

EL FENOMENO DE SUFUSION EN AREAS ERODADAS DE LA DEPRESION DE QUIBOR *

RAFAEL RICARDO GASPERI - MAGO **

SUMMARY

The incidence of piping phenomenon or underground erosion in Quibor Depression, depends upon the occurrence of water excess which accumulates at certain land spots, adjacent to gully eroded zones, during a long enough time period as to permit the aggregate desintegration and the movement of these dispersed sediments toward natural drains (gullies), of which depth, (local base level), is going to depend the maximum depth of piping tunnels. This water excess principally comes from the high runoff rate derived from the high intensity rainfall and low infiltration rates of soils. In the same way, excess of irrigation water that drains toward gullies and water transport in unlined channels located near gullies, promote favorable conditions to develop this process.

Quibor soils have high textural uniformity, where silt predominates, have low proportion of organic matter and low biological activity, result in low water stability aggregates. All of these, in conjunction with high sodium content observed, permit to infer high risk of erosion.

On the basis of these results, we could establish that soils adjacent to gullies with SAR (Sodium Absorption Ratio) and ESP (Exchangeable Sodium Percentage) equal or higher than 10%, low plastic limit and low plasticity rank, have a high potential to be eroded as piping phenomenon.

RESUMEN

La incidencia del fenómeno de sufusión o erosión subterránea en la Depresión de Quíbor, está supeditado a la ocurrencia de un exceso de agua que se acumula y deposita en ciertos puntos del terreno, adyacentes a zonas afectadas por cárcavas, durante un período de tiempo lo suficientemente

* Trabajo presentado en el V Congreso Venezolano de la Ciencia del Suelo. Barquisimeto 5 al 10, Noviembre 1978.

** Profesor Asociado Dept. de Suelos. Escuela de Agronomía. Universidad Centro Occidental Lisandro Alvarado.

largo para permitir que se produzca la desintegración de los agregados y el movimiento de estos sedimentos dispersos hacia los drenes naturales del área (cárcavas), de cuya profundidad (nivel de base local) va a depender la máxima profundidad de los túneles de sufusión. Este exceso de agua proviene fundamentalmente del relativamente alto escurrimiento superficial derivado de las intensas lluvias que ocurren y la baja capacidad de infiltración de los suelos. Asimismo, el exceso de agua de riego que se drena hacia las cárcavas y el agua de riego conducida en canales de tierra no revestidos "bucos", trazados próximos a las cárcavas, crean el ambiente favorable para el funcionamiento de este proceso.

Estos suelos se caracterizan por presentar una alta uniformidad granulométrica, donde predomina el contenido de limo, baja proporción de materia orgánica y poca actividad biológica, lo cual redundando en una baja estabilidad de agregados al agua. Esto unido a los altos contenidos de sodio observados, permite inferir el alto riesgo a erodarse que presentan.

En base a los resultados obtenidos, se puede establecer que suelos próximos a cárcavas que presenten valores de RAS y PSI iguales o superiores al 10%, con bajo límite plástico y con un rango de plasticidad pequeño, presentan un alto potencial a sufusionarse o erodarse en forma de túneles.

INTRODUCCION

Se describe el fenómeno de sufusión, como un movimiento en masa, donde se produce el arrastre de partículas de suelo hacia los puntos más bajos, nivel de base local, debido al escurrimiento subsuperficial, generando espacios vacíos en el terreno, lo cual conduce a la formación de túneles de sufusión, que a medida que evolucionan se ensanchan hasta que se produce el desplome del material suprayacente, contribuyendo al dinámico crecimiento de las zonas erodadas en la Depresión de Quíbor. Ello se manifiesta por las ramificaciones laterales que se observan en las cárcavas y por la formación de huecos circulares-ovales en las áreas adyacentes a las mismas. Se distinguen los estadios más importantes en el desarrollo de este proceso y se consideran algunos aspectos íntimamente relacionados con su origen y funcionamiento.

La ocurrencia de este fenómeno en la generalidad de los casos ha estado asociada a regiones de climas húmedos, no obstante, en las zonas semiáridas bajo ciertas circunstancias pueden darse las condiciones para que durante un tiempo determinado se produzcan acumulaciones de agua que permitan el arrastre de las partículas más finas. Finalmente, se discuten algunas propiedades del suelo que pueden ser útiles en la caracterización del factor suelo y su susceptibilidad a sufusionarse.

REVISION DE LITERATURA

En Venezuela el fenómeno de sufusión fue observado por primera vez por ZINCK y STAGNO (11) en suelos de los Llanos Occidentales; ZINCK y URRIOLO (13) lo describen en la mesa de Guanipa; PETERS et al (7) estudian dicho fenómeno en el área del Sur del Lago de Maracaibo.

Todas estas zonas tienen en común que sus valores de precipitación sobrepasan los 1.200 mm. SHERARD et al (8), evalúan la incidencia de este fenómeno en los diques de contención construidos en las márgenes del río Zulia. El mismo autor y colaboradores (9) discuten exhaustivamente la erosión por túneles en represas de tierra. Una característica común de las investigaciones antes mencionadas es que la ocurrencia del fenómeno está asociada a condiciones de altas precipitaciones y o acumulación de agua. ZINCK y SUARES (12) mencionan la incidencia del mismo en las zonas semiáridas; finalmente, GASPERI-MAGO (3), en forma breve describe la ocurrencia de este fenómeno en áreas erodadas en condiciones de clima semiárido (Depresión de Quíbor) donde la precipitación promedio es de 500 mm/año.

PETERS et al (7) caracterizan y denominan el proceso de sufusión como fenómeno "hueco", indicando que en el área estudiada, los suelos se caracterizan por tener texturas franco-arcillo-arenosa a franco-arcillo-limosa, señalando la consistente presencia de un estrato grueso a cierta profundidad, el cual facilita la entrada del suelo licuado y su respectivo movimiento lateral, destacando que las propiedades químicas más resaltantes son pH ácidos (4,3 - 4,8), 2-3 m.e. de aluminio intercambiable, baja capacidad de intercambio catiónico (4-6.5 m.e./100 gr.), baja saturación de bases (10-20%); apoyados en esta baja capacidad de intercambio catiónico sugieren que el tipo de arcilla predominante es caolinita, a la cual atribuyen la poca estructuración y baja cohesión del material. Dichos autores observan que la fase inicial del proceso puede ser ocasionada por el hoyo dejado por un árbol al caerse. Al hacer la caracterización del fenómeno mencionan que los huecos formados tienen un diámetro de 1-2 m y una profundidad de 0,5 a 1 m.

ZINCK y URRIOLO (13) describen la ocurrencia del fenómeno como una red de depresiones, con diámetros que fluctúan entre 50 y 500 m (promedio 100-200 m) cuyas profundidades máximas y mínimas son de 7-8 m y 1-3 m respectivamente; señalando que las formas de las mismas son circulares; mencionan que las clases texturales más favorables para la incidencia del proceso son areno-francosa, franco-arenosa y franco-arcillo-arenosa, las cuales son altamente filtrantes, siendo requerida la presencia de un substrato relativamente impermeable que condiciona el resurgimiento lateral del agua infiltrada.

GOOSEN (4) observa el fenómeno de escarseo en los Llanos Orientales de Colombia y atribuye su ocurrencia a la inestabilidad física de los suelos, lo cual promueve o facilita la licuefacción y flujo del material, procesos ambos que están involucrados en el fenómeno de sufusión; el suelo afectado por el escarseo (Serie Guanapalo) se caracteriza por tener baja capacidad de intercambio catiónico, una gran uniformidad granulométrica, lo cual disminuye la fricción entre las partículas, donde predomina la fracción limosa (mayor del 60%), indicando que el tipo de arcilla dominante es la caolinita que representa el 75% de la fracción arcillosa; observando muy bajos contenidos de óxidos de hierro libre, por lo cual descarta el efecto agregante de este material.

SHERARD et al (8) mencionan la existencia de arcillas altamente erodables que son comparables con la poca cohesivas fracciones de limo y arena fina, denominando a este tipo de fracción "arcillas dispersivas". Indicando que en la presencia de agua, ellas se erodan debido fundamentalmente al proceso de dispersión, que es ocasionado por los relativamente altos contenidos de sodio y establece que arcillas con valores de porcentaje de sodio intercambiable de 7-10% y 15% ó más, son moderadamente y altamente dispersivas, respectivamente.

GOOSEN (5) discute y diferencia el fenómeno de sufusión en 2 tipos: sufusión "planar" donde toda una capa de suelo remueve y "sufusión linear" donde el proceso se concentra en ciertas líneas de debilidad del subsuelo, cuya resultante es la formación de túneles, razón por la cual ha sido denominado erosión por túnel o erosión subterránea. La sufusión que ocurre en Quíbor se corresponde a la descrita por GOOSEN (5) como sufusión linear.

La palabra sufusión proviene del Latín "Suffusio", que es la percolación de una solución extravasada a través de un ambiente filtrante ZINCK y URRIOLA, (13); este término se corresponde a la palabra sufusión señalada por ZINCK y SUAREZ (12) y definido en el glosario editado por COPLANARH (2) como "un proceso de arrastre de material a poca profundidad por efecto del escurrimiento hipodérmico (o subsuperficial). Dicho arrastre puede originar vacíos en el terreno y consecuentemente en hundimiento del material suprayacente; SHERARD et. al. (8 y 9) utilizan el término "piping" para denominar el proceso de erosión subterránea observado en algunos suelos agrícolas, en represas de tierra y/o en diques de contención construidos en las márgenes de algunos ríos.

MATERIALES Y METODOS

El suelo utilizado a la unidad número 20 descrita por ZINCK y SUAREZ (12), el cual ha sido clasificado por MALAGON (6) como Antropico cambortid, arcilloso fino, íltico, isohipertérmico.

Dicha unidad ocupa la posición geomorfológica de cubeta de decanta-

ción. Es un suelo profundo, de permeabilidad lenta a muy lenta, la temperatura y precipitación promedio anual es de 25, 1°C y 456,3 mm. respectivamente, pendiente de 0- 1%, ligeramente cóncava; textura arcillo-limosa; estructura blocosa a blocosa subangular; fuerte, adhesiva y plástica; pH ligeramente alcalino a moderadamente alcalino; información más detallada respecto a la génesis y procesos de formación de suelo se puede obtener en el estudio de MALAGON (6).

A fin de analizar la naturaleza y origen del fenómeno en la unidad de suelo en consideración, se seleccionaron 3 áreas disectadas por cárcavas de diferentes profundidades. En cada una de estas zonas erosionadas fueron localizados diferentes túneles de sufusión y en el perfil correspondiente a la pared de cada túnel se hizo la separación de los diferentes horizontes y se recolectaron las respectivas muestras cuyas propiedades físico-mecánicas y químicas fueron analizados en Edafofinca; dichos resultados se incluyen en los cuadros 1 y 2, respectivamente.

La máxima profundidad en los sitios muestreados se corresponde con las profundidades de las respectivas cárcavas que actúan como nivel de base local: 0,80 m , 1,10 m y 2,00 m.

Previamente al muestreo de suelos se hizo un recorrido por la periferia y las áreas adyacentes a las diferentes cárcavas, observándose los diferentes estadios del fenómeno diagramado en la figura B.

Finalmente, con el objeto de evaluar el efecto del tamaño de los orificios de acumulación de agua, se abrieron huecos de diferente diámetro e igual profundidad; los diámetros utilizados fueron 4 y 7 cm , se midió periódicamente el crecimiento de los mismos en un lapso de 4 meses (ver Cuadro 3). Dichos orificios fueron localizados en pequeñas depresiones del terreno próximo a las zonas sufusionadas.

RESULTADOS Y DISCUSION

Clima:

En la revisión de la literatura se señaló que este fenómeno está asociado a condiciones de alta precipitación y/o excesos de agua; no obstante se observa una alta incidencia del mismo en la Depresión de Quíbor, donde la precipitación es alrededor de los 500 mm. anuales; ello no contradice los resultados obtenidos por otros investigadores, puesto que en esta zona las lluvias son pocas pero muy intensas, lo cual aunado a la baja capacidad de infiltración de estos suelos BLAVIA y FLORIDO,(1) promovido básicamente por la presencia de una costra superficial que limita la entrada de agua; ello genera que una buena proporción del agua de lluvia escurra sobre la superficie y se acumule en pequeñas áreas de topografía cóncava adyacente a las zonas erodadas.

Esta condición es también producida por el exceso de agua que circula en los canales de riego no revestidos que corren próximos a las cárcavas, en los cuales se forman grietas superficiales que facilitan la entrada de agua, lo mismo puede decirse del exceso de agua de riego que se drena hacia las cárcavas que actúan como drenajes naturales, de esta forma se produce la acumulación del agua necesaria que facilita el funcionamiento del proceso.

Nivel de base local:

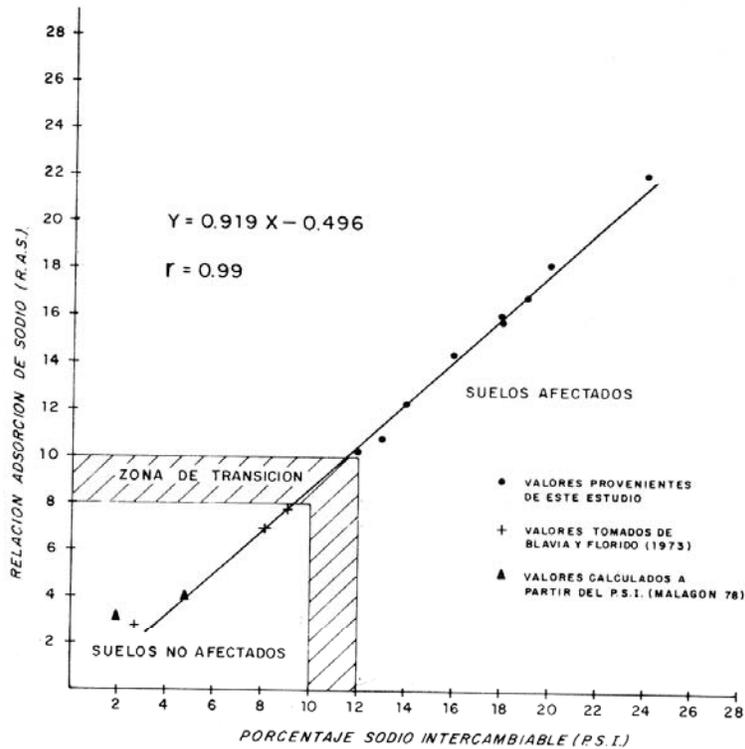
En la evaluación del proceso erosivo en la Depresión de Quíbor se discutió brevemente la importancia del nivel de base de carácter local que representan los lechos de las cárcavas, los cuales son los puntos del terreno de posición relativa más baja; hacia estos lugares se mueve el agua de escorrentía y logra acumularse en las pequeñas concavidades adyacentes a las cárcavas; luego tiende a penetrar verticalmente a través de una superficie de debilidad del terreno y después de un cierto tiempo drena lateralmente hacia el fondo de la cárcava que es el punto más bajo del terreno; la profundidad del nivel de base, así se encontraron túneles de sufusión con profundidades de 0,8 m 1, 10 m 2,0 m correspondientes a respectivos niveles de base.

Suelo:

Si comparamos las propiedades físico-mecánicas y químicas de este suelo bajo condiciones de afectado por sufusión y no afectado, (ver Cuadros 1, 2, 3 y 4) se puede observar que la composición granulométrica es bastante parecida, donde la fracción limosa representa alrededor del 40%; los límites plástico, líquido e índice del plasticidad presentan valores similares; lo mismo ocurre con las propiedades químicas, donde los valores de pH, CIC. y % saturación de bases guardan cierta similitud, pero si observamos los contenidos de sodio, porcentaje de sodio intercambiable (PSI) y consideramos la relación de absorción de sodios (RAS) puede verse que existe una línea de transición que permite establecer un límite o umbral para diferenciar los suelos afectados por erosión subterránea y los no afectados; tentativamente se puede indicar que este límite está alrededor de 10 para el RAS y 12% para el PSI (gráfico 1).

Es de notarse que los valores de RAS y PSI son mayores en los suelos afectados que en los no afectados, lo cual indica que hay un estrecho vínculo entre el contenido de sodio y la susceptibilidad o potencial de erosión por túneles. La dominancia del ión sodio en el complejo de intercambio está ejerciendo su efecto dispersante en el suelo, lo cual aunado a la baja estabilidad de agregados asociados a los bajos contenidos de materia orgánica y gran homogeneidad granulométrica dominante en esta misma unidad, acentúa la susceptibilidad de este suelo para erosionarse en forma de túneles.

GRAFICO 1. Valores de R.A.S. y P.S.I. en suelos afectados y no afectados por sufusión.



En lo referente a tipo de arcilla dominante y el fenómeno estudiado, GOOSEN (4) obtiene resultados de altos contenidos de caolinita en suelos de baja estabilidad física; PETERS et. al (7) señalan que la arcilla predominante en suelos afectados por el fenómeno "hueco" es la caolinita, SHERARD (8) indica que suelos con dominancia de montmorillonita en la fracción arcillosa y con alto porcentaje de sodio intercambiable, son altamente "dispersables" y con un elevado potencial de sufusionarse y destaca que en suelos susceptibles a erosión subterránea, el contenido de caolinita es bajo.

De acuerdo al estudio mineralógico realizado por MALAGON (6) en suelos de Quíbor, el tipo de arcilla dominante en la fracción menor de 2 micras es la ilita.

En base a los resultados obtenidos en el presente trabajo, se puede señalar que el fenómeno de sufusión o erosión subterránea no es específico para un determinado tipo de arcilla y que las arcillas 2: 1 (montmorillonita o ilita) asociadas con altos o medios porcentajes de sodio intercambiable, presentan un alto potencial a sufusionarse. En suelos donde la caolinita es dominante en la fracción arcillosa, se puede deducir que los contenidos de

CUADRO 1 Análisis granulométrico y límites de Atterberg

Prof. Nivel Base	Profundidad cm	DISTRIBUCION PARTICULAS					LIMITES DE ATTERBERG		
		% Arena	% Limo	% Arcilla	CT	LL	LP	IP	
80 cm	0 - 40	2,40	45,33	52,27	AL	46,7	35,5	11,2	
	40 - 80	3,84	39,85	56,31	AL	45,5	34,0	11,5	
110 cm	0 - 20	1,80	48,16	50,04	AL	48,1	40,8	7,3	
	20 - 60	0,64	44,89	54,47	AL	49,7	36,2	13,5	
	60 - 110	3,84	36,03	60,13	A	46,0	33,3	12,7	
200 cm	0 - 40	2,34	47,52	50,14	AL	45,9	37,9	8,0	
	40 - 80	0,70	46,03	53,27	AL	41,0	28,3	12,7	
	80 - 110	4,43	39,19	56,32	A -AL	41,0	28,2	12,8	
	110 - 150	3,72	39,61	56,67	A -AL	24,8	30,4	12,3	
	150 - 200	5,92	43,90	50,18	AL	26,5	30,2	12,6	

CT : Clase Textural; LL: Límite Líquido; LP: Límite Plástico. IP : Índice de Plasticidad.

CUADRO 2 . Analisis químico (Salinidad).

PROFUNDIDAD NIVEL BASE	PROFUND. cm.	pH PASTA	CE EXTRACTO mmhos	CATIONES m.e. Litro			ANIONES m.e. Litros				
				Ca	Mg	Na	HCO3	Cl	SO4		
80 cm	0 - 40	7,62	17,85	82,0	29,0	81,2	10,9	13	2,4	124,4	65,4
	40 - 80	7,77	16,25	35,0	35,0	85,0	14,4	16	2,2	111,0	41,8
110 cm	0 - 20	7,80	20,18	30,0	30,2	95,0	12,3	14	6,2	152,6	56,4
	20 - 60	7,80	14,55	40,1	21,0	87,4	15,8	18	4,3	108,4	35,8
	60 - 110	7,78	22,80	57,0	58,2	137,7	18,2	20	4,5	194,7	53,7
200 cm	0 - 40	7,75	11,98	80,2	11,0	61,4	10,3	12	3,4	51,3	77,9
	40 - 80										
	80 - 110	7,91	11,87	30,6	15,2	80,2	16,8	19	4,4	55,5	66,1
	110 - 150	8,12	8,91	22,0	11,2	65,1	16,0	18	2,6	24,8	70,9
	150 - 200	8,20	12,77	25,7	15,4	100,0	22,1	24	2,3	57,2	81,6

CUADRO 3 Análisis granulométrico y límites de Atterberg

Suelo	Profundidad (cm.)	Arena %	Limo %	Arcilla %	CT	LL	LP	IP
Unidad 20 (1)	0 - 40	1,3	43,5	55,2	AL	49,0	34,0	15,0
	40 - 77	1,2	51,4	47,4	AL	41,5	31,0	10,5
	77 - 140	2,1	43,5	54,4	AL	--	--	--
Unidad 20 (2)	0 - 140	1,38	48,32	50,30	AL			
	40 - 85	2,68	37,22	60,10	A			
	85 - 105	2,54	42,76	54,70	AL			
	105 - 140	19,36	61,25	A				

1: Tomado de BLAVIA y FLORIDO (1973). 2: Tomado de MALAGON (1978).

CT: Clase Textural; LL: Límite Líquido; LP: Límite Plástico; IP: Índice de Plasticidad.

Cuadro 4 Análisis químico.

Profundidad	pH Pasta	CE mmhos	Cationes m.e./Litro			Aniones m.e./Litro											
			Ca	Mg	Na	RAS	PSI	HCO3	CI	SO4							
Unidad 20 (1)																	
0 - 40	7,55	3,07	15,23	2,26	25,96	2,81	2,79	5,00	15,34	3,72							
40 - 71	7,90	5,60	19,14	7,09	51,51	6,96	8,26	1,79	32,13	18,80							
77 - 140	7,90	5,70	17,54	7,51	52,88	7,72	9,20	6,9	42,39	4,03							

1: Tomado de BLAVIA y FLORIDO 1973).

óxidos libres de hierro son muy bajos y que existe una alta uniformidad granulométrica que disminuye las fuerzas de cohesión y fricción en estos suelos.

En lo referente a los límites de Atterberg se observan valores bajos en el límite plástico e índice de plasticidad, lo cual coincide con lo citado por TERZAGHI Y PECK (10) al señalar que suelos con un bajo a moderado (30-50%) límite plástico y con un rango de plasticidad pequeño presentan una alta tendencia a licuarse y fluir.

La ocurrencia de este fenómeno en la Depresión de Quíbor puede explicarse de la siguiente manera:

Bajo estas circunstancias donde los suelos se secan más allá del límite de contracción una vez que se producen las condiciones de relativa acumulación de agua (lluvias intensas, baja infiltración y concentración de agua en depresiones) en forma brusca, los agregados tienden a desintegrarse y el material así producido tiende a fluir y moverse hacia la zona más baja (cárcavas), ello puede ser explicado por la acción individual y o combinada de los siguientes mecanismos:

- a) Al penetrar el agua desde la superficie del terreno, se produce una expansión desigual en las partículas de suelos, este diferencial de expansión unido a la orientación laminar que tienen estas partículas (señalada por MALAGON (6) hace que ocurra una especie de desfoliación en la capa superficial del suelo y así se desprenden y fluyen estas partículas.
- b) Al secarse el suelo por debajo del límite de contracción una buena proporción de poros se llena de aire, una vez que se produce cierta acumulación de agua en el suelo, ésta penetra a los poros llenos de aire por todos los lados; el aire contenido en el espacio poroso, es comprimido por las meniscos de agua que penetra, aumentando la presión a medida que el suelo se humedece (saturación de poros), hasta que las fuerzas de compresión son mayores que las fuerzas que mantienen unidas las partículas y se produce una especie de explosión de la unidad estructural, lo cual resulta en la desintegración y desmoronamiento de los agregados.
Este fenómeno fue observado al sumergir terreros secos en un recipiente con agua destilada.
- c) Otro mecanismo o aspecto que tiene relevancia en la susceptibilidad de este suelo a erosionarse en forma subterránea es el contenido de sodio, ya que este elemento actúa como dispersante pues aumenta el potencial zeta y la carga negativa de las micelas permitiendo que éstas, en forma individual se repelan unas a otras y permanezcan en estado de dispersión, facilitando el flujo y movimiento de las partículas de suelos en suspensión.

Descripción y naturaleza del fenómeno.

Ocurrencia:

En la zona adyacente a las áreas afectadas por cárcavas, regularmente se observan en la superficie del terreno, agujeros circulares-ovales "sumideros", cuyo diámetro mínimo es 2-5 cm. y el máximo puede llegar hasta 2 m., encontrándose una variedad de situaciones intermedias. A medida que el diámetro promedio del sumidero se acerca al diámetro máximo, la profundidad del hueco se incrementa hasta que se forma un túnel cuya salida desemboca en las paredes de la cárcava (figura A), esta profundidad varía y es controlada por la profundidad de la cárcava (nivel de base local). El conjunto de procesos y mecanismos involucrados en la formación de estos túneles ha sido denominado sufusión, que consiste en el trasvase lateral de un material fino a través de un medio filtrante hacia puntos más bajo del terreno y se corresponden con una forma de erosión poco frecuente que es la erosión subterránea o hipodérmica.

Los túneles de sufusión no siguen un patrón muy definido de distribución espacial, se le encuentran diseminados en los alrededores de las cárcavas a una distancia no mayor de 30 m., en la generalidad de los casos; existe una relativa orientación de estos túneles, respecto a la cárcava de la cual son tributarios, se observa que dicha orientación está supeditada al grado de pendiente dominante (transversal o longitudinal) que controla la dirección y sentido del flujo del material trasvasado. Así, cuando la pendiente dominante es la transversal, los túneles forman ángulos superiores a los 45 grados con respecto a la cárcava troncal; cuando la pendiente dominante es la longitudinal dichos túneles de sufusión pueden ir paralelos respecto a la cárcava principal.

Origen y funcionamiento:

En párrafos anteriores, se señala que una de las condiciones para que este proceso se genere y evolucione es la presencia de una cierta acumulación de agua en el terreno, una vez que esta condición existe, es necesario la presencia de superficies de debilidad en el terreno (figura B, panorámica 1) por donde el agua puede penetrar y acumularse en el suelo por un cierto tiempo; este punto inicial de entrada puede ser un orificio derivado de la actividad de algunos insectos, o huecos dejados en la superficie por raíces o por grietas que se forman en el terreno, debido a la alternancia de períodos secos y húmedos. Una vez que el agua se acumula en estos orificios o zona de entrada, se van formando hilos de escurrimiento que conducen agua hacia ellos, produciendo en sus paredes un desprendimiento de material que tiende a infiltrarse hacia abajo y a orientarse lateralmente con el transcurrir del tiempo; el tamaño de estos huecos se incrementa (ver cuadro Nº 3) en función del volumen de agua que reciben, formando los sumideros, (figura B, panorámica 2) hasta un punto donde el flujo lateral de material predomina sobre el movimiento vertical, lo cual se manifiesta por una cierta disminución en el

FENOMENO DE SUFUSION



Figura A

DIFERENTES ESTADIOS EN EL FENOMENO DE SUFUSION

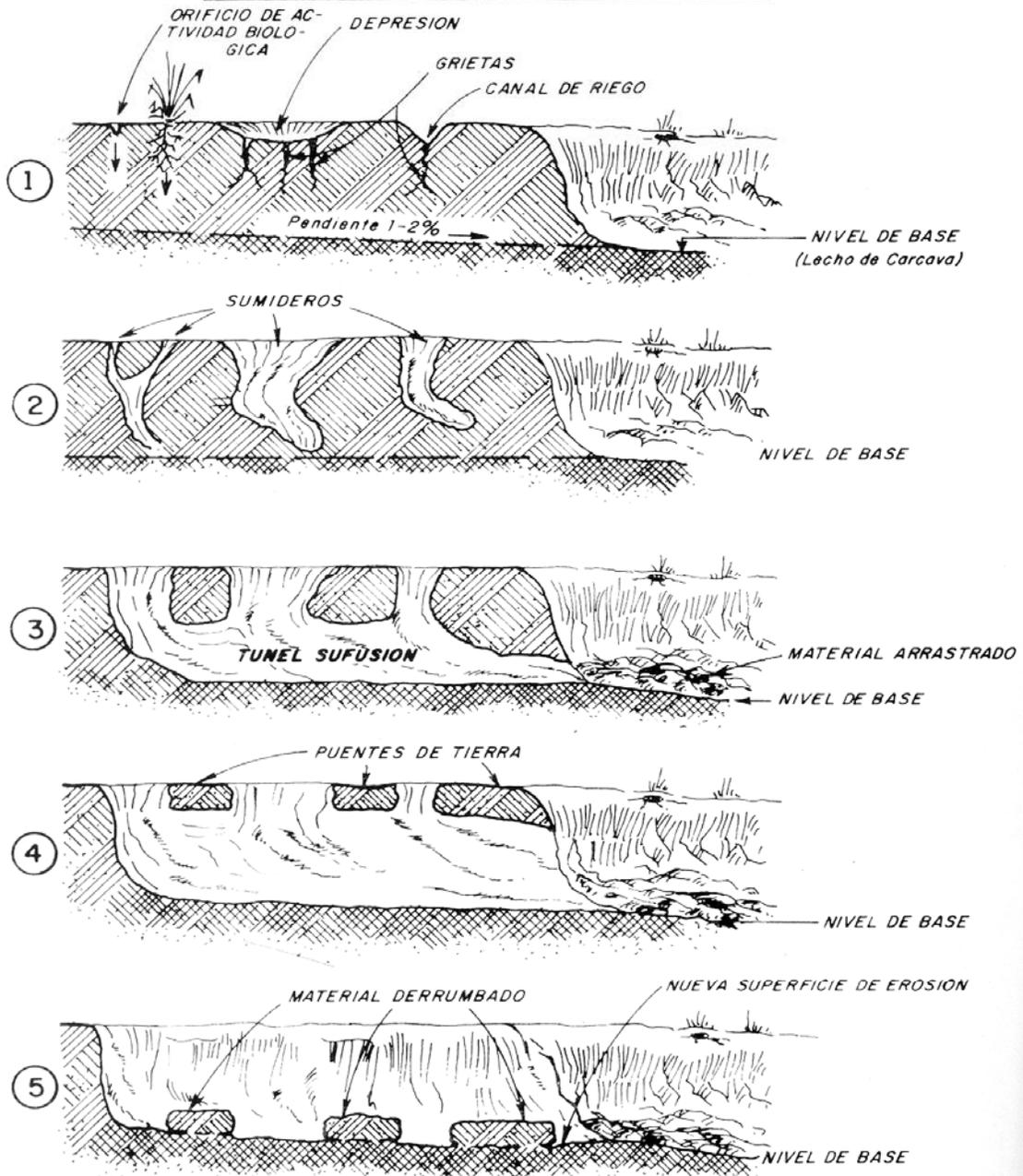


Figura B

ritmo de crecimiento periférico de los sumideros y se incrementa el trasvase lateral de material (figura B, panorámica 3) teniendo como resultante un túnel cuya salida desemboca a través del talud de la cárcava de la cual es tributario.

El techo del túnel queda suspendido en el vacío formando especies de puentes de tierra que unen las paredes (figura B, panorámica 4); estos puentes tienden a flexarse y formar una pequeña depresión que finalmente se desploma (figura B, panorámica 5) constituyendo una ramificación secundaria de la cárcava principal, que luego empiezan a funcionar como puntos de erosión regresiva. Con relación al crecimiento de los sumideros, se puede observar en el Cuadro N° 5 que huecos del mismo diámetro inicial (7 cm) duplicaron su tamaño en un período de 21 días, si se le compara con orificios de menor diámetro inicial (4 cm) se ve que en éstos, el ritmo de crecimiento es menor. Si hacemos la misma comparación para un período más largo, pero más seco (menor cantidad de precipitación); se puede concluir que el crecimiento de los sumideros en su estado inicial es función de la acumulación de agua, el diámetro inicial de los sumideros, el nivel de base y lógicamente las propiedades del suelo mencionadas en párrafos anteriores.

Cuadro 5 Crecimiento de Sumideros. Diámetros (cm)

Orificio	Inicial 12-6-78	Fechas de observación		
		3-7-78	10-7-78	2-10-78
D 1(cm)	7	13	14	19
P	15	13	13	
D 2(cm)	7	13,5	16	19
P	15	14	14	16
D 3(cm)	7	13,5	16	17
P	15	14	13,5	15
D 4(cm)	4	---	6	10
P	2	---	3,0	4
D 5(cm)	4	---	5,5	7
P	2	---	4	3
D 6(cm)	4	---	7	9,5
P	2	---	2	3

D: Diámetro P: Profundidad

BIBLIOGRAFIA

1. BLAVIA, F. y FLORIDO, J. Caracterización de las prácticas de riego en suelos de la Depresión de Quíbor, Estado Lara. Barquisimeto, M.O.P., Oficina Edafológica Centro Occidental, 1973. 116 p.
2. COPLNEH. Glosario de términos geomorfológicos. Caracas, 1977. 47 p. (Publicación 33).
3. GASPERI-MAGO, R. R. Evaluación del proceso erosivo en las áreas planas de la Depresión de Quíbor. 5to. Cngreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Medellín, 1975. 38 p.
4. GOOSEN, D. Algunos fenómenos de inestabilidad física en suelos planos de América Latina. 4to. Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Maracay, 1972. 10 p.
5. El catastrofismo en el estudio del suelo. 5to. Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Medellín, 1975. 47 p.
6. MALAGON, D. Mineralogía, génesis y aspectos físicos derivados en los principales suelos de la Depresión de Quíbor, Estado Lara. Mérida, CIDIAT, Serie Suelos y Climas. Sc. 27 1978. 150 p.
7. PETERS, W., MATERANO, G. y URDANETA, I. El fenómeno hueco en la Cuenca del Lago de Maracaibo. 3er. Congreso Venezolano de la Ciencia del Suelo. Mérida, 1974. 13 p.
8. SHERARD, J., DECKER, R. and RYKER, N. Piping in earth dams of dispersive clay. Proceeding of speciality conference on the performance of earth and earth- supported structures. American Society of Civil Engineers, Indiana, Purdue University, 1972. 586- 626 p.
9. Hydraulic fracturing in low dams of dispersive clay. Proceeding of the speciality conference on the performance of earth supported structures. Indiana, Purde University. 1972. 653- 689 p.
10. TERZAGHI, K. and PECK, R. B. Soil mechanics in engineering practice. 2 ed. New York. John Wiley and Sons. 1976. 729 p.
11. ZINCK, A. and STAGNO, P. Estudio edafológico de la zona Paguey. Sto. Domingo. Estado Barinas. Guanare, M.O.P., 1966. 287 p.
12. ZINCK, A. y SUAREZ, C. Estudio edafológico y de clasificación de tierras con fines de riego Semi-detallado. Informe avance. Barquisimeto. M.O.P. 1970. 115 p.
13. ZINCK, A. URRIOLA, P. L. Origen y evaluación de la formación. Mesa. Un enfoque edafológico. 1er. Congreso Venezolano de la Ciencia del Suelo. Maracaibo. 1970. 53-63 p.