

AGUA Y TALPETATE - TOBA PALAGONITIZADA DE MASAYA

Water and Talpetate - Palagonitised Tuff of Masaya

Christian Prat ¹, Eduardo Blandón Soto ², José Martín Martínez Ortega ² y Mario Herrera ²

¹ ORSTOM, Managua, Nicaragua.

² IRENA, Managua, Nicaragua.

Palabras clave: Nicaragua, Masaya, Talpetate, Toba, Suelos volcánicos endurecidos, Micro-morfología, Aspersor de neutrones, Infiltrómetro de aspersión, Caracterización hídrica, Erosión.

Index words: Nicaragua, Masaya, Talpetate, Tuff, Indurated volcanic soils, Micro-morfology, Neutronic probe, Rain simulator, Hydric characterisation, Erosion.

Mots clefs: Nicaragua, Masaya, Talpetate, Tuf, Sols volcaniques indurés, Micromorfologie, Sonde à neutrons, Infiltromètre à aspersión, Caracterisation hydrique, Érosion.

RESUMEN

Las propiedades físicas e hídricas del talpetate-Toba palagonitizada de Masaya (TPM) son las de un horizonte limoso endurecido, muy poroso y cuya capacidad de retención de agua es muy importante (>50% del volumen del material). A nivel de perfil, la TPM juega el papel de un tanque de agua y no parece limitar el avance del frente de humectación, por lo menos, en el caso de dos observaciones por semana.

Si a nivel del metro cuadrado, la TPM bajo la forma de elementos gruesos, limita la erosión, a nivel de cuenca, contribuye a favorecer la concentración del agua en la superficie, conduciendo a una erosión regresiva en cárcava. Por lo que se

puede considerar a las prácticas agrícolas y hasta ciertos programas de conservación de suelos, como inadaptados y más bien, como responsables de la erosión hídrica: la TPM, solamente acentúa dichos problemas.

SUMMARY

The physical and hydric properties of the talpetate-Palagonitised Tuff of Masaya (PTM) are those of an indurated loamy horizon, very porous and with a high water retention capacity (>50% from the volume of the material). At the scale of a perfil, the PTM take the role of water tank and does not seem to limitate the advance of the humectation front, at least on the scale of two observations per week.

If at the level of the square meter, the PTM under the form of coarse elements, limits the erosion, at the level of the watershed, contributes to promote the concentration of the water on the soil surface, leading to a regressive erosion which forms gullys. It can be considered that some agricultural and soil conservation practices, are not adequate and are in fact, responsables for the hydric erosion: the presence of the PTM just make this problems more acute.

RESUME

Les propriétés physiques et hydriques du *talpetate*-Tuf palagonitisé de Masaya (TPM) sont celles d'un horizon limoneux, induré, très poreux et dont la capacité de rétention en eau est très importante (>50% du volume du matériau). A l'échelle d'un profil, la TPM joue un rôle de réservoir d'eau et ne semble pas limité l'avancée du front d'humectation, du moins à l'échelle d'une à deux observations par semaine.

Alors qu'au niveau du mètre carré, la TPM sous la forme d'éléments grossiers, limite l'érosion, au niveau d'un bassin versant, elle contribue à favoriser la concentration de l'eau en surface, aboutissant à une érosion régressive en ravine. On peut donc considérer les pratiques agricoles, voire de conservation des sols, comme inadaptées et même responsables de l'érosion hydrique, la TPM ne faisant seulement qu'accentuer ces problèmes.

INTRODUCCION

En los suelos volcánicos de la región Centro-Pacífico de Nicaragua, se encuentra en un área de más de 2 500 km², un horizonte endurecido llamado *talpetate*. Es una toba volcánica que muy probablemente corresponde a depósitos de batientes. Dichas coladas provinieron de explosiones freato-magmáticas que formaron la actual caldera de Masaya. Este material sufrió una alteración primaria debido a su origen volcánico y su modo de desposición (palagonitización de los vidrios basálticos). Desde menos de 2 000 años, edad de estas formaciones, se sobrepusó una alteración de tipo secundaria (argilanes, manganes, gibsitane, haloisita y productos alofánicos) que se limita principalmente a las zonas de contacto entre poros biológicos y matriz, así como entre suelo y el *talpetate*. Por estas razones, propusimos llamar a este tipo de *talpetate*: toba palagonitizada de Masaya (TPM) (Prat, 1991; Prat y Quantin, en este volumen).

Este estudio de la hidrodinámica en los suelos con la TPM, esta enfocado a problemas de tipo agropecuarios y de conservación de suelos, y no a la determinación de algún proceso pedogenético en torno a este horizonte endurecido.

Con la excepción de unos estudios del Departamento de Agroclimatología del Ministerio del Desarrollo Agropecuario y de la Reforma Agraria, las características hídricas de estos suelos y de la TPM, en particular son poco conocidas. Además, a pesar de la erosión fuerte, los campesinos no han desarrollado sistemas y técnicas culturales adaptadas al TPM. El endurecimiento de este horizonte, es considerado como un factor negativo para el cultivo. Su destrucción se concibe, a menudo, como un remedio a estas dificultades.

Frente a esta falta de datos y a estos problemas, nos pareció importante estudiar en detalle el papel real de la TPM en la dinámica del agua.

MATERIALES Y METODOS

Se analizaron muestras de TPM y de cenizas cementadas provenientes de perfiles de Brunisoles con características ándicas, localizados bajo un clima tropical marcado por 6 meses de sequía (Municipio Los Altos de Sto. Domingo, a 5 km al sureste de Managua en zona de pie de monte), y de Andisoles desaturados con clima tropical húmedo, ubicados en la parte alta de la cuenca (950 msnm, en El Crucero). Las características hídricas de dichos materiales fueron definidas a partir de mediciones "clásicas" (densidad aparente y real, pF, etc), pero también se midió la porosidad con un porosímetro de mercurio (Mod. Micromeritics 9310) siguiendo la metodología de Cambier y Prost (1981). Las presiones de inyección de mercurio variaron de 28 a 28,000 Psi, lo que corresponde al tamaño equivalente a los umbrales de los poros comprendido entre 400 a 6.5 μm (Van Oort, 1984). Se describió la organización y la porosidad de la TPM a escalas microscópicas.

El estudio del impacto de esta toba sobre la dinámica del agua en los suelos se realizó por medio del seguimiento de cinco perfiles hídricos alineados en una toposecuencia de 50 m y la otra de 100 m de largo, formando así una repetición. Este área de trabajo está localizado en Los Altos de Sto. Domingo. Las mediciones, siguiendo las recomendaciones de Couchat (1990) y de Poss (1991), se efectuaron con un aspersor de neutrones (Solo 25 de Nardeux, fuente radiactiva $^{241}\text{Am-Be}$ de 40 mCi) durante 15 meses, con un promedio de dos mediciones por semana. Los datos climáticos fueron obtenidos gracias a equipos instalados en la cuenca y a partir de datos del Ministerio del Desarrollo Agropecuario y de la Reforma Agraria.

En cuanto a la erosión de los suelos, se realizaron series de ensayos de simulación de lluvia con un mini-infiltrómetro de aspersión, así como descripciones del estado de las organizaciones peliculares de la superficie de los suelos en parcelas de 1 m², siguiendo las recomendaciones de Asseline y Valentin (1978) y de Valentin (1985). Aquí, se presentan únicamente los resultados de los ensayos efectuados en la zona de Los Altos de Sto. Domingo.

Además de estos parámetros, se analizaron en la misma zona, los sistemas agrícolas en pequeñas cuencas experimentales (≤ 2 ha) (Prat, 1990).

CARACTERÍSTICAS HIDRICAS DE LA TOBA PALAGONITIZADA DE MASAYA (TPM) -TALPETATE

1. Observaciones con Microscopio Óptico y de Barrido

La TPM tiene una estructura conínea, masiva con unos o muchos nódulos de cinerita acrecionada y textura limosa. Su densidad aparente (d.a.) es inferior a 1 g/cm³. Sin embargo, muestras de TPM localizadas debajo de un andisol, con un clima húmedo y en altitud (El Crucero), tienen valores de densidad mayores.

Las observaciones al microscopio óptico y de barrido permitieron definir y hacer una estimación de los tipos de poros (Cuadro 1).

En el caso de las TPM de d.a. mayor a 1 g/cm³, se observa que una gran parte de su porosidad está llena con gibbsitanes, ferro-manganes y cutanes organo-arcillosos. En cuanto a las cineritas soldadas de color gris, genéticamente cercana a la TPM, se diferencia un grupo con una d.a. comprendida entre 1 y 1.2 g/cm³ de otro cuyas valores son superiores a 1.2 g/cm³.

La porosidad total de la TPM varía entre 50% y 70%, con un valor promedio de 65%. A pesar de tener valores muy dispersos (entre 40 y 75%), la porosidad de las cineritas soldadas, con un promedio de 60% es finalmente poco diferente del valor de la porosidad total de la TPM.

Cuadro 1. Comparación de las características de los poros entre cineritas soldadas, TPM "típica" de Los Altos de Santo Domingo y TPM de El Crucero.

Tipo de porosidad	Cinerita soldada		TPM de Sto. Domingo		TPM d'El Crucero	
	Superficie relativa %	Tamaño	Superficie relativa %	Tamaño	Superficie relativa %	Tamaño
Vacío / Sólido	50		≥ 60		≥ 60	
Canal de raíces	0 a 2-3	≤ 2 mm	15	mm al cm	15	mm al cm
Burbujas en los vidrios	30-40	20 a 100 μm	30-40	10 a 100 μm	30-40	10 a 100 μm
Vacío de amontonamiento	50-60	Zona densa 60 a 5 μm Zona poca densa 80 a 20 μm	40-60	≤ 40 μm	40-60	≤ 40 μm

TPM: Toba Palagonitizada de Masaya.

2. Mediciones con un Porosímetro de Mercurio

Los resultados de las mediciones con el porosímetro de mercurio permiten definir la d.a., establecer la curva del volumen poral acumulado y de su curva derivada correspondiente al espectro de la porosidad, las cuales definen el volumen poral y el radio promedio de los poros (Fig. 1, Cuadros 2 y 3).

Se pudo definir aquí seis clases de porosidad (Cuadro 2). Si se compara la curva de porosimetría de la TPM alterada con la de la TPM poco alterada, se nota que para un diámetro de constricción de los poros inferior a 0.72 µm, el diámetro y el volumen de dichos poros son

idénticos. En cambio, entre 28.7 y 0.72 µm, y en particular entre 28.7 y 2.42 µm, los poros son más grandes y más numerosos en la TPM alterada que en la TPM masiva: la alteración conduce a un aumento del tamaño de los poros.

El volumen poral total es muy elevado para las dos muestras ya que representa entre la mitad y las dos tercera parte del volumen de la TPM (Cuadro 3).

La comparación entre TPM y cinerita soldada con microscopio óptico y de barrido, muestra que esta alta porosidad no proviene de un grado de alteración muy pronunciado, el cual se traduciría en una porosidad macroscópica elevada, sino de

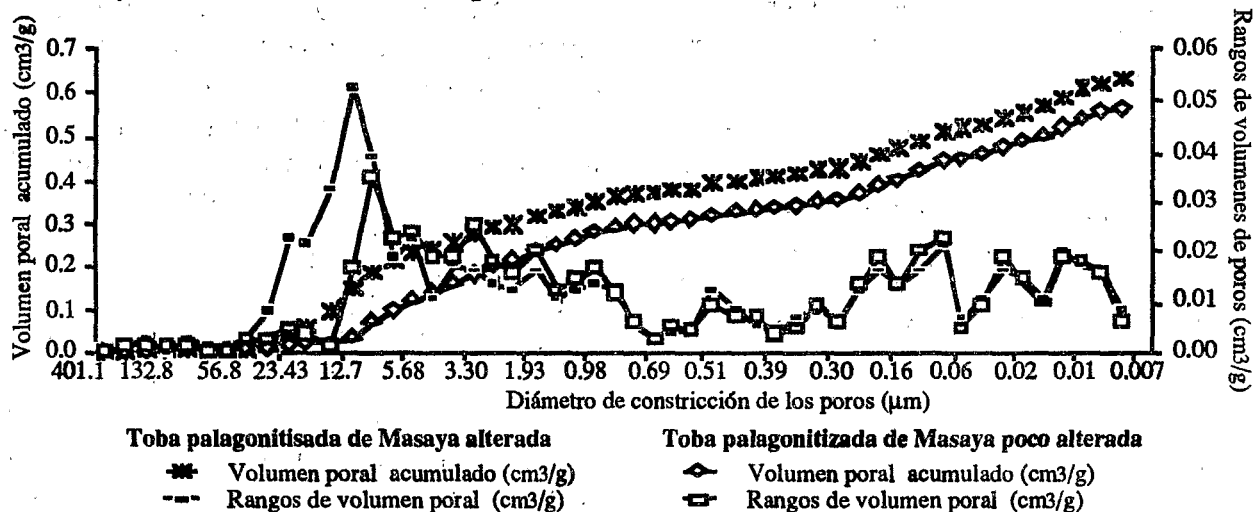


Figura 1. Clases de volumen poral y curvas del volumen poral acumulado para una TPM “alterada” y una “poco alterada”.

Cuadro 2. Clases de porosidad determinada con el porosímetro de mercurio, para la TPM poco alterada y la TPM alterada.

Clases de poros	TPM poco alterada (volumen poral total=0,5634 cm³/g)				TPM alterada (volumen poral total=0,634 cm³/g)			
	Diámetro de constricción de cada clase de poros		Volumen poral correspondiente		Diámetro de constricción de cada clase de poros		Volumen poral correspondiente	
	Diámetro máximo µm/g	Diámetro mínimo µm/g	Clases de poros cm³/g	Proporción %	Diámetro máximo µm/g	Diámetro mínimo µm/g	Clases de poros cm³/g	Proporción %
A	401.080	20.135	0.0181	3.2	401.080	28.774	0.0202	3.1
B	17.392	7.630	0.0758	13.5	17.392	7.630	0.1875	29.6
C	5.420	0.730	0.2034	36.1	5.420	0.720	0.1632	25.7
D	0.680	0.300	0.0602	10.6	0.680	0.300	0.0621	9.8
E	0.257	0.045	0.1035	18.4	0.257	0.045	0.0971	15.4
F	0.034	0.006	0.1024	18.2	0.034	0.006	0.1039	16.4

la organización microscópica de sus constituyentes que están amontonados y soldados unos a los otros, favoreciendo así una micro-porosidad muy elevada, y también de las burbujas en los vidrios volcánicos, principal componente de la toba. Globalmente, el diámetro de dichos micro-poros esta comprendido entre 0 y 100 μm , pero la mayoría de ellos pertenece a la clase cuyo diámetro es inferior a 40 μm .

Los análisis químicos totales y puntuales y las observaciones en el microscopio muestran escasa presencia de sílice y de carbonatos en los poros. La localización de arcillas y existencia de una abundante porosidad significa que la TPM no está cementada por un producto de alteración y/o de neoformación que hubiese llenado los poros. Su endurecimiento proviene principalmente de la soldadura entre los vidrios basálticos que forman un esqueleto rígido.

Cuadro 3: Resultados y comparaciones de la porosidad y de algunas características físicas de la TPM alterada y de la TPM poco alterada.

	TPM	TPM	(A - B)
	alterada	poco alterada	A
	A	B	%
Peso seco	0.979	1.097	12.1
Volumen	1.190	1.131	5.0
Densidad aparente	0.823	0.970	17.9
Volumen poral total (cm^3/g)	0.634	0.563	11.1
Volumen poral total (%)	64.750	51.360	20.7
Superficie poral total (%)	34.980	33.560	4.1
Diámetro promedio de los poros (μm) (Volumen)	1.931	0.944	51.1
Diámetro promedio de los poros (μm) (Superficie)	0.0113	0.0115	1.8

3. pF y Balance Hídrico

La determinación de la porosidad con la prensa de membrana da resultados similares a los determinados por intrusión con mercurio. Se puede deducir que los poros, cualquier sea su tamaño, tienen un diámetro de constricción homogéneo (de lo contrario, los valores de porosidad hubieran sido más pequeños en el caso del pF).

El pF necesario (Ley de Jurin) para extraer el agua de los poros que tienen un radio de constricción de 0.8 μm , es de 4.3. Esto implica que entre 30 y 40% del agua de la TPM no es accesible a las plantas. El tamaño de la mayoría de los poros corresponde al agua de la reserva útil (Bourrie y Pedro, 1980), de tal forma que la TPM tiene una capacidad de retención de agua muy elevada. Desde este punto de vista, se podría comparar este material a la cal: los dos son materiales endurecidos que tienen una micro-porosidad muy elevada.

Conclusión

El estudio de las características hídricas de la TPM muestra que los diferentes medios de análisis son complementarios y conducen todos a los mismos resultados: la TPM aún endurecida, tiene una microporosidad muy elevada, la cual es incrementada por una macroporosidad conformada por fisuras y penetración de las raíces.

Los resultados de este trabajo muestran una visión diferente de la que prevalece en Nicaragua, donde se considera a la TPM como impermeable por lo contrario, es muy porosa y tiene una reserva útil que corresponde a más de la mitad de su peso seco.

EL COMPORTAMIENTO HIDRICO DE LA TOBA PALAGONITIZADA DE MASAYA (TPM) *IN SITU*, DURANTE UN CICLO ANUAL

1. Situación de los Perfiles y Definiciones

Se estudió el comportamiento del agua en suelos con la TPM, y las relaciones entre los perfiles en una cuenca representativa en Los Altos de Sto. Domingo, Managua.

Los perfiles hídricos fueron determinados con un aspersor de neutrones en cinco perfiles de suelos con una TPM, distribuida a lo largo de dos toposecuencias de 100 m perpendiculares.

1.1. Características de los perfiles

Se identifica a los perfiles, en función de su posición topográfica:

* El perfil 1 (T1) está ubicado al fondo de la depresión principal en la desembocadura de la cuenca. Une las dos toposecuencias y sirve de referencia (Punto 0).

* Los perfiles 2 (T2) (a 10 m) y 4 (T4) (a 30 m) están ubicados pendiente abajo (tercio inferior). El perfil 2 colecta únicamente las aguas de escurrimiento de unos cuantos metros cuadrados río arriba, mientras que el perfil 4 recibe las aguas de más de la mitad de la cabecera del cauce de esta cuenca.

* Los perfiles 3 (T3) (100 m) y 5 (T5) (125 m) están ubicados en la parte superior de las vertientes. El perfil 3 recibe únicamente las aguas de la zona adyacente cuando el perfil 5 ubicado en el tercio superior de la cabecera del cauce, recoje aguas que vienen ya canalizadas.

También, se puede diferenciar dichos perfiles con base en sus características edáficas (AFES, 1990). La clasificación es entonces, distinta de la precedente:

* El perfil T1 corresponde a un Brunisol con caracteres ándicos, muy profundos, sin TPM (o con TPM pero presente a una profundidad mayor a 2 m). La textura es limo-arcillosa a arcillo-limosa. De migajón a la superficie, la estructura se hace polihédrica subangular con una sobreestructura masiva en profundidad. Estos suelos de origen aluvio-columial presentan una secuencia de tipo Ap - A1.1 - A1.2 - II A1 - (II A/Cm - III A).

* Los perfiles T3 y T4 son Brunisoles superficiales con caracteres ándicos, con una TPM muy alterada de 30 y 40 cm de espesor, que aparece a 10 cm de profundidad. Los horizontes ubicados debajo de la TPM tienen una textura limo-arenosa a arenosa. La secuencia de estos horizontes es de tipo: Ap - II A/Cm1.1 - II Cm1.2 a 1.4 - II Cm2 - III A1 - III C1 - III Cx.

* Los perfiles T2 y T5 son Brunisoles superficiales con caracteres ándicos y con una TPM de 60 a 70 cm de espesor. La parte cercana a la

superficie (de 20 cm de espesor) de este horizonte está muy alterada pero en su parte inferior (de 40 cm de espesor) la alteración es menor. Los horizontes ubicados debajo de la TPM tiene una textura limo-arenosa a arenosa. La secuencia de estos horizontes es del mismo tipo que en el caso anterior: Ap - II A/Cm 1.1 - II Cm 1.2 a 1.4 - II Cm 2 - III A1 - III C1 - III Cx.

1.2. Perfiles hídricos

Las características físico-químicas de los suelos no conllevan ningún problema de calibración gravimétrica y química del aspersor de neutrones, mostrando una buena correlación de los resultados entre estos dos métodos.

Los valores más bajos y más elevados de los perfiles hídricos dan el perfil correspondiente al punto de marchitez y de saturación respectivamente; aunque en este caso, se prefiere hablar de perfil cercano a la saturación, que está más cerca de la realidad. Además, se determinó la capacidad de campo, midiendo la humedad 48 h después de una lluvia fuerte, teniendo el suelo ya húmedo. Los perfiles hídricos correspondiendo a la capacidad al campo y al punto permanente de marchitez delimitan la reserva en agua útil (RU), definida como la cantidad de agua disponible para las plantas.

1.3. Análisis de los datos climáticas

Los perfiles hídricos fueron medidos de mayo de 1988 hasta finales de julio de 1989. El primero fue un año excepcionalmente lluviosa (1,826 mm, correspondiendo a un periodo de retorno de 50 años). Además, el periodo de lluvias terminó con el ciclón "Juana" (150 mm de agua caídos el 23 de octubre de 1988). En 1989, la pluvio-metría anual fue de 970 mm, lo que corresponde a un año normal (promedio anual = 1,100 mm). Sin embargo, la distribución de las lluvias no corresponden a lo normal: el inicio del periodo de lluvias fue particularmente deficitario durante 3 meses.

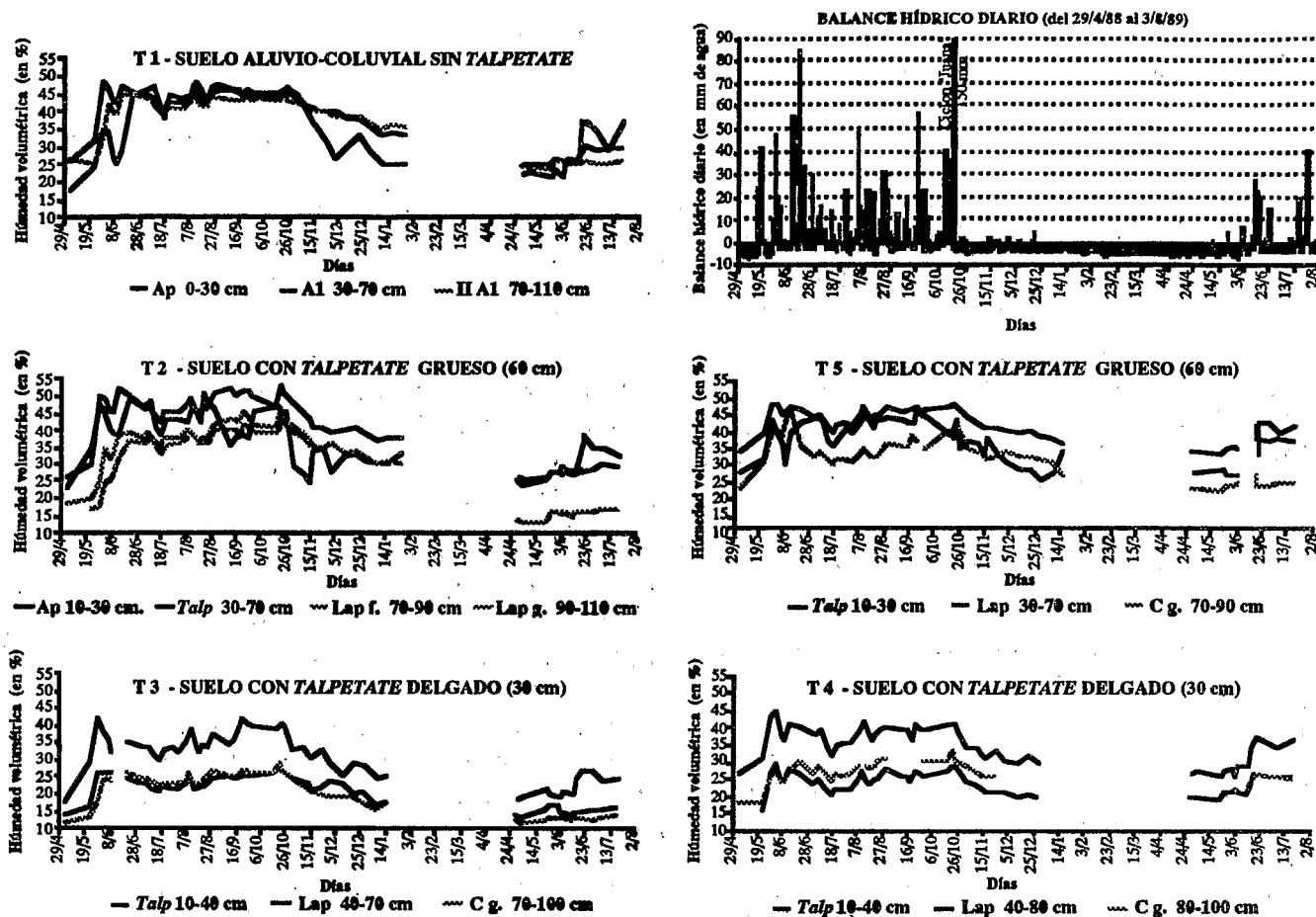


Figura 2. Cantidad en agua por perfil (Tubos 1, 2, 3, 4 y 5) en función de los principales tipos de horizonte y variación del balance hídrico climático diario.

El ciclo de lluvias se compone generalmente de uno a varios días de pluviometría débil (± 10 mm/día) seguida por uno a dos días de lluvias fuertes (≥ 20 mm/día), hasta muy fuertes (≥ 30 a 60 mm/día).

La pequeña época seca (“*veranillo*”) fue poco marcada en 1988 (un tercio menos de precipitaciones en relación al resto de la época de lluvias) mientras en 1989 fue muy marcada del 30/07 al 25/08 (40 mm). En 1988, como en 1989, la época de lluvias se terminó con precipitaciones diarias muy superiores a las lluvias más fuertes ocurridas durante el resto del año.

A partir de los datos de pluviometría y de ETP, se calculó el balance hídrico climático diario (Fig. 2 y 4).

2. Variaciones de los Perfiles Hídricos en Función del Tiempo

En la Figura 2, se presentan los valores de las humedades volumétricas por horizonte durante los 15 meses de experimentación. Debido a insuficiente número de valores confiables de humedad del horizonte superficial (0-10 cm), no se graficaron.

Del análisis de la evolución de las cantidades de agua en los perfiles, se puede concluir que los estados hídricos de los horizontes en el transcurso del año son de tres tipos:

- un estado de desecamiento: la cantidad en agua para todo el perfil está en su nivel más bajo, en particular al final de la época seca;

- un estado húmedo: la cantidad de agua es muy alta. Este estado se mantiene durante toda la época de lluvias y termina en el segundo mes que inició la época seca;

- un estado transitorio: la cantidad de agua varía en el perfil del estado seco al húmedo, y recíprocamente. Sin embargo, hay que destacar que si la fase de humectación es rapidísima (unos días basta), la fase de secado es más larga porque dura varios meses. El horizonte cerca de la superficie, sometido directamente a los cambios del clima y que contiene la mayor parte de las raíces, presenta variaciones de su contenido en agua, más drásticos que los demás horizontes.

Es importante subrayar que, con este paso de tiempo, no se observó ahogamiento del suelo.

3. Puntos Característicos de los Perfiles Hídricos

En términos absolutos, las cantidades de agua de la TPM "gruesa" (T2 y T5) son del mismo orden que las de los horizontes del perfil T1 (limo-arcillosos no endurecido), en tanto que las de la TPM "delgada" (T3 y T4) son bastante parecidas a las cantidades de agua de los horizontes arenosos. Las cantidades de agua poco disponible de T3 y T4 son un poco más bajas. También, la reserva útil y el agua de saturación son muy inferiores a los valores de los demás horizontes (Figura 3).

En términos relativos y a pesar de una aparente similitud, los perfiles T3 y T4 presentan diferencias importantes: T3 tiene 40% de agua no disponible, mientras que T4 tiene más de 60%. A pesar que T4 y T5 disponen de una reserva útil menor, compensada por una cantidad de agua fácilmente disponible mayor, dichos perfiles son bastante parecidos a T1, aunque tienen características edáficas diferentes.

Si se comparan las variaciones de humedad no en función de perfiles sino de horizontes similares (Fig. 4), se llega a las siguientes conclusiones:

* Las cantidades de agua disponible en todas las muestras son apreciables: fluctúan entre 60 y 40% del total de agua.

* A pesar de estar endurecida, la TPM tiene características hídricas bastante parecidas a la de los horizontes limo-arcillosos del fondo del cauce.

* A pesar de una aparente semejanza edáfica entre los perfiles (T2 con T5, T3 con T4), existen importantes diferencias, entre ellas:

- la TPM de T3, delgada y cercana a la superficie, no tiene las mismas características hídricas que la de T4,

- el nivel "inferior" de la TPM de T2 y T5 tiene características hídricas parecidas a las de la TPM "superficial" de T3 y T4,

- pero, la TPM de T2, masiva y en profundidad, es muy parecida a la del T5.

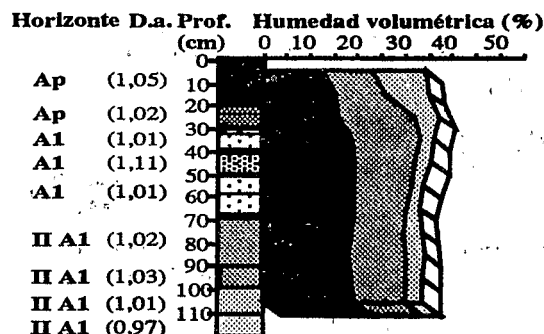
Con base en estos datos, se puede considerar que la TPM delgada y superficial de T3 y T4 corresponde a la TPM "inferior" de T2 y T4 respectivamente, ubicada a unos metros río abajo. La posición topográfica implica una erosión más activa al nivel de T3 y T5 que al nivel de los otros sitios. Sin embargo, no es imposible que haya habido desde el origen de la colada, un depósito diferente entre río abajo y río arriba de las lomas.

De tal forma que las diferencias de características hídricas de la TPM estarían relacionadas por una parte, a sus características intrínsecas y, por otra, a su posición en el perfil.

Al inicio de la época seca, el estudio de las cantidades de agua en horizontes parecidos pero ubicados en perfiles distintos, muestra que existe un drenaje interno en T4 y T5 mientras que en los perfiles T3 y T2, que son sus "homólogos", no tienen drenaje de este tipo. Esta situación se explica por la localización de los perfiles T4 y T5 en la parte que concentra el agua (parte superior de la cuenca), mientras que T2 y T3 están ubicados en la pendiente fuerte de un "interfluvio" (*interfluve*) que cubre superficies reducidas. Los escurrimientos internos podrían ocurrir sobre una superficie más grande que la definida en el cuadro de la hidrología y de las aguas de superficie.

Paradójicamente, con la frecuencia de mediciones (una vez por semana) no se pudo observar

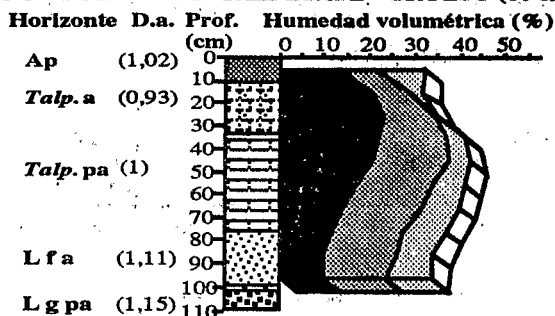
T 1 - SUELO ALUVIO-COLUVIAL SIN TALPETATE



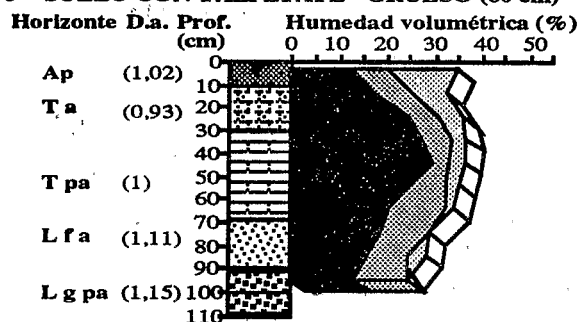
LEYENDA

- NATURALEZA DE LOS HORIZONTES**
- Ap Horizonte humífero cultivado
 - Talp Talpetate alterado
 - T pa Talpetate poco alterado
 - C g a Cenizas gruesas alteradas
 - L fa Lapilli finos alterados
 - L fpa Lapilli finos poco alterados
 - C s Cinerita soldada
 - L gpa Lapilli gruesos poco alterados
- Agua de saturación (parte)
 - RU
 - Agua no disponible

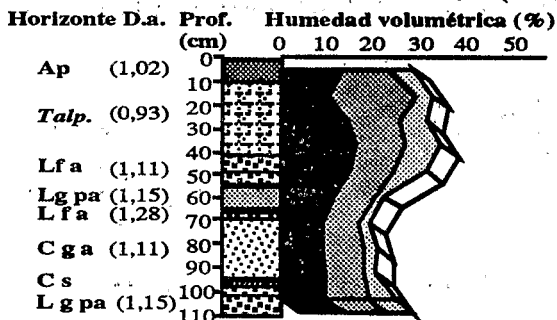
T 2 - SUELO CON TALPETATE GRUESO (60 cm)



T 5 - SUELO CON TALPETATE GRUESO (60 cm)



T 3 - SUELO CON TALPETATE DELGADO (30 cm)



T 4 - SUELO CON TALPETATE DELGADO (30 cm)

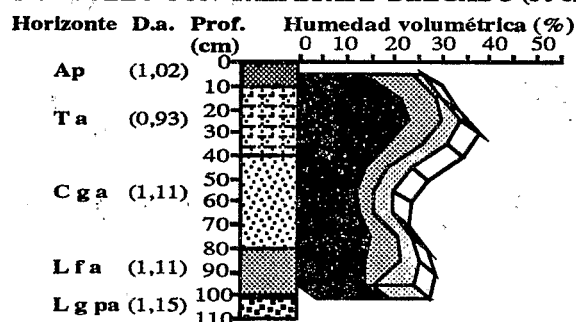


Figura 3. Lámina de agua en los puntos "característicos" en los perfiles T1 a T5 (Los Altos de Sto. Domingo).

durante la época de lluvias estos drenajes laterales. Las reservas hídricas de cada horizonte variaron de manera idéntica de un nivel al otro y de un perfil al otro.

4. Análisis de la Dinámica de Progresión del Frente de Humectación en los Suelos

El avance del frente de humedecimiento desde arriba hacia abajo fue el mismo para todos los perfiles, salvo las mediciones del 30 de mayo de 1988 en T4 y T5 (Figura 5). Aunque se nota una

penetración muy débil del frente de humectación en el perfil T4 durante las primeras lluvias, este frente llega a la misma profundidad que en los demás perfiles. T5 tiene cantidades de agua útil mucho más elevadas arriba y abajo del nivel 30-60 cm, mismo que corresponde con el nivel de la TPM masiva. Como se pudo constatar en otros perfiles abiertos después del inicio de las lluvias, el agua logra penetrar en profundidad aprovechándose de las numerosas grietas y raíces que atraviesan la TPM de un extremo al otro, sin que esta toba sea necesariamente humedecida.

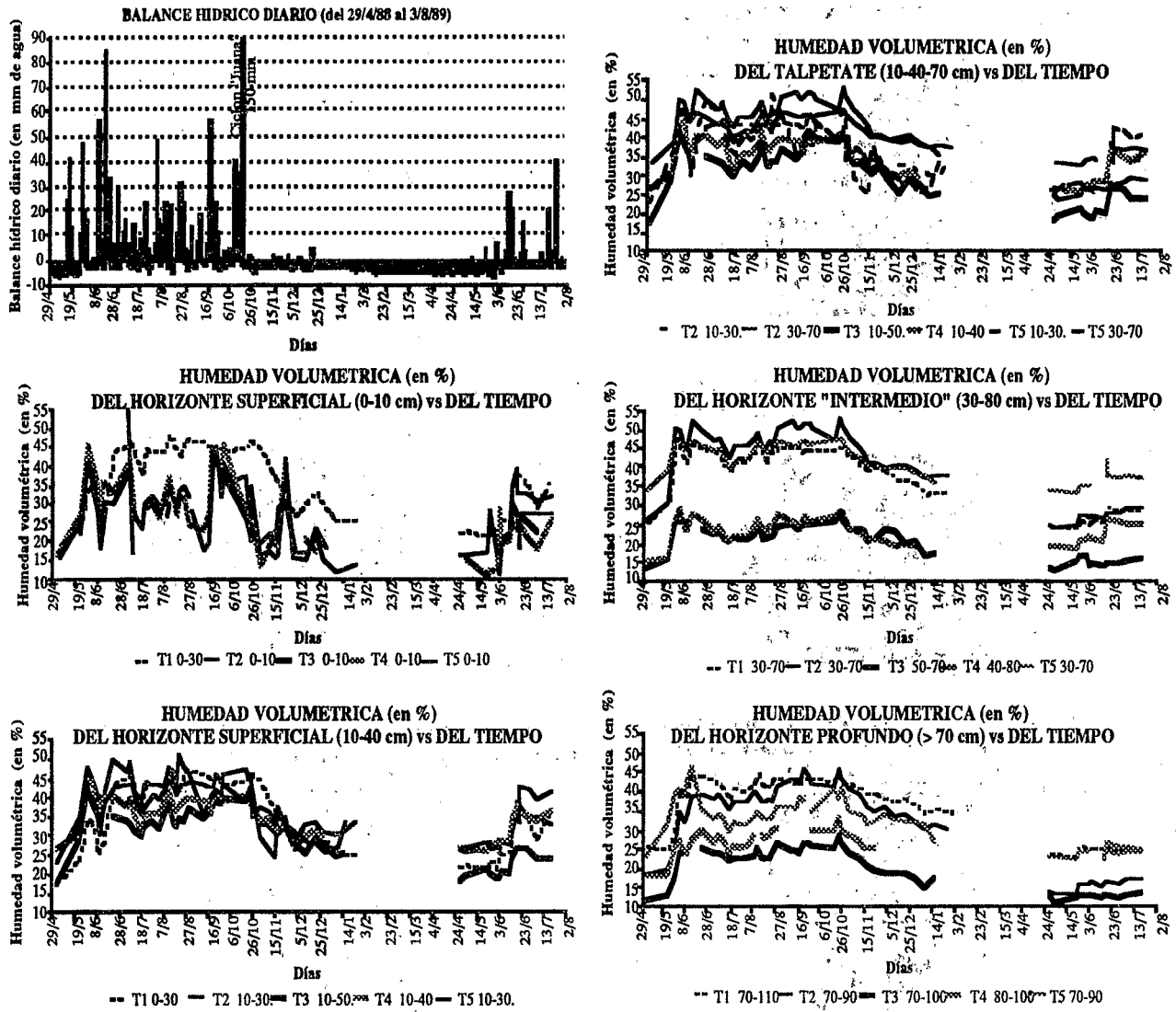


Fig. 4. Variación de humedad de los horizontes de cinco perfiles en función del tiempo y del balance hídrico diario.

En general, que la TPM sea delgada (30 cm) o gruesa (70 cm), no parece limitar la infiltración del agua en los suelos. Esta infiltración se hace de arriba hacia abajo, por lo menos en una escala de tiempo superior a la duración de una lluvia.

Conclusión

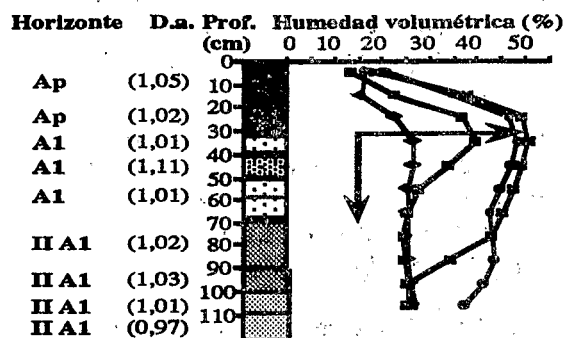
La reserva de agua de la TPM se mantiene alta durante todo el año (> 50 % del volumen del suelo) y aún durante la época seca, en forma parecida a la reserva de los horizontes limo-arcillosos del perfil aluvio-coluvial. Por eso se puede considerar que este horizonte endurecido

juega el papel de un tanque de almacenamiento durante la época seca, siendo aún más importante dicha característica por el hecho que la reserva hídrica de los horizontes arenosos ubicados debajo de la TPM, es muy débil.

Por último, la dinámica de los perfiles hídricos muestra que en nuestra escala de observación (dos veces a la semana), la TPM no parece limitar la penetración del frente de humectación, ni oponerse a escurrimientos internos en los suelos.

Sin embargo, carecemos de información para saber si, durante una lluvia fuerte, la TPM no limitaría la penetración del agua.

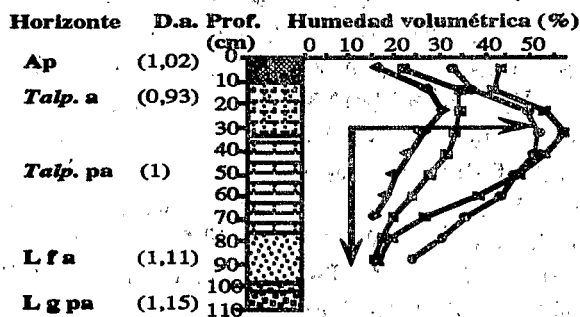
T 1 - SUELO ALUVIO-COLUVIAL SIN TALPETATE



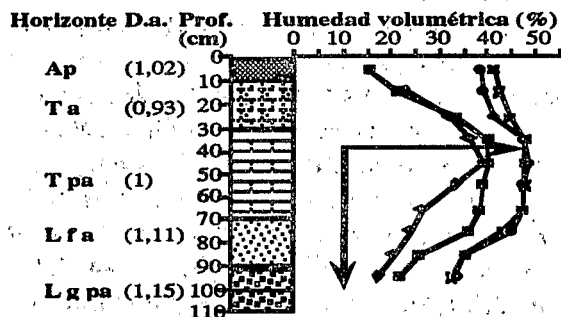
LEYENDA



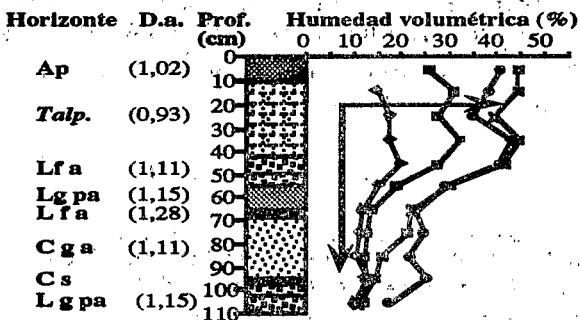
T 2 - SUELO CON TALPETATE GRUESO (60 cm)



T 5 - SUELO CON TALPETATE GRUESO (60 cm)



T 3 - SUELO CON TALPETATE DELGADO (30 cm)



T 4 - SUELO CON TALPETATE DELGADO (30 cm)

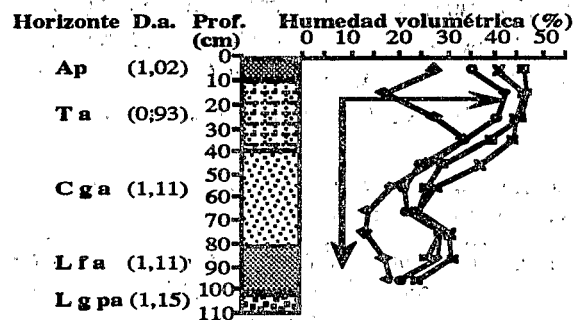


Fig. 5. Progresión del frente de humectación en los perfiles con y sin talpetates.

EL PAPEL DE LA TPM EN LA EROSION DE LOS SUELOS

El comportamiento del estado de la superficie de los suelos bajo los efectos de la lluvia, así como el papel que podría tener la TPM, son partes de los elementos explicativos de la erosión.

Siguiendo las recomendaciones de Asseline y Valentin (1978) y de Valentin (1985), se estableció el protocolo con base al tipo de lluvias que caen en la región de Managua (Cuadro 4).

Cuadro 4. Protocolo de simulación de lluvias: relación intensidad- duración -frecuencia.

Intensidad mm/h	Duración mn	Altura mm	Frecuencia
40	30	20.0	Anual
130	15	32.5	Decadal
90	15	22.5	Quinquenal
60	15	15.0	Anual
40	15	10.0	Anual
Total*	90	100.0	

* El total teórico después de las calibraciones y correcciones es el mismo que el total medido.

2. El Escurrimiento Bajo Lluvias Simuladas

Se presentan aquí algunos resultados representativos de los experimentos con el mini-infiltrómetro, donde se destaca el papel de la TPM bajo la forma de gravas o de bloques, que limita el escurrimiento superficial como cualquier tipo de elementos gruesos (Cuadro 5). En términos de erosión, los suelos compactados, cubiertos por vegetación o por TPM, pierden diez veces menos tierra al momento de las primeras precipitaciones que los mismos suelos recién arados, sin vegetación o sin TPM para protegerlos. Pero, a la escala del metro cuadrado, a medida que las precipitaciones acumuladas aumenten, las diferencias desaparecen.

3. Análisis Estadísticos del Escurrimiento en Función de la TPM

Con los datos precedentes, complementados con más experimentos efectuados por Bazin (1989), se demostró que el escurrimiento depende principalmente de tres factores: la cantidad de precipitaciones (P), el índice de las precipitaciones anteriores (IK) y el coeficiente de recubrimiento del suelo por la TPM de tamaño superior a 1 cm

La ecuación de la lámina escurrida reconstituida (Lr) es (Fig. 6):

$$Lr = 0,38 P + 0,23 IK - 0,49 \text{ Talp} - 10$$

(con $r = 0,78$, $r^2 = 61\%$)

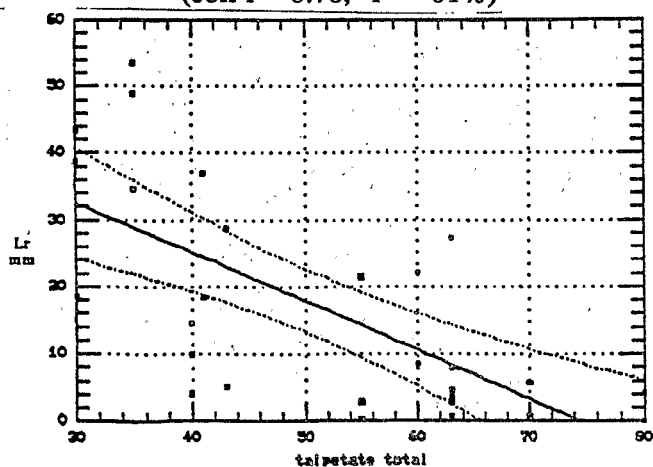


Figura 6. Regresión de Lr en función del "TPM total" excepto la lluvia 1 sobre suelo seco (Bazin, 1989).

Igualmente se puso en evidencia dos comportamientos del escurrimiento en función del porcentaje de recubrimiento del suelo por los elementos gruesos:

$$\text{TPM} > 50\% \Rightarrow Lr < 30 \text{ mm}$$

$$\text{TPM} < 50\% \Rightarrow 4 \leq Lr \leq 54 \text{ mm}$$

Al efectuar una correlación entre el porcentaje de recubrimiento de la película de batidez y de la TPM para la última lluvia, Bazin (1989) obtiene un coeficiente de correlación mayor a 0.87.

Pero, debido a la complejidad y a las evoluciones constantes de las OPS, estos datos expresan solamente una parte de los factores en juego. Sin embargo, hay que comparar el papel de la TPM con el de cualquier elemento grueso que cubre el suelo, que, al absorber la energía cinética de las gotas de lluvia protege los agregados y la porosidad ubicados en su cercanía y debajo de sí mismo. Los elementos gruesos al aumentar la rugosidad del suelo, limitan el escurrimiento y el transporte de los sedimentos. Esta protección meramente mecánica no excluye que la TPM, tenga otro papel debido a sus características texturales y estructurales, que contribuyen a darle una fuerte capacidad de retención en agua.

A la escala del metro cuadrado, se puede considerar la presencia de la TPM como un factor que favorece la infiltración del agua en los suelos y que limita la erosión.

4. Observaciones de la Erosión a la Escala de Microcuencas (1 a 2 ha)

En la medida que el infiltrómetro de aspersión permite estudiar principalmente la capacidad de despredimiento de los suelos y no la erosión como tal, se complementaron estos datos por observaciones de tipo agronómicos al nivel de la cuenca.

En estas región, se siembran cultivos para autoconsumo (maíz, frijol, arroz, una parte del sorgo) y comercial (sorgo, y sobre todo cebollas, tomates, rábanos y pimientas). Si cultivos como el frijol, el rábano y la pimienta cubren muy rápidamente el suelo, otros (maíz, arroz y tomate)

lo hacen más lentamente. Pero hay algunos, tales como la cebolla, que por su constitución y su modo de cultivo (siembra en bancos y uso de hierbicidas), cubren poco o casi nada, favoreciendo así la erosión. Desgraciadamente la cebolla es justamente un cultivo más rentable.

Los efectos de la desprotección son rápidos: erosión en ranuras, luego en cárcavas y finalmente en cárcavas, se observan desde las primeras lluvias. Estos efectos se amplifican por el número de caminos compactados entre los bancos, que al impedir la infiltración de agua, favorecen su concentración. La TPM por no tener capacidad de absorber agua a la misma velocidad que escurre, se comporta como un piso poco permeable, sobre el cuál corre aún más rápido. Donde desaparece la TPM, el agua reconcentrada y con energía debido a las pendientes, provoca una erosión lineal regresiva que forma profundas cárcavas.

Conclusión

Al nivel de una vertiente, la TPM puede limitar la erosión y el transporte de elementos. Pero, en presencia de pendientes fuertes a muy fuertes, de caminos estrechos y compactados que concentran y favorecen el escurrimiento, la TPM tiene un papel más ambiguo. En efecto, cuando el horizonte superior esta erosionado, el agua circule a la superficie de la TPM que resiste a la erosión. En estas condiciones, la TPM tiene un efecto positivo porque limita el hundimiento de la cárcava. Sin embargo, el agua agarra más fuerzas y cuando desaparece el talpetate, arrastra la tierra y genera una erosión regresiva muy intensa.

Cualquier sea el papel de la TPM, no hay que olvidar que si el desarrollo de la erosión esta relacionado a su presencia, el tipo de cultivo y los modos de cultivo inadecuados son las principales causas de esta erosión.

CONCLUSIONES

Las características hídricas de la TPM- talpetate en Nicaragua, indican que es un material muy poroso, cuando se le considera impermeable. Sin embargo, dependiendo de la escala de estudio así como de los factores observados, hay que considerar que la TPM tiene un papel complejo en la erosión de los suelos.

En cuanto al aspecto agronómico, su capacidad de retener y devolver el agua es muy positivo. En este último caso, es el único horizonte con tales propiedades en una gran parte de la área Centro-Pacífico de Nicaragua, los demás horizontes son generalmente de textura arenosa, sin capacidad para retener el agua.

Las características del medio ambiente, del uso del suelo y de ciertos sistemas de lucha anti-erosiva, explican en gran parte la erosión actual. En efecto, hay que considerar a la TPM como un factor que aumenta la erosión, pero no es el factor que la inicia.

Es solamente manejando todos los parámetros del medio ambiente y humano que se logrará controlar la erosión y utilizar de mejor maneja estos recursos agotables como son los suelos talpetatosos.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio se hizo de 1985 hasta 1991 durante el programa de investigación PICSUR (Proyecto de investigación de la cuenca sur del lago de Managua) organizado por IRENA (Instituto Nicaragüense de Recursos Naturales y del Ambiente) y ORSTOM, y de la tesis de C. PRAT (ORSTOM/Univ. PARIS 6). Este trabajo no se hubiera podido efectuar sin la valiosa colaboración de P. Quantin y de los equipos de edafólogos de IRENA, del laboratorio de edafología de la UNA (Universidad Nacional Agraria), del laboratorio de formaciones superficiales de ORSTOM de Bondy (Francia) y en particular: M. Amiot, G. Bellier, A. Bouleau, E. Braudeau, M.J. Pouget y C. Hidalgo en Francia.

LITERATURA CITADA

- AFES.** 1990. 3^{ème} proposition du Référentiel Pédologique (Avril 1990). AFES, Paris, France.
- ASSELIN, J. y C. VALENTIN.** 1978. Construction et mise au point d'un infiltromètre à aspersion. Cah. ORSTOM, sér. Pédol. 4: 321-349.
- BAZIN, F.** 1989. Analyse des lames ruisselées sur sols volcaniques du Nicaragua au moyen d'un infiltromètre à aspersion. D.A.A. Science du Sol et Bioclimat, Montpellier. 100 p.
- BOURRIE, G. y G. PEDRO.** 1980. La notion de pF, sa signification physico-chimique et ses implications pédogénétiques. I. Signification physico-chimique. Relation entre le pF et l'activité de l'eau. Science du sol, Bull. de l'AFES 4: 313-322.
- CAMBIER, P. y R. PROST.** 1981. Etude des associations argile-oxyde: organisation des constituants d'un matériau ferralitique. Agronomie 9 (1): 713-722.
- CASENAVE, A. y C. VALENTIN.** 1989. Les états de surface de la zone sahélienne. Influence sur l'infiltration. ORSTOM, Paris, France. 240 p.
- COUCHAT, P.** 1974. Mesure neutronique de l'humidité des sols. Thèse, Univ. P. Sabatier, Toulouse.
- HYPERBAV.** 1990. Structure et fonctionnement hydro-pédologique d'un petit bassin versant de savane humide. ORSTOM, Paris, France. 305 p.
- LE BISSONNAIS, Y.** 1988. Comportement d'agrégats terreux soumis à l'action de l'eau: analyse des mécanismes de désagrégation. Agronomie 10 (8): 915-924.
- POSS, R. y H. SARAGONI.** 1987. Quelques problèmes posés par l'estimation du bilan hydrique en plein champ. Bull. du G.F.H.N. 22 (2).
- POSS, R.** 1991. Transferts de l'eau et des éléments minéraux dans les terres de Barre du Togo. Conséquences agronomiques. Thèse de Doctorat, Univ. Paris VI, Paris, Francia. 335 p.
- PRAT, C.** 1989. Relation entre érosion et systèmes de production dans le bassin-versant sud du lac de Managua (Nicaragua). Cah. ORSTOM, sér. Pédol. 1-2 (25): 171-182.
- 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, Université Paris 6, Paris, France. 350 p.
- PRAT, C. y P. QUANTIN.** 1991. Origen y génesis del talpetate, horizonte endurecido de suelos volcánicos de la región Centro-Pacífico de Nicaragua. Memoria del 1^{er} Simposio Internacional sobre Suelos Volcánicos Endurecidos. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Méx.
- ROOSE, E.** 1985. Dynamique actuelle de sol ferralitiques et ferrugineux tropicaux d'Afrique Occidentale. Etude expérimentale des transferts hydrologiques et biologiques de matières sous végétations naturelles ou cultivées. Collection Travaux et Documents ORSTOM. Thèse d'Etat, Orléans, 1980, Paris, France. 569 p.
- VALENTIN, C.** 1985. Organisations pelliculaires superficielles de quelques sols de région subdésertiques (Agadez, République du Niger). Thèse. ORSTOM Paris, France. 231 p.
- VAN OORT, F.** 1984. Géométrie de l'espace poral, comportement hydrique et pédogénèse. Thèse 3^{ème} Cycle, Landbouwhogeschool (INA). Wageningen. 271 p.