

# HIDRODINAMICA EN EL SUELO DE UN PASTIZAL EN UNA ZONA ARIDA DEL NORTE DE MEXICO

Hydrodynamic Soil Characterization in an Arid Grassland Zone of Northern Mexico

Víctor M. Reyes Gómez<sup>1</sup>, Olivier Grünberger<sup>2</sup>, Jean Louis Janeau<sup>2</sup>

## RESUMEN

El presente trabajo contiene resultados sobre la caracterización hidrodinámica del suelo en un área de pastizal de interés forrajero, en zonas áridas. Las características hidrodinámicas se refieren a la evolución de la humedad dentro del suelo, en los procesos de mojado y secado, la cual se estimó mediante dos metodologías. En la primera, se siguió la evolución de la humedad en el suelo después de cada lluvia, durante el período estival, y también, posteriormente al período, en el proceso de secado. En la segunda, se aplicó una lámina constante de agua en el suelo por el método Muntz, para observar la evolución de la humedad antes y después de alcanzar la saturación aparente del suelo. En los dos casos se usó un dispersor de neutrones para medir las cantidades de agua en el suelo. Los resultados indican que estas áreas de pastizal presentan una hidrodinámica vinculada al estado superficial y estructura del suelo. El agua sólo penetró a una profundidad máxima de 80 cm, y se mantuvo almacenada y a disposición de las raíces del pasto (que alcanzan la profundidad máxima de 40 cm) durante el tiempo necesario para que este tipo de gramínea persista.

**Palabras clave:** Lluvia natural, infiltración controlada, mojado y secado del suelo.

## SUMMARY

This report presents the results of a study on hydrodynamic features of a soil used for seasonal pasture. The studied hydrodynamic characteristics are related to the development of soil humidity, during the processes of soil moistening and drying using the

<sup>1</sup> Instituto de Ecología A.C., Unidad Durango, Apartado Postal 632, 34100 Durango, Dgo.

<sup>2</sup> ORSTOM. Instituto Francés de Investigación Científica para el Desarrollo en Cooperación.

Aceptado: Mayo de 1996.

Fonds Documentaire IRD



010021415

following methods: 1) Under natural conditions, the development of humidity within the soil just after each rain was evaluated during the summer rainy season followed by measurements later on, during the drying process. 2) Under experimental conditions Muntz controlled infiltration method was applied to a constant charge of water in order to observe how humidity develops before and after the soil becomes apparently water-saturated. The two methods were conducted using the neutron probe for local measurement of the soil water content. The results indicated that these areas are subjected to a hydrodynamic process which depends on soil structure and on the characteristics of the soil surface. The water penetrated to a depth of 80 cm only, where the moisture remained stored and available for the grass.

**Index words:** Natural rains, controlled infiltration, soil moistening and drying.

## INTRODUCCION

En México, 55% de la superficie está cubierta por zonas áridas. La ganadería extensiva es una de las principales actividades que se realizan en estos lugares y representa un sustento para la economía del país. Esta actividad depende, además del agua, del recurso forraje proveniente de pastos naturales temporales en zonas áridas. Desde 1982, en la reserva de la biosfera de Mapimí se realizan estudios integrados que abarcan investigaciones enfocadas al conocimiento de los recursos suelo, agua y vegetación.

Dichos estudios incluyen temas como la edafología, la hidrología y la climatología, desde el punto de vista de la pluviometría; éstos servirán de marco para mejorar el aprovechamiento óptimo del suelo, el agua y, consecuentemente, la productividad vegetal y animal.

En estas zonas áridas, el primer factor limitativo es el agua, su comportamiento dentro del suelo (hidrodinámica) es determinante para el desarrollo de especies útiles para el ganado. Por estas razones se

planteó el objetivo de conocer la hidrodinámica del suelo en una zona de pastizal (*Hilaria mutica*), para entender los fenómenos hidrológicos: infiltración, secado y humedecimiento del suelo, y cómo influyen éstos en las comunidades de vegetación.

De los métodos para seguir procesos hidrodinámicos de mojado y secado del suelo, el dispersor de neutrones es uno de los equipos más utilizados, tanto en eventos de lluvia natural como en aplicaciones de riego y en experimentos controlados como el tipo Muntz, para conocer drenajes internos (en la agricultura, la ganadería y la ingeniería civil), consumo de agua por plantas y pérdidas del agua del suelo. En los diferentes tipos de manejo de agostaderos naturales en la ganadería extensiva, el conocer sobre como se comporta el agua de estos suelos es determinante para un mejor manejo de los recursos suelo, agua y vegetación.

## MATERIALES Y METODOS

### Area de Estudio

La zona de estudio, conocida como la reserva de la biosfera de Mapimí, está localizada dentro del desierto Chihuahuense, en el Bolsón de Mapimí. La reserva tiene un área de aproximadamente 160 000 hectáreas, con una altitud entre 1100 y 1600 m y un clima del tipo BWhw(c), denominado como muy árido (García, 1981). La vegetación es del tipo "matorral desértico micrófilo" (Flores Mata *et al.*, 1971) o tipo "matorral xerófilo" (Rzedowsky, 1981).

Las principales características físicas y climáticas de la zona de estudio son:

**Precipitaciones.** Se caracterizan por la escasez y la poca cantidad de lluvia, así como por la repartición espacial y la variabilidad en el tiempo. En el laboratorio de la reserva de Mapimí, la media es de 264.2 mm por periodo anual, aunque Delhoume (1990) demuestra un gradiente geográfico de precipitaciones que va desde 200 mm hasta 400 mm o más, en la reserva de Mapimí.

**Temperatura del aire.** La media anual es de 20.8 °C, correspondiente a un clima cálido, con una variación estacional muy fuerte: los inviernos son muy fríos (la media de las mínimas en Enero es de 3.9 °C), y las épocas de calor son muy extremosas (media de las máximas en Junio de 36.1 °C). (Cornet, 1988).

**Radiación solar.** Está ligada directamente a las horas solares y a los diferentes periodos del año. La fluctuación de la radiación solar diaria varía en el curso de todo el año: de 13:12 h en otoño a 10:48 h en invierno.

**Humedad del aire.** La humedad relativa tiene un promedio mínimo de 10 % en Marzo, y un máximo de 85 % en Agosto.

**Evaporación.** En la estación meteorológica de la reserva, mediante un tanque evaporímetro (Clase A), se demostró que la evaporación total anual es de 2805 mm, sin embargo, no debe olvidarse que en los días nublados y de poco viento, la evaporación es casi nula (el 23 de enero de 1992 sólo se evaporaron 0.18 mm), y en algunas ocasiones puede ser muy elevada (20.56 mm el 9 de julio de 1992).

**Geología.** Su geología está representada por cerros y sierras de rocas calcáreas, con desarrollo de depósitos coluviales de pie de monte (Bartolino, 1988), entre los cuales se encuentra una gran extensión de suelo de depósitos aluviales del Cuaternario y algunos afloramientos de conglomerados de origen continental Terciario y rocas ígneas cuaternarias dominadas por basalto.

**Suelos.** Los tipos de suelos se diferencian esencialmente por la naturaleza del material parental y por el proceso de deposición original de este material. Se trata fundamentalmente de depósitos aluviales y coluviales cuya repartición en el paisaje es función de la geomorfología (Delhoume, 1988).

El suelo en el paisaje varía según su ubicación; se observa que en las partes más altas (cerros) el suelo es poco evolucionado de tipo Litosol sobre roca dura, Regosol sobre coluviones pedregosos. Los suelos de pie de monte son poco evolucionados, más profundos que en los cerros y son Regosoles sobre coluviones constituidos por gravas y piedras de tamaño grueso, a diferencia de la zona de bajada donde los suelos pueden ser Yermosoles o Xerosoles háplicos sobre coluviones pedregosos de tamaño medio o sobre aluviones finos y medianos que cubren las lutitas encontradas a mediana profundidad. Dentro de la zona de bajadas donde las pendientes son menores que 1%, se localiza una zona de "depresiones", en la cual se desarrollan cubiertas vegetales de tipo monoespecífico como los pastizales, donde *Hilaria mutica* es el pasto más representativo. Aquí los suelos son Yermosoles gípsicos o calcáreos sobre aluviones arcillosos que reposan a mediana profundidad sobre lutitas (Cuadro 1). Después de la zona de depresiones, el paisaje se

Cuadr

Profu  
dida

cm

0 a

12 a

30 a

45 a

75 a

"inter

suave

suelo

const

esp

má

pend

del ti

del ti

cróm

Hidr

endor

Cerca

la rep

reser

uno d

La L

reser

suroc

Vege

espec

cobe

la z

espec

domi

Pros

(Bes

pend

del

vege

deca

biode

Mét

Prec

un p

de c

Cuadro 1. Características analíticas del suelo de la estación de trabajo.

Profundidad cm	Textura			pH agua	C	N total orgánico	C/N	CE dS/m	CaCO <sub>3</sub> %	Yeso %	CIC cmol(+)/kg
	Arcilla	Limo	Arena								
0 a 6	37.5	20.0	42.5	8.4	0.55	0.062	8.9	1.2	19.0	7.5	19.7
12 a 20	51.5	12.0	36.5	8.9	0.57	0.061	9.3	1.1	23.0	8.9	22.5
30 a 40	51.1	14.0	34.9	8.9	0.38	0.043	8.8	0.5	21.3	9.5	23.5
45 a 75	55.1	12.0	32.9	8.8	0.38	0.033	1.5	6.8	20.7	9.9	24.5
75 a 82				8.2	0.34	0.020	17.0	11.9	17.6	17.1	32.1

“interrumpe” con una zona de transición en bajada suave hasta un bajo denominado playa donde los suelos están desarrollados sobre material de aporte constituido por depósitos gravosos relativamente espesos (es una zona de conglomerados). En la zona más baja del paisaje denominada playa, cuyas pendientes son menores que 0.5%, el suelo puede ser del tipo Yermosol gipsico con fase salina o sódica, o del tipo Solonchaks órticos y, localmente, Vertisoles crómicos.

**Hidrología.** La reserva se subdivide en tres cuencas endorreicas (Henrickson, citado por Breimer, 1985). Cerca de dos terceras partes del área forman parte de la represa de la laguna Las Palomas. El noreste de la reserva drena totalmente a la laguna El Rey, la cual es uno de los lagos más salados del Bolsón de Mapimí. La Laguna Las Palomas se extiende al suroeste de la reserva y el principal río es La India, que viene del suroeste (Breimer, 1985).

**Vegetación.** La zona de estudio es un pastizal donde la especie *Hilaria mutica* representa más de 90% de la cobertura vegetal total, que a su vez constituye 40% de la zona. Este estrato herbáceo contiene algunas especies de cactáceas del género *Opuntia* y es dominado por un estrato arbustivo, poco denso, donde *Prosopis glandulosa* es la especie más frecuente (Besnard, 1989; Montaña y Breimer, 1988). La pendiente del área es suave (1%) con estado superficial del suelo representado por 23.91% de cobertura vegetal basal; 44.48% de costras (generalmente de tipo decantación); 10.78% de suelo desnudo; 7.35% de bioderma y 13.48% de mantillo.

### Métodos

**Precipitaciones.** Las precipitaciones se midieron con un pluviómetro totalizador, mediante registros después de cada evento de lluvia.

**Caracterización hidrodinámica del suelo.** En cinco sitios, ubicados dentro de una zona de pastizal (2500 m<sup>2</sup>), se siguió la evolución del agua dentro del suelo según dos modos operativos: el primero consistió en seguir los frentes de humedad dentro del suelo, antes de la temporada de lluvia, y después de cada evento pluvial, y al final del período estival con el fin de observar la evolución del proceso de mojado y secado de esos suelos con eventos naturales de lluvia. Dicha evolución se siguió con un dispersor de neutrones tipo SOLO 5 (NARDEUX 1), de manera estratificada con dos repeticiones por cada 10 cm de profundidad de suelo para cada sitio de muestreo. Los datos se procesaron con el programa “logiciel intégré pour le traitement des données d’humidimétrie neutronique” (Poss, 1987). El segundo modo operativo consistió en aplicar la técnica Muntz (Figura 1), de infiltración controlada, simplificada por Delhoume (1990), donde bajo una lámina constante de agua, el suelo se sometió a saturación aparente en función del tiempo, lo cual se logró cuando la infiltración resultó ser constante. Durante el experimento se tomó en cuenta la infiltración total dentro del suelo, es decir, la de tipo vertical, horizontal y por grietas. Al final, por el método gráfico de la dinámica de mojado y secado, se estimó la reserva hídrica. La calibración del dispersor de neutrones se realizó de forma gravimétrica. La fecha de aplicación en el primer caso fue del 14 de junio al 10 de agosto de 1988, en el proceso de mojado del suelo; y del 16 de agosto al 22 de octubre del mismo año, para el proceso de secado. Al contrario, las mediciones de infiltración controlada se realizaron de Febrero de 1990 hasta Mayo del mismo año con el fin de evitar interferencia de lluvias, y seguir los cambios de humedad en el suelo para los dos casos.

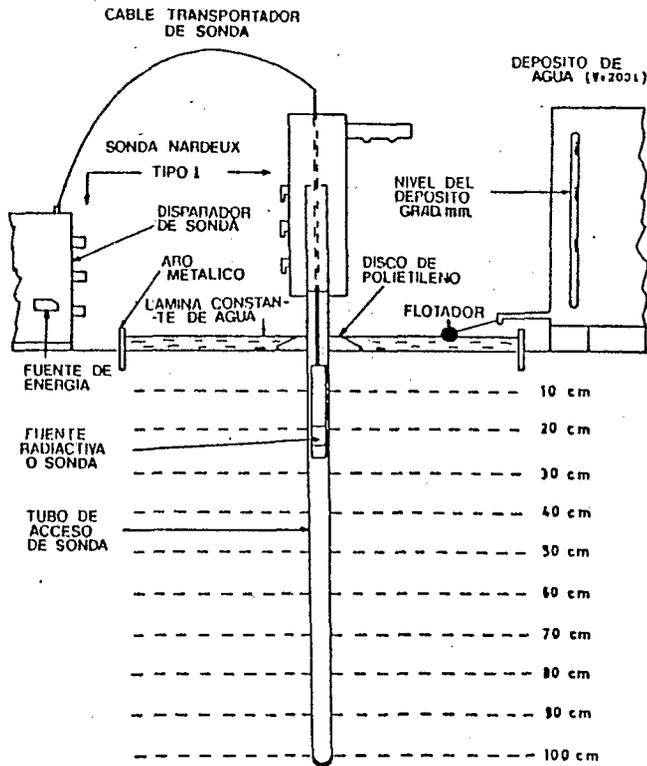


Figura 1. Diseño gráfico para estimar humedad con sonda de neutrones después de cada lluvia y durante la infiltración controlada.

### RESULTADOS Y DISCUSION

#### Precipitaciones naturales

Las lluvias ocurridas en el periodo estival muestran, que la máxima fue de 38.5 mm en Junio, con mínimas entre 1 y 2 mm. La repartición de lluvias en este periodo fue muy irregular; la primera lluvia fuerte, en la última semana de Junio fue precedida por un periodo seco hasta el 26 de julio, cuando se presentó otra lluvia de 25 mm (Figura 2). Después hubo un nuevo periodo seco para culminar en la última semana de Agosto con escasas lluvias de menos de 10 mm. La altura total registrada en la estación de trabajo fue de 135.6 mm, repartidos entre 19 eventos de lluvia desde el 14 de junio hasta el 23 de agosto.

#### Lámina de infiltración controlada

La altura de la lámina constante de agua se mantuvo entre 40 y 60 mm, y las fechas de aplicación fueron el 31 de enero y el 8 de mayo de 1990, en tiempos mínimos de 24 h y máximos de 46 horas. El volumen total infiltrado varió de 230 a 285 mm (Figura 3). El comportamiento de infiltración resultó al

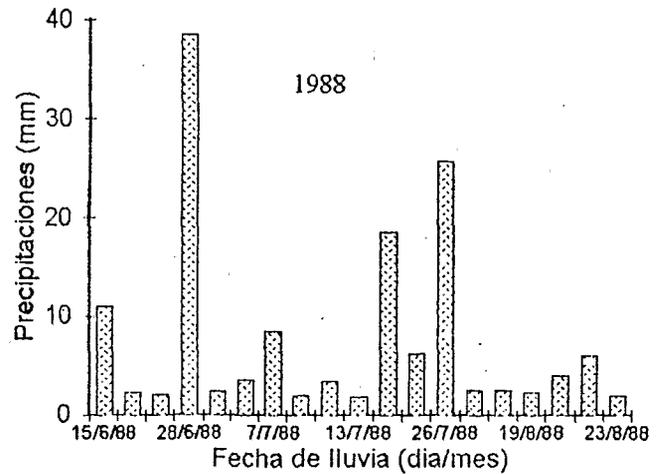


Figura 2. Ocurrencia de precipitaciones durante el periodo estival del año 1988.

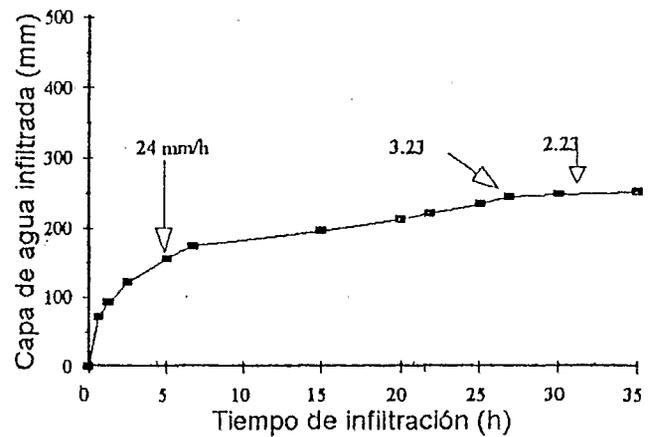


Figura 3. Espesor de la capa de agua infiltrada por la metodología Muntz (promedio de las cinco estaciones).

inicio  
6.9 h)  
(Figur  
infiltr  
mm  
infiltr  
9.6 h  
comp  
agua  
que a  
que a  
agua  
sobre  
hinch  
tipo d  
  
Hidr  
  
Proce  
cione  
contr  
hume  
agua  
agost  
infiltr  
40 cr  
medi  
suelo  
(Figur  
mayo  
profu  
de hu  
antes  
prese  
suelo  
la hu  
(por  
raice  
otro  
pene  
edaf  
lutit  
que  
otro  
agua  
se re  
de ri

inicio de una forma rápida (172 mm en un tiempo de 6.9 h) cuya velocidad de infiltración alcanzó 24 mm/h (Figura 3). Después se continuó con una fase de infiltración media, donde en 19.8 h se infiltraron 64 mm a razón de 3.23 mm/h, y finalmente una infiltración lenta que tendió a ser constante, donde en 9.6 h sólo se infiltraron 22.2 mm (2.23 mm/h). Este comportamiento demuestra que las aportaciones de agua en forma de riego no resultarían convenientes, ya que aun aplicando volúmenes mayores de agua que el que aporta la lluvia, el suelo no acepta fácilmente el agua sin el efecto del impacto de las gotas de lluvia sobre la superficie del suelo, y sobre todo por efecto de hinchamiento de la capa superficial del suelo por el tipo de arcillas presentes.

**Hidrodinámica**

**Proceso de mojado en el suelo.** Tanto en las observaciones de lluvia natural como en la infiltración controlada se comprobó que el comportamiento de la humedad sigue una evolución por etapas. Primero, el agua difícilmente penetró hasta 80 cm, ya que el 4 de agosto, fecha última después de las lluvias, sólo se infiltraron 8 mm a dicha profundidad, en tanto que a 40 cm pueden infiltrarse hasta 50 mm; se observó que mediante Muntz, ni aun en la saturación aparente del suelo, se logra algo de infiltración hasta 80 cm (Figuras 4 y 5). En los dos casos se observó que la mayor dinámica de mojado del suelo es hasta 60 cm de profundidad de suelo. Tomando en cuenta los perfiles de humedad del 31 de enero y del 8 de mayo de 1990, antes de saturar el suelo por infiltración controlada, se presenta una humedad baja y uniforme en todo el suelo. Se observó que en Junio, cuando ocurren lluvias, la humedad aumentó y se mantuvo el tiempo necesario (por lo menos hasta 40 cm donde está la zona de raíces) para que el pasto salga de su "latencia" e inicie otro ciclo. Por otra parte, se entiende que el agua no penetra a mayores profundidades porque los perfiles edafológicos revelan que a 80 cm existe un estrato de lutita endurecida e impermeable. No se puede pensar que existe un flujo interno horizontal lateral, ya que en otros años se instalaron dispositivos de captura de agua con movimiento horizontal (0 a 80 cm) y nunca se registraron muestras, excepto una vez, pero en lecho de río.

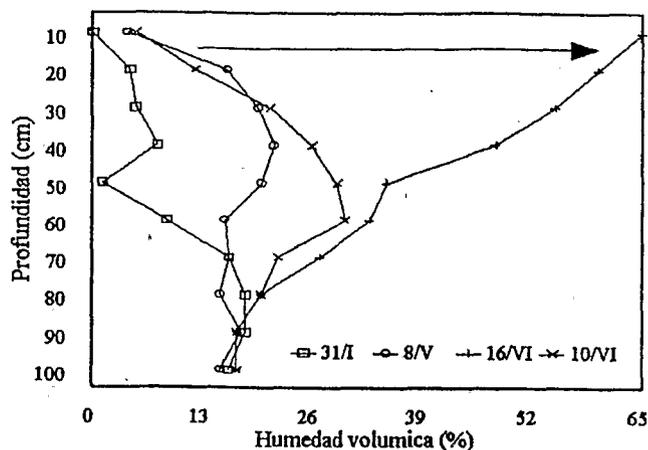


Figura 4. Proceso de mojado del suelo medido después de las lluvias, durante el período estival (Enero a Agosto de 1988).

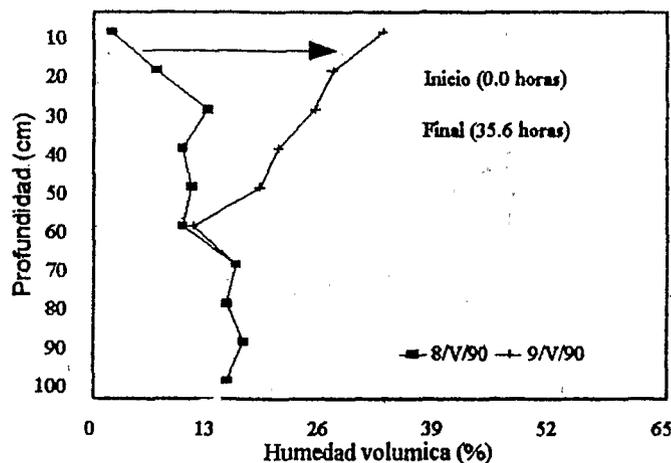


Figura 5. Proceso de mojado del suelo hasta la saturación aparente, bajo infiltración controlada (Mayo de 1990).

**Reserva hídrica del suelo.** La humedad de reserva varió en relación con la fecha de lluvias y, con base en el tiempo de aplicación de agua, de forma constante, ya que se apreció un incremento del agua total infiltrada, después de cada lluvia. La infiltración controlada siguió el mismo comportamiento (Figuras 6 y 7). Durante lluvias mayores que 20 mm, el agua total infiltrada alcanzó los picos más altos y se observaron 2 ó tres días después de la fecha de lluvia. Sin embargo, el efecto de lluvias repetidas fue más favorable para el suelo y se pudo ver que se almacenó más agua cuando del 21 al 26 de junio llovió tres veces y con menos de 20 mm cada lluvia. En la infiltración controlada, como

agua se aplicó en 1990, en 1985. El resultado al

23/8/88

período

35

or la

es un proceso ininterrumpido, el agua es aceptada por el suelo siempre de forma ascendente pues no se aplica de forma natural.

El almacenamiento máximo de agua después de las lluvias muestra que el pasto *Hilaria mutica* despertará de su letargo cuando la humedad del suelo (en los primeros 40 cm) es mayor que 100 mm, ya que en ambos casos la respuesta del pasto se presentó con esa humedad, aunque sería más importante conocer el potencial hídrico del suelo en el momento en que la planta reinicie su actividad fisiológica. Se observó que la lámina infiltrada hasta 80 cm de profundidad del suelo, fue mayor que la cantidad total de lluvia (llovieron 136.5 mm y se almacenaron 189.1 mm). El

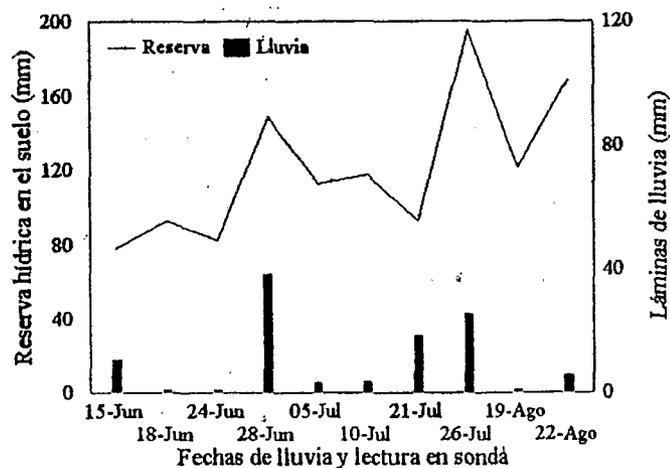


Figura 6. Variación de la reserva hídrica dentro del suelo durante el período estival del año 1988.

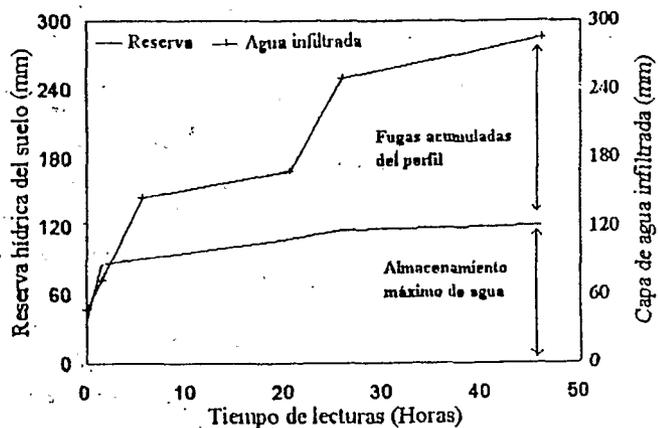


Figura 7. Variación de la reserva hídrica dentro del suelo durante la infiltración controlada (Mayo a Junio de 1990).

agua de escurrimiento proveniente de la pendiente arriba se acumuló a las precipitaciones, y originó condiciones propicias para el crecimiento de la gramínea.

Según los resultados de infiltración controlada, se ve el efecto de la dinámica de las gotas de lluvia sobre el estado superficial del suelo (Figura 7), ya que sin reorganización de las partículas de la costra superficial, el agua infiltrada fue menor (Casenave y Valentin, 1989). Debido a la presencia de arcillas como la montmorillonita, que al humedecerse se expanden y provocan una permeabilidad muy baja del suelo, como puede verse en la gráfica de la Figura 6, donde después de 24 a 46 h de aplicación de agua, no hay gran cantidad de agua almacenada en comparación con la totalidad infiltrada, ya que no supera a 130 mm de los 280 mm infiltrados, indicando con esto último que el sistema cuenta con fugas laterales que se pueden confundir con un verdadero flujo horizontal.

**Proceso de secado del suelo.** En el secado del suelo se apreció que los perfiles de humedad evolucionaron de tal manera que pudieron llegar al estado inicial seco. Sin embargo, se observa que en los primeros 20 cm de suelo, el agua puede perderse en 35 días, en tanto que en los siguientes centímetros de suelo el agua permanece hasta que lleguen las ligeras lluvias de invierno a recargar el "almacén" de agua (en profundidades de 50 a 80 cm). La humedad del suelo puede durar hasta el siguiente período de lluvias así como lo comprobaron las mediciones de humedad por lluvias. Por ejemplo, se observa que desde el 16 de agosto hasta el 22 de octubre, la pérdida de agua fue menos de la que se infiltró en todo el período de lluvia (Figura 8). Asimismo, el método de manera controlada mostró una hidrodinámica de secado parecida a aquella por lluvias en los primeros 20 cm, sin embargo, entre 40 y 60 cm se observó que la humedad aumenta ligeramente. Esto se debió al efecto de drenaje vertical interno del agua a profundidades mayores que 40 cm, ya que en un tiempo de 35 días, el agua evapotranspirada sólo fue a profundidades arriba de 40 cm (Figura 9). Para el secado, en los dos casos se aprecia que la hidrodinámica más importante queda limitada a 60 cm de profundidad, igual que en el proceso de mojado. Cuando el período de sequía se prolongue por dos o tres años, es decir, cuando el promedio anual sea menor que 190 mm, repartidos en lluvias con láminas menores que 35 mm, es seguro que algunas zonas de pastizal no logren perdurar. En el primer año de

10  
20  
30  
40  
50  
60  
70  
80  
90  
100

Figura  
rada de

10  
20  
30  
40  
50  
60  
70  
80  
90  
100

Figura  
ción d

sequía  
lluvia  
al m  
demo.  
que l  
prese  
aport  
denor  
sentid  
perío  
de a  
estru

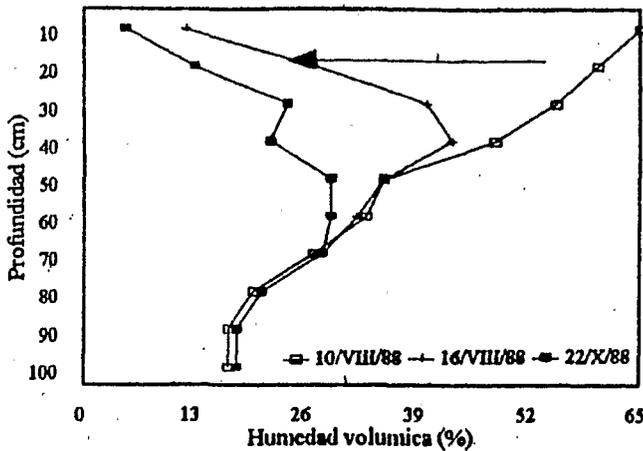


Figura 8. Proceso de secado del suelo después de la temporada de lluvias (Agosto a Octubre de 1988).

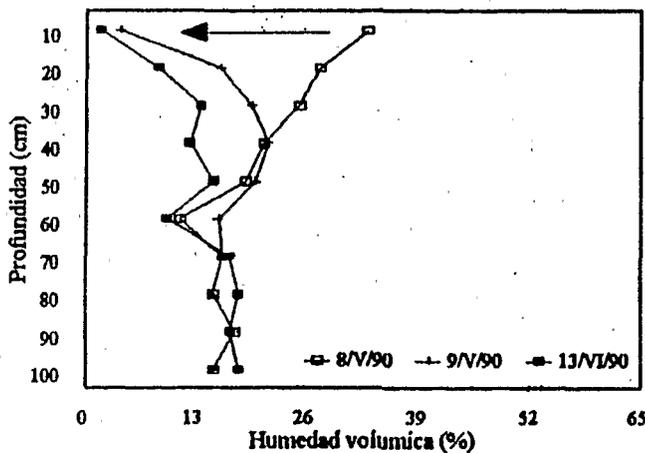


Figura 9. Proceso de secado del suelo después de la aplicación de agua en forma controlada (Mayo a Junio de 1990).

sequía, los tallos permanecen inactivos, hasta que las lluvias aparecen de nuevo. Esta adaptación de especies al medio árido varía en comportamiento como lo demostraron Cornet *et al.* (1988), quienes encontraron que las zonas de vegetación homogénea, como la del presente estudio, se ven desfavorecidas por el bajo aporte de agua. Existen otras áreas, como las denominadas "mogotes", que se han establecido en sentido perpendicular a la pendiente, ya que en periodos de sequía logran captar una mayor cantidad de agua de lluvia y escurrimiento; debido a su estructura vegetal y a su disposición en el paisaje

realizan la función de trampeadora de agua. Besnard (1989) observó que *Sporobolus airoides*, otra especie de pasto más consumida por el ganado, agota el agua rápidamente, pero *Hilaria mutica* sale de su letargo más tarde que la primera, aunque el contenido de agua fuese el mismo. Algunas zonas sin vegetación presentan un proceso de mojado y secado, muy rápido y uniforme a profundidades arriba de 100 cm, así como se comprobó en el presente estudio que en 35 días puede llegar a su estado inicial seco a lo largo del perfil analizado (150 cm). Sin embargo, en el sitio donde se experimentó, se encontró que el suelo no presentaba la capa de lutita endurecida a 80 cm como en el área de pastizal, incluso a los 2 m sólo existen dos capas de arenisca compactada que obstruyen ligeramente la infiltración, pero la evaporación se presentó muy precipitada en todo el perfil.

## CONCLUSIONES

En general, la caracterización hidrodinámica de estos suelos permite entender la adaptación del pasto sabaneta (*Hilaria mutica*), en regiones tan áridas como el Bolsón de Mapimí. El proceso de mojado de estos suelos está condicionado al número de lluvias mayores que 20 mm (y a intensidades mayores que 10 mm/h) que ocurran durante el periodo estival. El agua almacenada por estos suelos supera la precipitación por estación debido a que se ubican en una zona del paisaje donde el escurrimiento (proveniente de la pendiente arriba) se logra detener en estos sitios, cuyas pendientes son menores que 1%. El pastizal actúa como trampa de escurrimiento superficial, así como actúan las formaciones de vegetación tipo mogote, que debido a su estructura de especies (arbustiva-herbácea) y su ubicación plano-perpendicular con la pendiente, aprovecha una mayor cantidad de agua, tanto por la captación foliar de los arbustos, como por la distribución más amplia y profunda de las raíces. La profundidad, el tipo de suelo y el mantillo depositado sobre la superficie del suelo favorecen la infiltración y reducen la evaporación.

El proceso de humedecimiento y secado del suelo en zonas sin vegetación, que circundan a los pastizales, varía en periodos cortos y a profundidades del suelo (0 a 200 cm) que no permiten el establecimiento de vegetación.

Debido a que los suelos en este pastizal son poco profundos y de gran contenido de arcillas, el agua sólo

penetra hasta 80 cm, ya que a esa profundidad, una capa de suelo compactado de lutita impide la penetración del agua. Si el agua de escurrimiento y de la lluvia son suficientes para que el suelo se moje, se logra almacenar este líquido en los estratos inferiores del suelo (40 a 80 cm). En los períodos cortos de lluvia, el agua de estos estratos es transportada hasta los niveles superiores donde las raíces del pasto pueden aprovecharla y completar de nuevo su ciclo. Sin embargo, cuando la sequía se prolonga y si existe sobrepastoreo, la planta puede morir.

Además de conocer la función de trampa del pasto *Hilaria mutica* para captación de agua, y su utilización como forraje en la ganadería extensiva, bajo la influencia de la variación climática y edafológica, se requiere complementar este tipo de estudios con el conocimiento del potencial hídrico de los suelos y relacionarlo con el potencial base de la planta. Así mismo, se deben realizar pruebas de germinación de semillas en campo, sometidas a varios potenciales hídricos de suelo y algunos procesos naturales de lluvia, así como la ruptura de costras superficiales de suelo con el fin de favorecer el establecimiento de nuevas áreas con este tipo de cobertura herbácea.

### LITERATURA CITADA

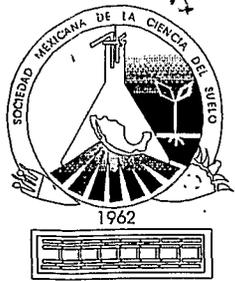
- Bartolino, J.R. 1988. Cenozoic geology of the eastern half of the La Flor Quadrangle, Durango and Chihuahua, México. *In*: Estudio integrado de los recursos vegetación, suelo y agua, en la Reserva de la Biosfera de Mapimí. C. Montaña (ed.). I. Ambiente natural y humano. MAB, Instituto de Ecología, México.
- Besnard, G. 1989. Fisiología de dos gramíneas perennes de la zona árida del norte de México. Informe interno del Instituto de Ecología y el ORSTOM.
- Breimer, R.F. 1985. Soil and Landscape Survey of the Mapimí Biosphere Reserve. Durango, México. UNESCO-MAB. Instituto de Ecología, México.
- Casenave, A. y C. Valentin. 1989. Les états de surface de la zone Sahélienne (Africa). Influence sur l'infiltración. ORSTOM, Francia.
- Cornet, A. 1988. Principales caractéristiques climatiques de la réserve de Mapimí. *In*: Estudio integrado de los recursos vegetación, suelo y agua, en la Reserva de la Biosfera de Mapimí. C. Montaña (ed.). I. Ambiente natural y humano. Durango, México. MAB, Instituto de Ecología, México, D.F.
- Cornet, A.F., J.P. Delhoume y C. Montaña. 1988. Dynamics of striped vegetation patterns and water balance in the Chihuahuan desert. *In*: Diversity and Pattern in Plant Communities. Ed. During, H.J., M.J.A. Werger y J.H. Willems. SPB Academic Publishing. The Hague. The Netherlands. pp. 221-231.
- Delhoume, J.P. 1988. Distribution spatiale des sols le long d'une toposéquence représentative. Estudio integrado de los recursos vegetación, suelo y agua, en la Reserva de la Biosfera de Mapimí. C. Montaña (ed.). I. Ambiente natural y humano. Instituto de Ecología, México, D.F.
- Delhoume, J.P. 1990. Una zona árida del norte de México: limitaciones para el desarrollo de la ganadería extensiva. *Trace* 19: 59-65.
- Flores M., G., F. Jiménez López, F. Moncayo R. y F. Takaki Takaki. 1971. Memoria del Mapa de tipos de vegetación de la República Mexicana. SARH. México, D.F.
- García, E. 1981. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. 3a edición. México, D.F.
- Montaña, C. y R.F. Breimer. 1988. Major Vegetation and Environment Units. Estudio integrado de los recursos vegetación, suelo y agua, en la Reserva de la Biosfera de Mapimí. I. Ambiente natural y humano. C. Montaña (ed.). Instituto de Ecología, Xalapa, Ver., México.
- Poss, R. 1987. Logiciel intégré pour le traitement des données d'humidimétrie neutronique, Bhyson 1.2. ORSTOM, París, Francia.
- Rzedowsky, J. 1981. Vegetación de México. Limusa. México, D.F. pp. 432.

NIVEL  
D  
Conta

El R  
abastece  
humanos  
lucan, l  
recorrido  
municipi  
Texmelu  
de alma  
Independ  
agrícola  
Sus agu  
(1994) p  
la clase  
del Va  
Sánchez  
únicame  
salinida  
del agu  
otros p  
Nielsen  
fluctúa  
municipi  
Res  
valores  
339 pp  
como  
ECOL  
riores  
del Me  
de gra  
La  
menció  
y quí  
máxim  
0.75 p

Institu  
D.F.

Accepta



Organo Científico  
de la Sociedad Mexicana  
de la Ciencia del Suelo A.C.

ISSN 0187-5779

# TERRA

Volumen 14

Abril - Junio de 1996

Número 2

## DIVISION I

Hidrodinámica en el suelo de un pastizal en una zona árida del norte de México

VICTOR M. REYES GOMEZ  
OLIVER GRÜNBERGER  
JEAN LOUIS JANEAU

129

Niveles de contaminación de las aguas del río Atoyac, Estado de Puebla, por metales pesados, boro, grasas y aceites

TEODORO MENDEZ GARCIA  
LUCIA RODRIGUEZ DOMINGUEZ  
SERGIO PALACIOS MAYORGA

137

## DIVISION II

Efecto de largo plazo de la aplicación de estiércol de ganado lechero sobre el rendimiento de forrajes y las propiedades del suelo en una región árida irrigada del norte de México

J. Z. CASTELLANOS  
J. J. MARQUES-ORTIZ  
J.D. ETCHEVERS  
A. AGUILAR SANTELISES  
J.R. SALINAS

151

Interacciones entre plantas y microorganismos benéficos. I. *Azospirillum*

YOAV BASHAN  
GINA HOLGUIN  
RONALD FERRERA-CERRATO

159

1000