizon appelé "talpetate" dont le nom vernaculaire de même origine nathuatl que le terme mexicain "tepetate", indique qu'il s'agit d'un horizon induré.

Nous avons étudié un "talpetate" de la région Centre-Pacifique du Nicaragua, à partir d'observations morphologiques de profils de sols le long de toposéquences latérales, transverses et dans de petits bassins versants, ainsi que microscopiques à partir de lames minces et d'analyses minéralogiques et physico-chimiques.

Le *talpetate* que nous avons étudié peut-être caractérisé schématiquement comme un horizon induré; brun olivâtre clair (10YR5/6) à l'état sec et brun foncé (10YR3/2) à l'état humide; limon fin; structure massive; traversé par de très nombreux tubes biologiques, des fentes et des racines. Le *talpetate* présente une superposition de couches massives et à nodules accréionnés "cuirassés". On note occasionnellement des empreintes de feuilles dans sa partie basale. Son épaisseur varie de quelques centimètres à plus d'un mètre. Localisé près de la surface, cet horizon induré peut également se rencontrer dans certaines conditions jusqu'à trois mètres de profondeur. Sa densité apparente est inférieure à 1 g/cc.

Le *talpetate* est constitué de cendres d'andésite basaltique "à labrador et à pigeonite", de la série tholéiitique. La plupart des verres basaltiques ont été "palagonitisés" lors du dépôt du tuf, ou peu après, formant ainsi des smectites ferrières. Toutefois, à cette altération primaire s'est superposée une altération secondaire, météorique, qui a conduit à la formation d'halloysite sous climat tropical à saison sèche bien marquée. Sous climat plus humide, on observe la formation notamment de gibbsitane, de manganèse et d'allophane, liée à la présence d'andisols recouvrant le *talpetate*. La porosité est très élevée ($\leq 65\%$ du poids sec) et est constituée principalement par les vides formés par l'empilement des microlites.

Les résultats de cette étude montrent que la distribution du *talpetate* couvre une surface d'environ 2,500 km². Elle est orientée selon un axe est-ouest à partir de l'ouest de la caldeira de Masaya. Le *talpetate* est issu d'une ou de plusieurs "déferlantes" ("surge" en anglais) émises au moment de l'explosion phréato-magmatique ayant entraîné la formation de l'actuelle caldeira de Masaya, il y a environ 2 000 ans, comme l'indique notre découverte archéologique. Son origine phréato magmatique explique la présence de nodules "cuirassés" de cinérite accréionnée, la superposition de couches "massives" et "à nodules cuirassés", sa distribution dans les sols et selon la géomorphologie.

C'est pourquoi nous proposons d'abandonner le terme ambigu de *talpetate*, ou de "tuf de Masaya" ou "tuf d'El Retiro", au profit de celui de "tuf palagonitisé de Masaya", pour désigner dans la région Centre-Pacifique du Nicaragua, ce matériau volcanique induré.

INTRODUCCION

En ciertos suelos volcánicos de Nicaragua, México y otros países de América Central, se encuentra un horizonte endurecido de origen controvertido, llamado "*talpetate*", que dificulta las labores agrícolas.

La palabra *talpetate* deriva de *tepetate*, vocablo Náhuatl (*teatl* = piedra, y *petatl* = cama, colchoneta) que significa "cama de piedra" (Sahagún, 1956; Simeon, 1977; Incer, 1985). Aun cuando la etimología indica que este horizonte es endurecido, no da mayor información acerca de lo que lo endurece. En Nicaragua, como en los otros países de Mesoamérica (Dubroëucq *et al.*, 1989), existe cierta confusión en torno a este término, ya que se llama *talpetate*, tanto a horizontes que presentan acumulación de carbonatos, como a tobas volcánicas.

Según los geólogos, el *talpetate* de los edafólogos podría ser el equivalente a una toba formada por depósitos volcánicos aéreos (Bice,

1980), llamada por algunos "toba de Masaya", mientras que para otros, se trataría de la "toba del Retiro", que es una colada piroclástica que proviene de una explosión freato-magmática (Williams, 1983). En ambos casos, se señala a la caldera de Masaya como la fuente de emisión de este material.

Hasta ahora, los edafólogos consideran al *talpetate* como un depósito aéreo de cenizas volcánicas finas, posteriormente cementadas por lixiviación y acumulación de arcilla, sílice y óxidos de hierro y aluminio, como ocurre en un horizonte B en el caso de un suelo estudiado y descrito por Marín *et al.*, (1971) y por Rodríguez (1985, Comunicación personal).

Esclarecer el origen y la génesis del *talpetate* es el objetivo de este trabajo.

Esquemáticamente se define a este material, que se encuentra en los suelos de origen volcánico de la región Centro-Pacífico de Nicaragua, como un horizonte: endurecido, pardo oliváceo claro (10YR5/6) en el estado seco y pardo oscuro (10YR3/2) en el estado húmedo, limoso fino, de estructura masiva, atravesado por numerosos tubos biológicos y grietas rellenas de tierra fina y de raíces en buen estado sanitario, cuya espesor varía entre unos centímetros y un metro, generalmente localizado cerca de la superficie, pero que puede encontrarse en ciertas condiciones hasta 3 metros de profundidad, de densidad aparente inferior a 1 g/cm³, y que presenta una superposición de capa masiva y de capa con nódulos acorazados, y en los cuales ocasionalmente se observa la presencia de huellas de hojas en su parte basal (Fig. 6 y 7).

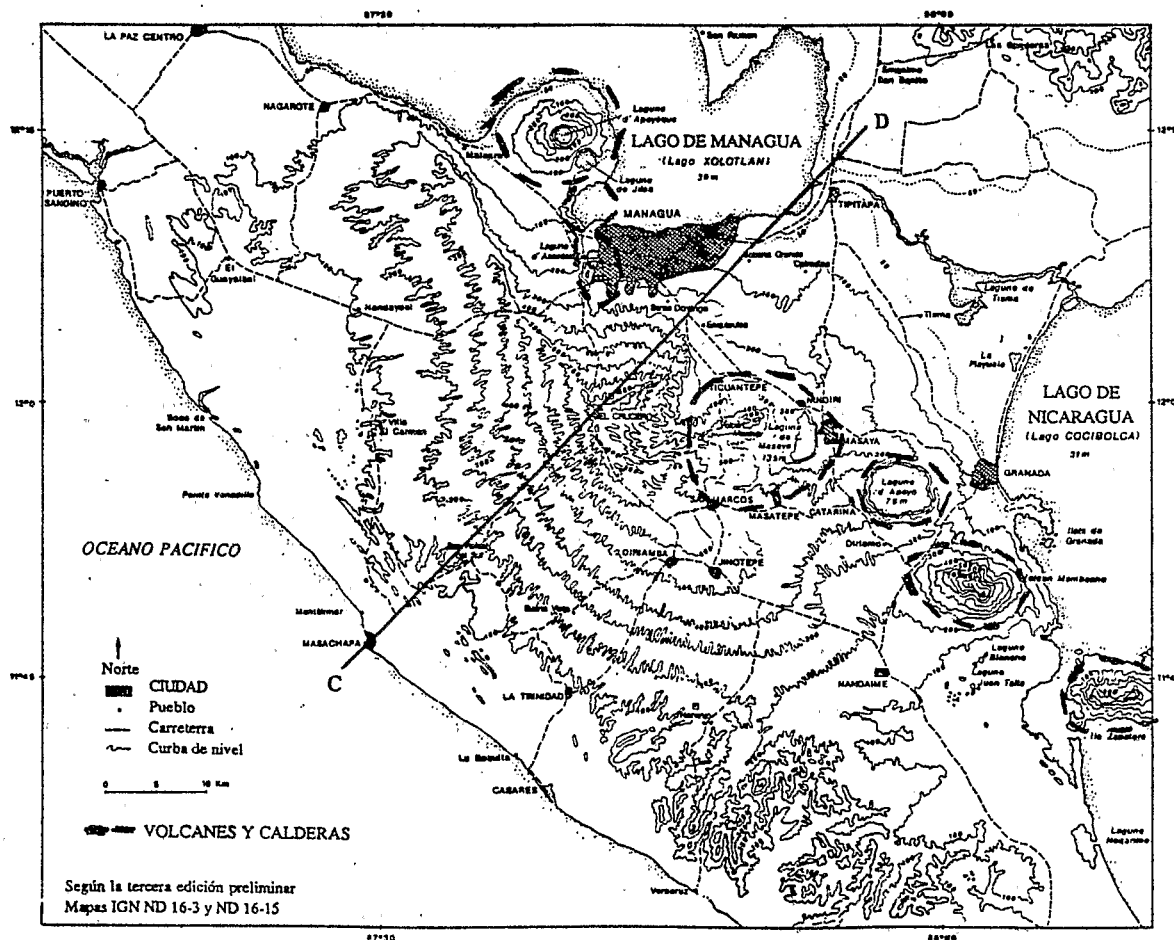


Figura 1. Geografía física de la región Centro-Pacífico de Nicaragua.

MATERIALES Y METODOS

1. Zona de Estudio

La zona de estudio, que cubre alrededor de 5,000 km², está delimitada por el océano Pacífico al oeste, las riberas del lago de Managua al norte y el lago de Nicaragua al sureste (Fig. 1).

Esta región pertenece al dominio meridional (América Central Istmica) de la placa de los Caribes y donde la placa de Coco pasa por debajo de la de los Caribes. Debido a esta tectónica, la geología del área se divide en tres grupos:

1. rocas sedimentarias del Terciario, localizadas paralelamente en la costa pacífica;

2. productos volcánicos que pertenecen a la serie calco-alcalina (productos típicos de un volcanismo de subducción), tales como andesita, andesita a olivina, latita, dacita y hasta riolacita;

3. materiales aluvio-coluviales, que ocupan el fondo de los valles, depresiones y cárcavas.

Las variaciones del clima a lo largo de la toposecuencia longitudinal que va del lago de Managua hacia el Pacífico, son progresivas, pero marcadas en cada una de sus extremidades. Se pasa de una pluviometría anual de menos de 1,000 mm repartida en 6 meses, en las planicies del graben (tropical a subtropical seco), a alrededor de 1,800 mm que caen durante 9 a 10 meses en la parte alta del relieve (tropical húmedo).

En general, la distribución de los suelos es la siguiente (Referencial pedológico francés, AFES 1990): Vertisoles y Alfisoles a la orilla de los lagos, Brunisoles con carácter ándico en la planicie y al piedemonte, Andisoles desaturados sobre la meseta, y Fluvisoles en los fondos de los talwegs.

A pesar de que en el mapa de suelos de Nicaragua, levantado con la metodología de FAO (1976), no aparece el *talpetate* como tal, si se encuentra en el levantamiento de suelos de la región Pacífico de Nicaragua, realizado entre 1968 y 1971 (CATASTRO, 1971, 1978). Este

horizonte está mapeado como Durandeps, o como Argiustolls, Durustolls o Haplustolls. El *talpetate* cubriría, según los edafólogos, una superficie de 2,500 km² (CATASTRO, 1971, 1978; Marín *et al.*, 1971); en tanto que para los geólogos (Mc Birney *et al.*, 1956, 1965; Zoppis *et al.*, 1958, Zoppis, 1968; Bice, 1980; Walker, 1982; Sussman, 1982; Williams, 1983), esta superficie correspondería a sólo 1,800 km².

El bosque natural ha sido sometido a la acción del hombre desde hace miles de años, y ha desaparecido casi completamente abajo de los 500 m. Arriba de este nivel ha sido reemplazado por plantaciones de café bajo sombreado por los restos del bosque primitivo.

La Figura 2 y el Cuadro 1 sintetizan las características del medio ambiente y humano del área de estudio.

2. Métodos de Estudios

Se analizaron varios perfiles a lo largo de toposecuencias longitudinales y laterales, y a nivel de pequeñas micro-cuencas experimentales. Se compararon, en particular, dos *talpetates* ubicados, el primero, bajo un Brunisol con carácter ándico en el pie de monte, donde el clima es tropical seco con 6 meses sin lluvias y, el segundo, bajo un andisol desaturado, a 900 m de altitud, donde el clima tropical húmedo mantiene el suelo constantemente húmedo, a pesar de tener 3 meses sin precipitaciones.

Se estudiaron las características físicas y químicas y la composición petrográfica y mineralógica del *talpetate*. Se realizaron observaciones al microscopio electrónico de transmisión (MET) y de barrido (MEB) y micro-análisis con una micro-sonda de Castaing.

La comparación de los resultados nos permitió concluir, de manera definitiva, sobre el origen y la génesis del *talpetate* de la región Centro-Pacífico de Nicaragua.

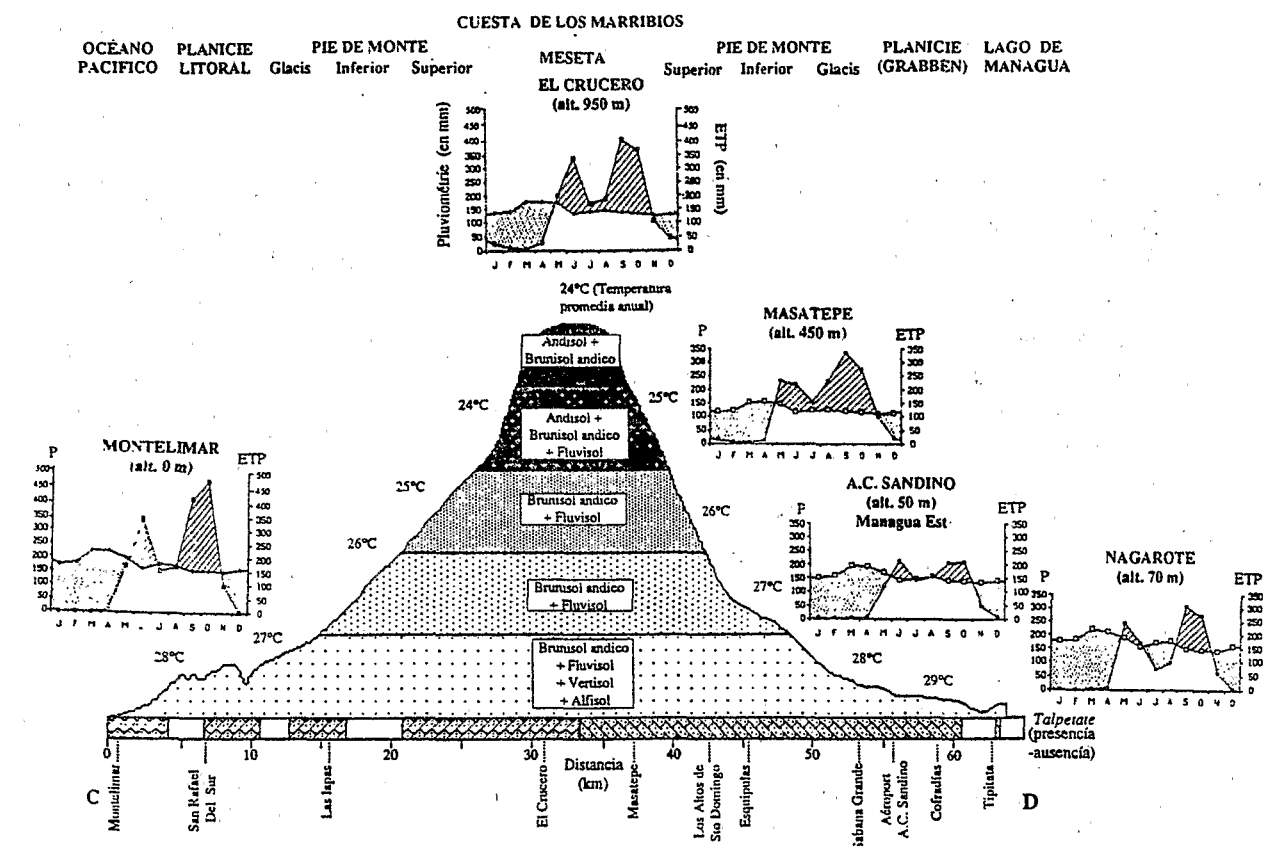


Figura 2. Toposecuencia esquemática Este-Oeste del medio natural e humano de la región Centro-Pacífico de Nicaragua.

Cuadro 1. Cuadro sintético de los parámetros del medio natural e humano de la región Centro-Pacífico de Nicaragua.

Lugar	Altitud msnm	Geomorfología	Pen- diente %	Geología	Clima Pluv. Temp anual anual mm °C	Zona de vida (Holdridge)	Suelos	Propiedad	Cultivos	Prácticas culturales
Tipitapa, Nagarote, Mateare, Montelimar	0-50	Planicie de hundimiento (Graben) Planicie costera	0 - 5	Depósitos volcánicos (IV) y aluviales (III)	1000 29 1600 28	Sub- tropical seco Sub- tropical humedo	Bosque seco sub-tropical	Vertisols, Alfisols, Fluvisols, Brunisols y pequeñas, UPE andicos	Cooperativa, Pro- piedades grandes maíz, caña, sorgo, arroz	Muy mecanizado, riego
Granada, Cofradías, Managua, Masaya, Sabana Grande San Rafael del Sur La Trinidad	50-250	Glacis de piedemonte Zona interior Glacis de piedemonte Costa Pacífica	2 - 15	Depósitos volcánicos (IV) y aluviales (III)	1200 27 1400 27	Tropical seco Sub- Tropical humedo	Bosque seco tropical Bosque humedo sub-tropical	Fluvisols, Cooperativa, Pro- piedades grandes andicos y pequeñas, UPE	Granos básicos Hortalizas, animal, manual	Mecanizado, tracción Exportación
Managua, S. Judas, Los A. de S Domingo	250-450	Bajo de Piedemonte Zona interior Bajo de Piedemonte Costa Pacífica	5 - 30	Depósitos volcánicos (IV) y aluviales (III)	1300 27	Sub- Tropical humedo	Bosque seco tropical Bosque humedo sub-tropical	Fluvisols Cooperativa, Pro- piedades grandes andicos y pequeñas, UPE	Granos básicos Hortalizas, animal, manual	Tracción Exportación
Santa Rita	450-800	Alto de Piedemonte, Zona interior Alto de Piedemonte, Costa Pacífica	15 - 70	Depósitos volcánicos (IV) y sedimentarios (III)	1500 24	Tropical humedo	Bosque humedo sub-tropical Bosque tropical humedo pre- montañoso	Fluvisols Cooperativas, UPE, Grandes propiedades andicos	Granos básicos, Café	Tracción animal, manual
Volcán Mombacho	> 800	Montaña	> 50	Depósitos volcánicos (IV)	>1600 22	Tropical humedo	Bosque tropical muy humedo montañoso	Brunisols andicos, Andisols	Cooperativas, UPE, Grandes propiedades	Café Manual
Masatepe, Diriamba, Jinotepe, S. Marcos, El Crucero	400-700 > 900	Meseta	3 - 10	Depósitos volcánicos (IV)	1700 24	Tropical humedo	Bosque tropical humedo pre- montañoso	Brunisols andicos, Andisols	Cooperativas, UPE, Grandes propiedades	Mecanizado, tracción animal, manual

RESULTADOS

1. Distribución del Talpetate

El *talpetate* se presenta como una serie de capas sobrepuestas de espesor variable, en donde se alternan las masivas con las que contienen nódulos acorazados. El límite entre ellas es muy brusco, así como el límite entre el *talpetate* y el horizonte inferior es, en general, de tipo lítico (a menudo mal definido). Pero el límite del *talpetate* con el horizonte superior es más difícil de precisar, debido a que el hombre al destruir el *talpetate* durante el arrado, lo mezcla con la tierra.

En general, ya sea a nivel de un perfil o de una toposequencia, lateral (Fig. 3, 6) o longitudinal, el *talpetate* se localiza cerca de la superficie, bajo de un horizonte Ap. Sin embargo, se presentan dos excepciones. En el primer caso, el *talpetate* no aparece en las rupturas de pendien-

tes de las vertientes y tampoco en el fondo de los talwegs principales o en algunas micro-depresiones. En el segundo caso, el *talpetate* aparece pero debajo de varios metros de suelos de origen aluvio-columbial, reciente y actual, como lo confirman tiestos de barro y piezas de obsidianas cuya edad (D. Rigat y R. González. 1990. Dpto de Arqueo-logía Nacional de Nicaragua. Comunicación personal.) va aproximadamente de 1,100 hasta 500 años B.P. (Before Present).

El *talpetate* se localiza siempre sobre una serie de depósitos piroclásticos y de suelos desarrollados a partir de los mismos, los cuales han sido descritos por varios geólogos (Mc Birney *et al.*, 1956, 1965; Zoppis *et al.*, 1958, Zoppis, 1968; Bice, 1980; Walker, 1982; Sussman, 1982; Williams, 1983). La comparación de la estratigrafía geológica y edáfica mostró que el *talpetate* corresponde a la "toba del Retiro", llamada también "toba de Masaya" (Fig. 4).

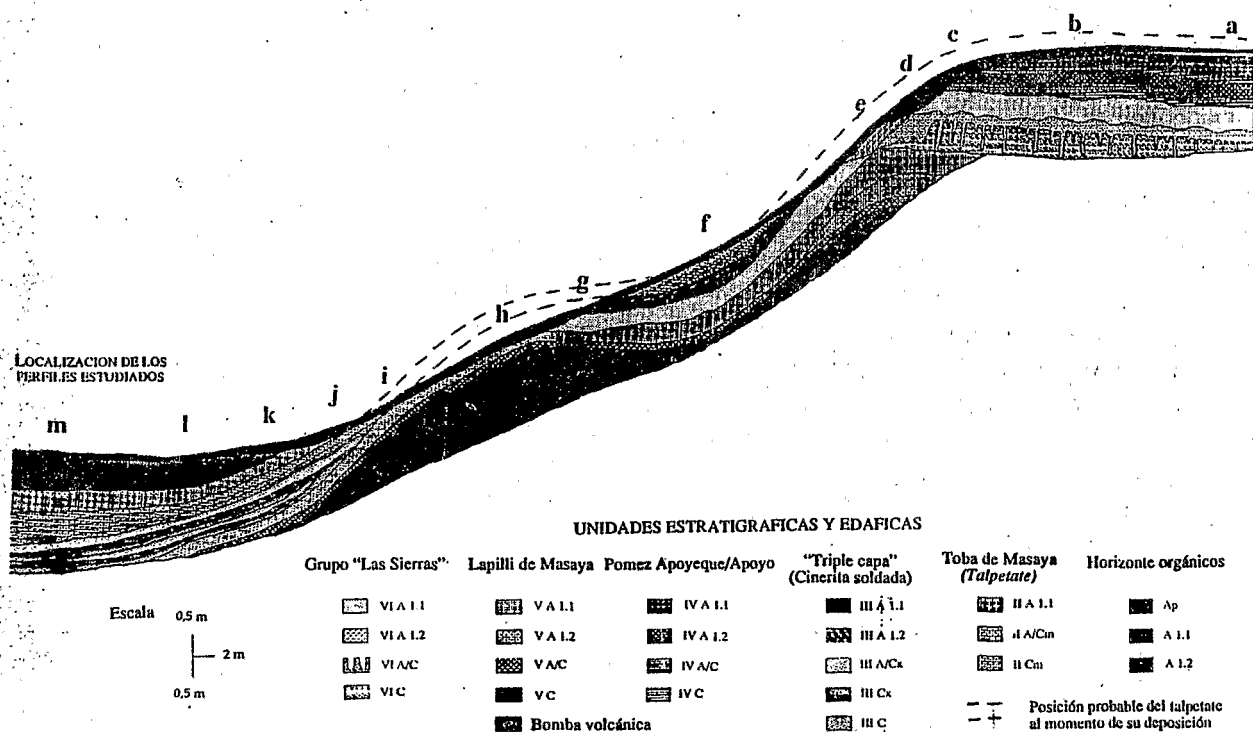


Figura 3. Toposequencia de San Judas actual y al momento del depósito del talpetate (reconstrucción) (Prat, 1991).

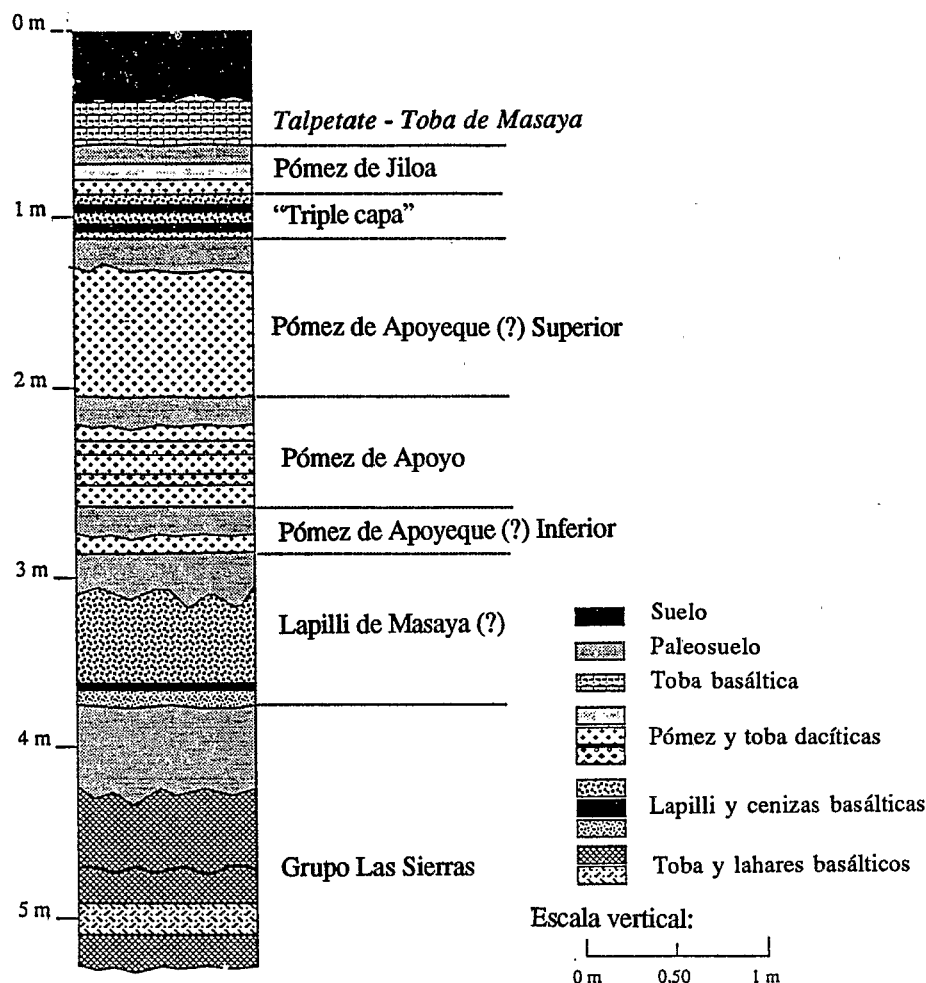


Figura 4. Estratigrafía edafo-geológica de la Cuenca Sur del lago de Managua (Según Bice, 1980).

Hasta nuestro estudio, se pensaba que el *talpetate* había sido formado entre 6,000 y 1,300 años BP, considerándose 4,000 años BP como la edad más probable. Sin embargo, gracias a un descubrimiento de restos de esqueletos humanos y de una cerámica entera debajo del *talpetate* (Prat, 1991), se estableció (por comparaciones de estilo) que pertenecen al periodo "bícromo en placa" (entre 2,400 y 1,500 años BP) y probablemente al final de este periodo, o sea entre 2,000 y 1,500 años BP.

2. Composición Mineralógica y Petrográfica del Talpetate

Los resultados de los análisis químicos mostraron que existen ciertas diferencias entre los *talpetates* de clima seco y húmedo (Cuadro 2).

Cuadro 2. Algunas características químicas del *talpetate* bajo clima seco con estación seca marcada y bajo clima húmedo con estación seca casi ausente.

Características químicas	Talpetate bajo clima con estación seca marcada	Talpetate bajo clima húmedo con estación seca poco marcada
pH agua	7	6
pH KCl	≥ 5	≤ 5
pH NaF	8 - 8,5	9 - 9,5
CIC	$20 \leq \text{CIC} \leq 40$	$20 \leq \text{CIC} \leq 40$
S/T	$20\% \leq \text{S/T} \leq 50\%$	$\text{S/T} \geq 50\%$
P asim. (Olsen)	3 ppm	3 ppm
K dispo. (Olsen)	64 ppm	64 ppm
Oxidos de "hierro libre" (Olsen)	3 a 7%	3 a 7%

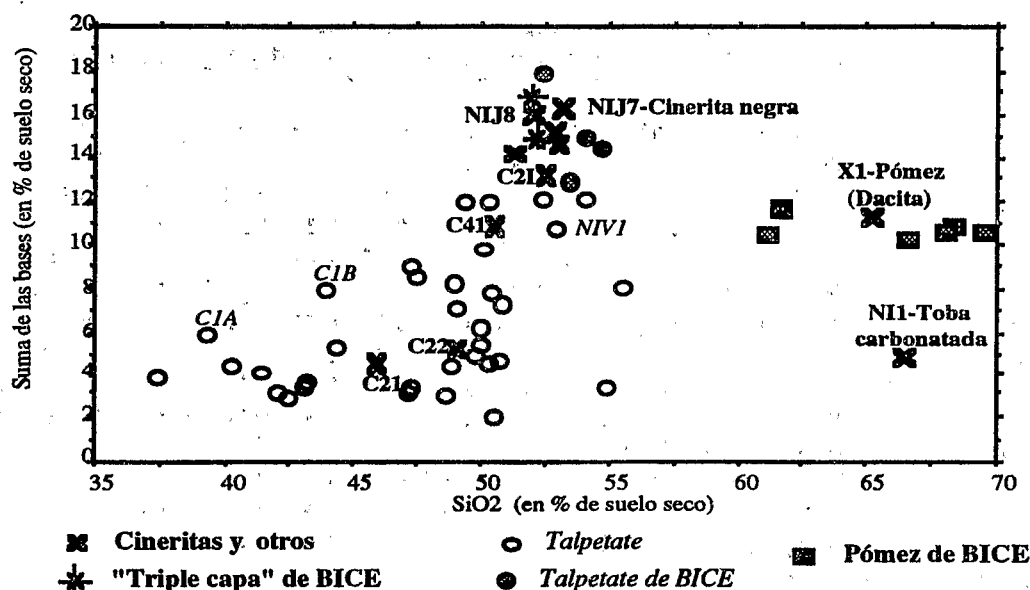


Fig. 5. Suma de las bases vs sílice (peso en %) de talpetate, cineritas, toba carbonatada y pómez (Prat, 1991).

2.1 Composición global

La cantidad de minerales primarios, que están poco alterados, es relativamente baja en comparación con los secundarios (Fig. 5, Cuadro 3). Los primeros están compuestos principalmente por feldespatos, de tipo plagioclasas, labradorita y andesina; piroxenos (augita) y magnetita. Existen también trazas de maghemita, hematita, cuarzo y cristobalita. Esta composición corresponde a una andesita basáltica de tipo andesina a labradorita y pigeonita.

Este material calco-alcalino, intermedio entre basalto y andesita, de la serie toleítica, es característico de un volcanismo de arco insular, en donde las lavas andesíticas provienen de un magma oceánico que fue un poco contaminado por materiales de la costra continental.

2.2 Composición del producto de alteración

El producto de alteración del talpetate está compuesto principalmente por esmectitas. Sin embargo, en las planicies y en los piedemontes, se observó la presencia de haloisita de 7 Å, y en menor proporción, haloisita de 10 Å. La alófana se encuentra en cantidades muy pequeñas. En cuanto a las partes altas de la zona, la haloisita de

7 y 10 Å están ausentes, mientras que los productos alofánicos y mal cristalizados, en particular la gibbsita, se presentan en pequeñas cantidades.

2.3 Variación de la composición química dentro de un talpetate

El análisis químico total de muestras de *talpetate* provenientes de varios perfiles (Marín *et al.*, 1971; Prat, 1991) indica que, bajo un clima tropical bastante seco, las variaciones de composición química son débiles, pero bajo un clima tropical húmedo hay pérdidas de sílice y de bases, y un aumento de óxidos de hierro y de aluminio en la parte superior del *talpetate*; mientras que en su parte inferior, se observa el proceso inverso. Este hecho es la consecuencia de un proceso edafológico de alteración.

3. Micromorfología

3.1 Micro-estructura

El color del material es pardo a pardo anaranjado. La micro-estructura es masiva, presentando en ocasiones bandas paralelas sub-horizontales de unos milímetros de espesor, constituidas por microlitos de forma subeudrale a eudrale.

Muestra	Naturaleza	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	MnO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	Σ Bases	Residuos	Ki	Kr
El Crucero (Prat, 1991)															
C1A	Talpetate	39.32	28.26	23.53	1.97	0.75	2.74	2.03	0.24	0.83	0.31	5.84	9.85	2.36	1.53
C1B	Talpetate	43.91	25.21	20.43	1.77	0.54	3.95	2.66	0.22	1.00	0.32	7.83	13.50	2.95	1.94
C1C	Cin. g. Alt.	42.07	29.35	22.36	2.17	0.49	1.44	1.27	0.02	0.39	0.44	3.12	2.60	2.43	1.63
C1D	Cin. g. Alt.	42.40	29.48	22.20	2.13	0.51	1.36	1.20	0.02	0.34	0.36	2.92	2.60	2.44	1.64
CL	Cin. f. gris	52.65	17.48	14.94	1.38	0.30	6.90	3.32	0.80	2.00	0.22	13.04	25.20	5.10	3.29
C21	Cin. f. oliv.	46.05	26.15	20.86	1.87	0.48	1.81	1.55	0.22	0.87	0.14	4.45	8.40	2.98	2.19
C22	Cin. f. oliv.	48.88	24.86	19.58	1.81	0.41	1.83	1.61	0.25	0.67	0.10	4.36	8.95	3.33	2.21
C23	Talpetate	50.71	22.23	17.62	1.51	0.35	3.60	2.05	0.43	1.25	0.14	7.33	15.20	3.85	2.55
C31	Talp. nod.	49.75	24.70	18.58	1.62	0.40	1.85	1.89	0.40	0.78	0.03	4.92	9.55	3.41	2.30
C41	Cin. f. gris	50.64	20.15	16.36	1.48	0.34	6.01	2.66	0.35	1.87	0.14	10.89	20.70	4.26	2.80
Los Altos de Sto. Domingo (Managua) (Prat, 1991)															
SD2 20-30	Talpetate	48.97	23.04	17.69	1.55	0.40	4.81	1.64	0.46	1.33	0.12	8.24		3.60	2.41
SD2 30-40	Talpetate	50.04	21.66	16.46	1.45	0.40	5.68	2.11	0.54	1.51	0.15	9.84		3.91	2.63
SD2 50-60	Talpetate	50.35	20.12	15.52	1.43	0.38	6.76	2.62	0.71	1.93	0.18	12.02		4.24	2.83
SD2 60-70	Talp/cin.	54.03	16.51	12.80	1.26	0.28	7.12	3.72	1.41	2.63	0.23	14.88		5.54	3.70
SD2 80-90	Cinerita	51.30	18.48	14.12	1.33	0.34	7.21	3.30	1.20	2.49	0.22	14.20		4.70	3.15
Zambrano (Marín et al., 1971)															
V	Palagonita	37.45	36.64	19.80	1.90	0.03	1.24	2.15	0.30	0.19	0.30	3.88		1.73	1.28
B	Talp muy alt	49.06	25.40	16.31	1.62	0.35	2.91	2.77	0.53	0.77	0.29	6.98		3.27	2.32
A	Talpetate	47.48	25.44	16.38	1.70	0.28	3.48	3.17	0.84	1.06	0.17	8.55		3.16	2.24
C	Talp. alt.	49.34	21.46	15.34	1.45	0.22	6.09	3.23	1.06	1.65	0.16	12.03		3.89	2.67
D	Talp. no alt.	53.03	18.38	12.22	1.10	0.06	7.06	3.99	1.40	2.61	0.15	15.06		4.89	3.42
Los Cedros (Marín et al., 1971)															
1	Talp. sup.	49.97	26.29	15.63	1.41	0.25	3.68	1.25	0.60	0.67	0.24	6.20		3.22	2.33
2	Talp. m sup.	49.13	28.36	15.06	1.67	0.36	1.99	1.52	0.41	1.23	0.27	5.15		2.93	2.19
3	Talp. m inf.	47.23	26.85	14.79	1.60	0.24	2.51	1.79	0.36	4.26	0.37	8.92		2.98	2.20
4	Talp inf.	50.31	28.12	14.93	1.68	0.23	2.25	1.51	0.30	0.37	0.30	4.43		3.03	2.26
Toba de Masaya (Bice, 1980)															
153	TdM	54.02	18.99	12.95	1.58	0.19	6.93	3.23	0.84	1.17	0.09	12.17		4.82	3.35
152	TdM	53.11	17.01	13.39	1.35	0.19	8.75	4.16	0.81	1.14	0.10	14.86		5.29	3.51
151	TdM	52.44	15.74	12.21	1.19	0.19	9.78	3.87	1.18	3.03	0.33	17.86		5.64	3.77
154	TdM	54.71	16.98	11.95	1.33	0.22	7.77	4.03	1.29	1.42	0.29	14.51		5.46	3.76
"Triple capa" (Marín et al., 1971; Bice, 1980; Prat, 1991)															
Bice 204	"Triple capa"	52.51	18.36	12.18	1.31	0.22	8.39	3.56	1.17	1.99	0.33	15.11		4.84	3.40
Bice 203	"Triple capa"	51.96	18.75	12.80	1.44	0.18	9.06	4.82	1.13	1.77	0.10	16.78		4.69	3.26
Prat NIJ 7	Cin. negra	53.26	15.23	13.79	1.18	0.30	8.44	4.12	0.90	2.68	0.10	16.14		5.92	3.74
Prat NIJ 8	Cin. negra	52.12	16.44	13.90	1.20	0.30	8.19	4.51	0.89	2.28	0.16	15.87		5.37	3.48
SD2 80-90	Cinerita gris	51.30	18.48	14.12	1.33	0.34	7.21	3.30	1.20	2.49	0.22	14.20		4.70	3.15
Prat Cin1	Cinerita gris	54.03	16.51	12.80	1.26	0.28	7.12	3.72	1.41	2.63	0.23	14.88		5.54	3.70
Marín D	Talp no alt.	53.03	18.38	12.22	1.10	0.06	7.06	3.99	1.40	2.61	0.15	15.06		4.89	3.42
Xiloa (Prat, 1991)															
X1	Pómez	65.30	16.16	6.21	0.62	0.16	3.94	1.66	1.81	3.99	0.16	11.4	62.75	6.85	5.49
UNA (Prat, 1991)															
Nil	T. carbona.	66.49	25.37	3.96	1.10	0.08	1.76	0.44	0.71	1.81	0.08	4.72	60.70	4.78	4.31

Cin.: Cinerita; Talp.: Talpetate; f.: fino; g.: grueso; oliv.: oliváceo; m.: mediano; Sup.: Superior; Inf.: Inferior; nod.: nodulos; TdM: Toba de Masaya; T. carbona.: Toba carbonatada.

Cuadro 3. Composición química de talpetates y de materiales de referencia (Marín et al., 1971; Bice, 1980; Prat, 1991).

El fondo matricial es poco diferenciado, manchado, isóptico, con un esqueleto de tipo porfírico. Se nota la presencia de nódulos acorazados de ceniza acrecionada (Fig. 8 a 11).

Los vacíos, que son numerosos ($\geq 60\%$ de la superficie total), se distribuyen como sigue (porcentaje relativo):

- 15% originado por raíces,
- 30 a 40% son burbujas incluidas en los microlitos, principalmente los vidrios volcánicos. Sin embargo, la mayoría son llenadas totalmente o en parte por el material arcilloso,
- la mayoría ($\geq 60\%$) son vacíos ($\leq 40 \mu\text{m}$) que resultan del empaquetamiento entre los microlitos.

El esqueleto está constituido por:

- La palagonita que ocupa más del 60% del esqueleto. Se trata de microlitos ($\leq 2\text{mm}$) de color amarillento-miel de vidrio basáltico alterado, con bordes sub-angulares a angulares, que contienen burbujas generalmente llenas de un material pardo oscuro,
- Vidrios volcánicos (15%) andesíticos y algunos de tipo dacítico,
- Plagioclasas (10%), piroxenos (5%), principalmente augita, olivino ($<1\%$), magnetita (5%). El cuarzo está presente en raras ocasiones. La materia orgánica generalmente se observa bajo la forma de células vegetales en los vacíos originados por raíces.

3.2 Rasgos de alteración

En los *talpetates*, hay revestimientos órgano-arcillosos en los poros biológicos y en las zonas de contacto suelo/*talpetate*. Sin embargo, los rasgos de alteración más característicos corresponden al bordeado de los poros principalmente de tipo biológico, así como los "cortex" bajo la forma de anillos de alteración de la sideromelane alrededor de los poros de palagonita (Fig. 10).

Los transectos realizados con la micro-sonda, muestran dos situaciones al nivel de estos rasgos de alteración de la palagonita:

* Una alteración de la palagonita sin pérdida importante de elementos, en los cortex de alteración de los poros ocluidos, donde la relación molar $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ (ki) del plasma matricial del material vítreo, que es de 6 a 7, alcanza un valor de 5, que corresponde, como lo confirman las fotos tomadas con el MET, a la presencia de esmectitas.

* Una alteración de la palagonita con pérdida importante de elementos, que se refleja en una disminución del valor del ki (a 2.8 y 1.8), debido a pérdidas de sílice y de bases, así como al aumento de la concentración de óxidos de aluminio y hierro. Estos procesos conducen a la formación de productos alofánicos y de haloisita.

En el caso del *talpetate* bajo clima húmedo, se añaden otros rasgos, pero que son limitados a la porosidad biológica y a las zonas de contacto suelo/*talpetate*; se trata, en particular, de la alteración con disolución y salida de material en la zona de contacto raíz/*talpetate*, y de la presencia de cutanes ferro-mangánicos y de gibsita.

3.3 El caso de los nódulos acorazados

En todos los casos se observaron nódulos acorazados, lo cuales son constituidos por un núcleo de microlitos de milímetros de largo recubierto por capas de cineritas finas acrecionadas, que forman recubrimientos sucesivos como los catáfilos de una cebolla.

3.4 El caso de las huellas de hojas

En ocasiones, en la parte inferior del *talpetate*, se observan huellas de hojas parecidas a hojas de *Ficus spp.*

DISCUSION E INTERPRETACION

Se comprobó que el *talpetate* tiene un origen volcánico. Tal conclusión se obtuvo por la presencia de varios rasgos morfológicos tales como:

- organización en capas masivas y nódulos con límites de tipo lítico;



Fig. 6. Estratigrafía edafo-geológica de la región Centro-Pacífico de Nicaragua (La Concepción, 500 msnm, bordo SO de la caldera de Masaya)



Fig. 7. El telpatete "masivo" y con nódulos "acorrados" (Los Altos de Sto. Domingo)



Fig. 8. Micro-estructura de una cinerita no alterada (NIJ7). Microscopia óptica, luz natural.

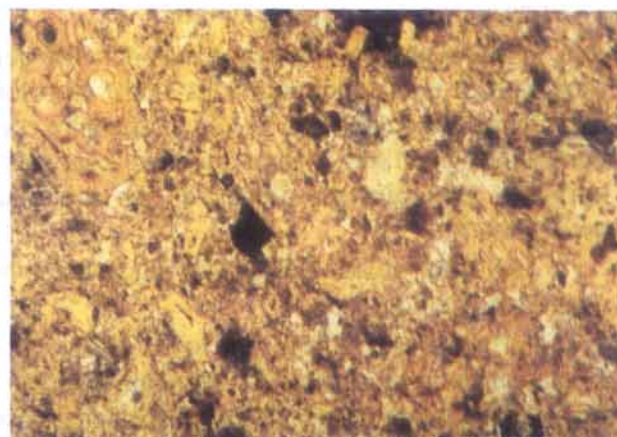


Fig. 9. Micro-estructura de un talpetate bajo clima seco (SD2 40-50). Microscopia óptica, luz natural.

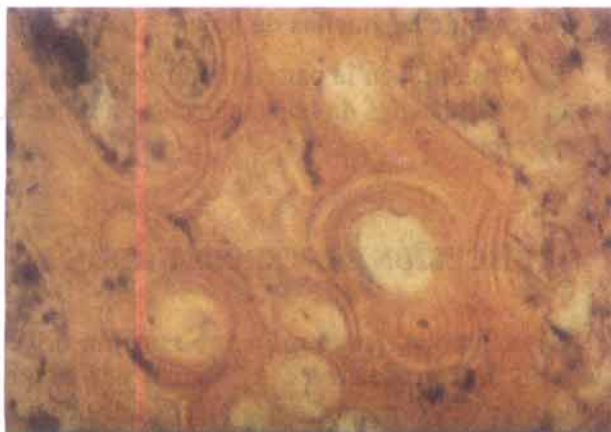


Fig. 10. Detalle de un vidrio palagonitizado (SD2 40-50). Microscopia óptica, luz natural.

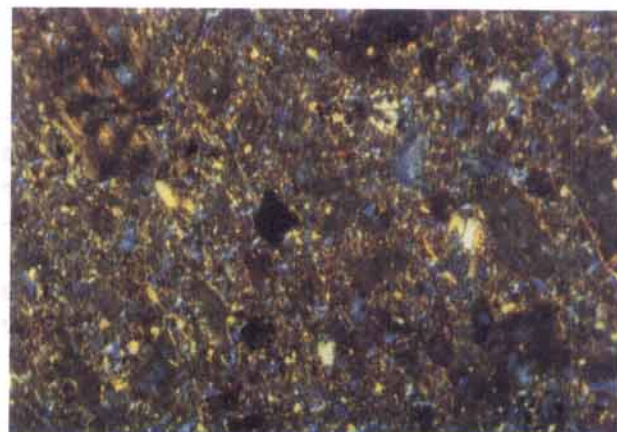


Fig. 11. Micro-estructura de un talpetate bajo clima seco (SD2 40-50). Microscopia óptica, luz polarizada.

- pendiente muy fuerte ($\geq 50\%$) que sigue generalmente la pendiente actual, en donde hay evidencias de destrucción del *talpetate* por la erosión (zona de ruptura de pendientes, parte superior de lomas, fondos de talwegs o de micro-depresiones) o de soterramiento por acumulación de sedimentos (fondos de talwegs o de micro-depresiones) (Fig. 3);

- presencia de huellas de hojas en la matriz, lo cual indica que se trata de material piroclástico que conformó una "batiente", o sea, una ola devastadora, llamada en inglés "surge" (Fisher *et al.*, 1984; Fisher, 1990; Sparks *et al.*, 1973; Sheridan *et al.*, 1979, 1983; Valentine, 1987);

- existencia de nódulos, identificados como nódulos acorazados de cineritas acrecionadas, que se pueden formar únicamente en explosiones volcánicas de tipo freato-magmática (Waters *et al.*, 1971; Self *et al.*, 1978; Fisher *et al.*, 1984, Fisher, 1990);

- presencia de magnetita, puntos negros de milímetros, distribuidos en la masa (se identifican fácilmente con un imán).

Los resultados de las determinaciones físicas y químicas, así como las mediciones y observaciones micromorfológicas del *talpetate* (Prat, 1991) confirman los datos de campo. El *talpetate* tiene una microorganización de toba fina, y está constituido por cenizas de andesita basáltica, de la serie toleítica. Su principal constituyente es la palagonita, formada a partir de la alteración de vidrios volcánicos basálticos. Peacock *et al.* (1928), Bonatti (1965), Honnorez (1967), Hay *et al.* (1972), entre otros, mostraron que la palagonita se forma durante y/o inmediatamente después de una explosión freato-magmática.

Este proceso de palagonitización conduce a la formación de esmectitas, en particular en medio cerrado. Una parte de la haloisita y de los interestratificados haloisita-esmectita, podrían provenir de las esmectitas por desilicificación y pérdida de magnesio (Quantín, 1974, 1991; Wada *et al.*, 1985; Delvaux *et al.*, 1989).

A esta alteración primaria de origen geológico se añade una alteración secundaria de origen

edáfico, que se nota principalmente en los *talpetates* ubicados bajo un suelo ándico y un clima tropical húmedo. Esta alteración consiste en la formación de argilanes, de gibsitanes y de manganes en las zonas de contacto suelo/poros biológicos/*talpetate*, en la redistribución del hierro debido a la actividad de las raíces, y en la pérdida de sílice y de bases en la parte superior del horizonte. Estos procesos muestran que no se trata de una lixiviación y acumulación de elementos, ya que en este caso se hubiera formado un horizonte de tipo B, sino solamente de una alteración parcial del material endurecido. La abundante porosidad del *talpetate*, y su baja densidad aparente ($< 1 \text{ g.cm}^3$), son argumentos que se contraponen al proceso de acumulación y llenado de un horizonte de suelo por iluviación.

Con base en los mapas realizados por los geólogos y edafólogos, y a los análisis y observaciones, se estableció un esquema de la repartición del *talpetate* en la región del Centro-Pacífico de Nicaragua. El *talpetate* está distribuido alrededor de la caldera de Masaya, con una orientación este-oeste partiendo de la misma; pero como lo mostró Williams (1983), está ausente del fondo de este complejo volcánico. Estimamos que el *talpetate* cubre una superficie de 2,500 km², lo que corresponde a la mitad de la superficie de esta región (Fig. 12). Los cálculos de Bice (1980), establecidos sobre una superficie de "solamente" 1,800 km², indican que estos depósitos resultan de una de las más fuertes explosiones conocidas, comparable a la del Krakatoa.

CONCLUSIONES

El horizonte endurecido llamado *talpetate* que se encuentra en los suelos volcánicos de la región Centro-Pacífico de Nicaragua, es una toba volcánica andesítica basáltica constituida principalmente por palagonita. La caldera actual de Masaya es la fuente de emisión de este material. Fue formado por explosiones freato-magmáticas que originaron varias olas devastadoras o batientes (*surge* en inglés, *déferlante* en francés) que

aplastaron la vegetación existente, y que cubrieron alrededor de 2,500 km² en dirección de los vientos alisios (este-oeste). Estos acontecimientos, equivalentes a la explosión del Krakatoa se produjeron hace menos de 2,000 años, y probablemente tuvieron un impacto importante sobre las poblaciones de aquella época.

A la alteración primaria, de origen geológico del *talpetate*, que dio origen a la palagonita y a las esmectitas, se sobrepone una alteración secundaria de origen edáfico. Esta última es responsable, bajo un clima con estación seca de 6 meses, de la formación de haloisita en los *talpetates*. En condiciones húmedas, sin embargo, no se observa haloisita, pero hay productos alofánicos, así como

gibsitane y manganes. En ambos casos se nota la presencia de argilanes y de materia orgánica. Se puede observar, además, una disminución de la sílice y de las bases en la parte superior del *talpetate*, lo cual explica una eluviación fuera del perfil de este material provocada por la meteorización. Esta conclusión implica que la hipótesis vigente para explicar la formación y el endurecimiento de *talpetates* mediante procesos de lixiviación y de acumulación, no es válida.

Debido a las características físico-químicas, morfológicas y al origen, proponemos llamar al *talpetate* estudiado "toba palagonitizada de Masaya".

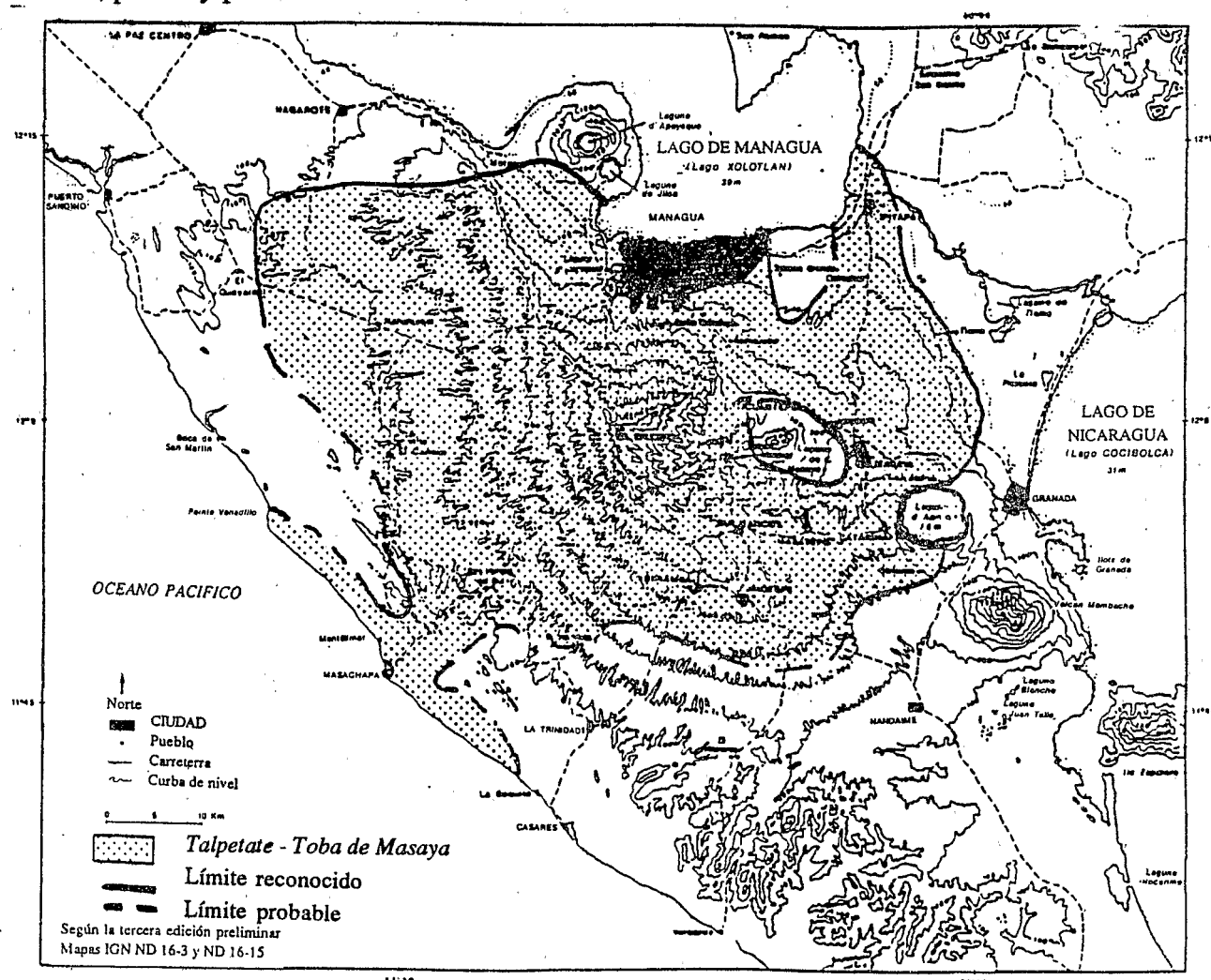


Figura 12. Distribución del talpetate-Toba palagonitizada de Masaya (Prat, 1991).

AGRADECIMIENTOS

Este estudio se realizó de 1985 a 1991 como parte del programa de investigación PICSUR (Proyecto de Investigación de la Cuenca Sur del Lago de Managua) conducido por IRENA (Instituto Nicaragüense de Recursos Naturales y del Ambiente) y ORSTOM. También es parte de la tesis de C. PRAT (ORSTOM/Univ. PARIS 6). Este trabajo no se hubiera efectuado sin la valiosa colaboración

de los equipos de edafólogos de IRENA, del Laboratorio de Edafología de la UNA (Univ. Nacional Agraria de Nicaragua), del Depto de Arqueología Nacional de Nicaragua y del Laboratorio de Formaciones Superficiales de ORSTOM-Bondy. En particular, hay que destacar el apoyo decisivo de: E. Blandón, M. Herrera, M. Martínez, I. Rodríguez en Nicaragua, y de M. Amiot, A. Bouleau, H. Guenin, G. Millot y C. Hidalgo en Francia.

LITERATURA CITADA

AFES. 1990. 3^{ème} proposition du Référentiel Pédologique (Avril 1990), AFES, France.

BICE, D. C. 1980. Tephra stratigraphy and physical aspects of recent volcanism near Managua, Nicaragua. Ph. D., Univ. California, Berkeley, California, USA. 420 p.

BONATTI, E. 1965. Palagonite, hyaloclastites and alteration of volcanic glass in the Ocean. Bull. Volc. 28: 1-15.

CATASTRO. 1971. Levantamiento de suelos de la región Pacífica de Nicaragua. Min. de Agricultura y de ganadería (MAG), Managua, Nicaragua, II (3): 593-678.

CATASTRO. 1978. Mapa de suelos del Pacífico. Compilación de estudios realizados entre 1968 y 1978 por el MAG, Informe-mapa. Managua, Nicaragua.

DELVAUX, B., A. J. HERBILLON y L. VIELVOYE. 1989. Characterization of a weathering sequence of soils derived from volcanic ash in Cameroon. Taxonomic, mineralogical and agronomic implications. Geoderma 45: 375-388.

DUBRÈUCQ, D., P. QUANTIN y C. ZEBROWSKI. 1989. Los tepetates de origen volcánico en México. Esquema preliminar de clasificación. Terra 7: 3-12.

FAO, UNESCO. 1976. Carte mondiale des sols 1:5 000 000. UNESCO, Paris, France. III: 1-104.

FISHER, R. V. 1990. Transport and deposition of a pyroclastic surge across an area of high relief: the 18 May 1980 eruption of Mount St. Helens, Washington. Geol. Soc. Am. Bull. 102: 1038-1054.

FISHER, R. V. y H. U. SCHMINCKE. 1984. Pyroclastic rocks. Springer-Verlag, Berlin, RFA.

HAY, R. L. y B. F. JONES. 1972. Weathering of basaltic tephra on the island of Hawaii. Geol. Soc. Am. Bull. 83: 317-332.

HONNOREZ, J. 1967. La palagonitisation: l'altération sous marine du verre volcanique basique de Palagonia (Sicile). Thèse, Université Libre, Bruxelles, Belgique. 227 p.

INCER, B.J. 1985. Toponomías indígenas de Nicaragua. Libro Libre, San José, Costa-Rica. 481 p.

MARIN CASTILLO, E. J., E. UBEDA GONZALES y J. VIRAMONTE OTERO. 1971. Contribución al conocimiento de la génesis del "talpetate". 3a Reunión de Geólogos de América Central, San José, Costa-Rica. Presentación coloquio, Managua. 31 p.

MC BIRNEY, A. R. 1956. The nicaraguan volcano Masaya and its caldera. Am. Geophys. Union Trans. 1 (36): 83-96.

MC BIRNEY, A. R. y R. L. WILLIAMS. 1965. Volcanic history of Nicaragua. California Univ. Pubs. Geol. Sci. 55: 1-65.

PEACOCK, M. A. y R. E. FULLER. 1928. Chlorophaeite, Sideromelane and Palagonite from the Columbia River Plateau. Am. Min. 13: 360-382.

PRAT, C. 1991. Etude du talpetate, horizon volcanique induré de la région Centre-Pacifique du Nicaragua. Genèse, caractérisation morphologique, physico-chimique et hydro-dynamique, son rôle dans l'érosion des sols. Thèse de Doctorat, Univ. Paris 6, Paris, France. 350 p.

QUANTIN, P. 1974. Hypothèses sur la genèse des andosols en milieu tropical: évolution de la "pédogenèse initiale" en milieu bien drainé, sur roches volcaniques. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., 12 (1): 3-12.

QUANTIN, P. 1991. Les sols de l'archipel volcanique des Nouvelles-Hébrides (Vanuatu). Etude de la pédogénèse initiale en milieu tropical. Thèse de Doctorat, Université Strasbourg, France. 490 p.

SAHAGUN DE B. 1956. Historia general de las cosas de la Nueva España. Porrúa Editorial, D.F., México.

SELF, S. y R. S. J. SPARKS. 1978. Characteristics of widespread pyroclastic deposits formed by the interaction of silicic magma and water. *Bull. Volc.* 41: 196-121.

SHERIDAN, M. F. y K. H. WOHLTZ. 1979. A model of pyroclastic surge. *Geol. Soc. America Spec. Paper* 180: 177-193.

SHERIDAN, M. F. y K. H. WOHLTZ. 1983. Hydrovolcanism: basic considerations and review. *J. Volc. Geotherm. Res.* 17: 1-29.

SIMEON R. 1885. Dictionnaire de la langue nathuatl ou mexicaine. 9 ed. 1992 Diccionario de la lengua nahualtl o mexicana. Siglo XXI, D.F., México. 784 p.

SPARKS, R. S. J. y G. P. L. WALKER. 1973. The ground surge deposit: a third type of pyroclastic rocks. *Nature Phys. Sci.* 241: 62-64.

SUSSMAN, D. 1982. The geology of Apoyo caldera, Nicaragua. Ph. D., Dartmouth College, Hanover, New Hampshire, USA. 250 p.

VALENTINE, G. A. 1987. Stratified flow in pyroclastic surges. *Bull. Volc.* 49: 616-630.

WADA, K. y Y. KAKUTO. 1985. Embryonic halloysites in Ecuadorian soils derived from volcanic ash. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49: 1309-1318.

WALKER, J.A. 1982. Volcanic rocks from the nejapa and Granada cinder cone alignments, Nicaragua, Central America. Ph. D., Rutgers Univ., New Brunswick, New Jersey, USA. 150 p.

WATERS, A. C. y R. V. FISHER. 1971. Base surges and their deposits: Capelinhos and Taal volcanoes. *J. Geophys. Res.* 76: 5596-5614.

WILLIAMS, S. N. 1983. Geology and eruptive mechanisms of Masaya caldera complex, Nicaragua. Ph. D., Dartmouth College, Hanover, New Hampshire, USA. 170 p.

ZOPPIS BRACCI, R. 1968. Estudios geológicos de la hoja "Las Mercedes" (Depto. de Managua-Masaya). Ministerio de Economía, Industria y Comercio de Nicaragua, Servicio Geológico Nacional, Managua, Nicaragua. 73 p.

ZOPPIS BRACCI, R. y D. GUIDICE. 1958. Geología de la costa Pacífico de Nicaragua. *Bol. Serv. Geol. Nac. de Nicaragua* 2: 19-68.