

**SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERIA HIDRAULICA**

**XI CONGRESO CHILENO**

**EROSION POR CARCAVAS: CARACTERISTICAS Y PROCESOS.**

Humberto Zavala Zunino (1)

**RESUMEN**

La erosión pluvial es un severo mecanismo degradante de una ladera o de una cuenca. Una de las formas en que ésta se desarrolla es la erosión por Cárcavas o Zanjas, caracterizándose por el desarrollo de zanjas a través de las cuales se evacúa el agua afluente al sistema de cárcavas y donde los procesos de desprendimiento y transporte de sedimentos se han intensificado. Se presentan primeramente algunos de los elementos que describen y caracterizan a las cárcavas y los mecanismos que gobiernan su generación y evolución. Finalmente, se revisan aspectos relativos a la modelación de los procesos antes señalados, tendientes al desarrollo de un modelo general de erosión por cárcavas.

---

(1) Ingeniero Civil, Académico Departamento Ingeniería en Obras Civiles, Universidad de La Serena.

## 1.- EROSION PLUVIAL

La erosión pluvial en una ladera corresponde al proceso de desprendimiento y arrastre de partículas de suelo, donde el agente erosivo es el agua de lluvia, quedando condicionada por factores de tipo climáticos, topográficos, características del suelo, vegetación y actividades humanas. Las consecuencias de los procesos erosivos son diversas: pérdida de suelos y elementos orgánicos, embancamiento de canales, disminución de la vida útil de embalses, etc. La erosión pluvial se clasifica en (Kirkby y Morgan, 1980; Bennett, 1974) :

- Erosion Laminar o por raspado (Sheet erosion): Se produce por efecto del impacto de la gota en el suelo y posterior transporte del material conforme a la pendiente de laderas. En algunos casos sus efectos inmediatos resultan imperceptibles, detectándose con el tiempo al quedar descubiertas raíces de plantas o piedras.

- Erosion por Surcos (Rill erosion): En origen y mecánica es similar a la erosión laminar, pero el flujo logra producir pequeños surcos que penetran el suelo en algunos centímetros, por donde se concentra el escurrimiento. Los surcos son de dimensiones pequeñas y pueden desaparecer con las prácticas normales de arado y labranza.

- Erosión por Cárcavas (Gully erosion): Se habla de erosión por cárcavas, cuando el escurrimiento ha logrado excavar zanjas en el suelo, en las cuales se concentran los procesos erosivos y el escurrimiento. Tales zanjas reciben el nombre de cárcavas cuando su profundidad es tal que no pueden ser eliminadas por la acción del arado. De acuerdo a Bennett (1974), a diferencia de los surcos, la influencia de la precipitación en el desprendimiento y transporte de sedimento en las cárcavas es despreciable. Poesen y Govers (1990) consideran que las cárcavas son simplemente surcos grandes, tal que su área transversal es mayor a 1 pie<sup>2</sup>.

## 2.- CARACTERIZACION DE LAS CARCAVAS

El problema de la degradación de suelos por erosión debida a cárcavas, es un problema existente en diversos lugares a lo largo del planeta, siendo sus consecuencias en general desastrosas, puesto que la cantidad de suelo perdido y sedimento generado es muy alta y el proceso de reposición del suelo es muy lento. La Tabla 1 presenta algunas zonas donde se ha detectado e investigado este problema. En Chile las cárcavas se localizan principalmente en la Cordillera de la Costa, existiendo cárcavas de varios metros de profundidad en la zona de Concepción. En la Isla de Juan Fernández el problema adquiere características dramáticas.

Una cárcava individual está conformada por: una zanja que actúa como canal, Su sección extrema aguas arriba llamada cabeza, la cual presenta un cambio abrupto en pendiente con respecto a la ladera circundante, . su extremo aguas abajo llamado pié y, la cuenca aportante a la cárcava. En general, las cárcavas poseen un equilibrio inestable por lo que sus dimensiones y extremos varían en el tiempo, ya sea presentando un avance o un retroceso.

Las cárcavas se pueden clasificar de acuerdo a los procesos que intervienen en su evolución o de acuerdo a la forma de alguno(s) de sus elementos componentes ya señalados:

### 2.1.- CLASIFICACION DE ACUERDO A PROCESOS:

- Cárcavas Efímeras y Cárcavas Asociadas a Taludes:

Poesen y Govers (1990), distinguen entre dos tipos de cárcavas:  
a) Efímeras (Ephemeral) : Aquellas asociadas a la concentración del escurrimiento y erosión superficial en pequeños desniveles en el terreno, tales zanjas pueden ser eliminadas por alguna técnica de cultivo pero son recurrentes en el tiempo con eventos posteriores de lluvia.

Tabla 1.- Lugares donde se han detectado e investigado las Cárcavas

LUGAR	REFERENCIA
- Africa: Kenya Lesotho Marruecos Zimbabwe	Faber e Imeson (1982) Van der Brink y J. (1983) Stocking (1981)
- AMERICA: Brazil (Sao Paulo) Estados Unidos: Carolina del sur Colorado Colorado Nebraska Sur-Este y Mississippi Pennsylvania Central Valle del Missouri Wyoming y Nuevo Mexico	Coelho Netto (1988)  Ireland et al. (1939) Heede (1971) Graf (1979) Piest et al. (1972) Thorne y Zevenbergen (1990) Gryta (1986) Piest y Sponer (1968) Schumm y Hadley (1957)
- ASIA: China	Mou Jinze (1986)
- Europa: Belgica Gran Bretaña Rumania	Poesens y Govers (1990) Tuckfield (1964) Ichim et al. (1990)
- Oceanía Australia: Nueva Gales del Sur Sur - Este	Crouch (1990) Melville y Erskine (198.)

b) Asociadas a los Taludes (associated with banks): En caso que existan grietas o excavaciones de tipo biótico (excavaciones de animales o insectos) en el terreno, el escurrimiento superficial puede concentrarse en ellos y profundizarlos. Su evolución depende principalmente de las dimensiones de tales ranuras y de las propiedades mecánicas del suelo, más que de las características del escurrimiento superficial.

- De acuerdo al grado de avance de la Cárcava (Geyik, 1986; Ireland et al., 1939):

- a) Fase Inicial: Las zanjas alcanzan dimensiones tal que se pueden describir como cárcavas.
- b) Fase de Desarrollo: La cárcava está activa incorporando nuevos terrenos debido a su avance hacia aguas arriba, aguas abajo o hacia los costados, o por aumento de su profundidad alcanzando incluso estratos más profundos. Pudiendo también ocurrir procesos de coalescencia de cárcavas incipientes o maduras ( Heede 1986, Tuckfield 1964).
- c) Fase de Reparación: La vegetación empieza a desarrollarse y a crecer en las paredes y/o fondos de la cárcava.
- d) Fase de Estabilización de la cárcava: Se alcanza una pendiente estable en el fondo y en las paredes; la vegetación crece en abundancia, colaborando como fuerza resistente y ayudando al desarrollo de nuevo suelo.

## 2.2.- CLASIFICACION DE ACUERDO A SU FORMA:

De acuerdo a las dimensiones, se pueden clasificar en pequeñas medianas y grandes, de acuerdo a lo indicado en la Tabla 2:

Tabla 2.- CLASIFICACION DE LAS CARCAVAS DE ACUERDO A SU TAMAÑO

TIPO	Profundidad [m]	Area de drenaje [Hectáreas]
Pequena	≤ 1	≤ 2
Mediana	1 - 5	2 - 20
Grande	≥ 5	≥ 20

- De acuerdo a la forma de la sección transversal de la cárcava, quedando principalmente determinado por el o los tipos de suelo, se tiene:

- a) En forma en "U" : se producen cuando los distintos estratos de suelo presenta la misma resistencia a la erosión
- b) En forma en "v" : se produce en el caso que el subsuelo es más resistente a la erosión que la superficie, por lo que los procesos erosivos socavan el suelo con más facilidad en la superficie, es el caso más común

c) En forma Trapezoidal : en aquellos casos en que a mayor profundidad el suelo es más resistente a la erosión, existiendo un estrato profundo muy resistente.

- De acuerdo a su Continuidad:

a) Cárcavas Continuas: consisten en una serie de cárcavas ramificadas , en general poseen una cárcava principal y una serie de cárcavas en desarrollo interconectado.

b) Cárcavas Discontinuas o Independientes: Corresponde a una cárcava o varias cárcavas que tienen un funcionamiento independiente, sin conexión a algún sistema de cárcavas. En algunos casos se puede tener alguna cárcava Independiente entre dos sistemas de cárcavas, pero sin relación a ellos.

Existen también otras clasificaciones menos difundidas: de acuerdo a la forma de la cárcava, según la vista en planta; de acuerdo a la forma de la cabeza de carcava, en corte transversal como longitudinal. (Ireland, 1939; Zavala et al., 1990)

### 3.- MECANISMOS QUE INTERVIENEN EN LA EROSION POR CARCAVAS

Los procesos erosivos se componen de la fase de desprendimiento de sedimento y, de la fase de transporte del sedimento ya desprendido.

Entre los procesos que generan desprendimiernto de sedimento a ser transportado, se puede mencionar los siguientes:

a) Efecto de los ciclos de congelamiento y deshielo de las paredes: Tuckfield (1964) detectó que precipitaciones de nieve abundantes generaban, al llegar la época de deshielo, considerables cantidades de material (arcilla y grava) removido de las paredes de las cárcavas.

b) Por Esgurrimiento Subsuperficial: en algunos suelos se ha detectado procesos de Piping o Tubificación como la causa principal de debilitamiento y desprendimiento de material desde las cárcavas. Heede (1971) atribuye el piping a la existencia de sodio en el suelo; Coelho Netto et al., (1988), lo atribuye a la existencia de hormigas "Sauva", las que habrían construido túneles de hasta 3-5 m de profundidad conectados a la superficie, facilitando así la existencia de piping y esgurrimiento subsuperficial; Faber e Imeson (1982) también ha detectado el Piping, pero sólo en algunos pocos casos.

c) Procesos de Inestabilidad de los taludes de las cárcavas: Piest (1975), encontró que la pérdida de material de los taludes y cabeza de cárcavas se debe fundamentalmente al aumento de contenido de humedad del suelo, con la consiguiente disminución de la resistencia en suelos cohesivos y un incremento en la tensión, con el posterior colapso de parte de los taludes.

d) Desprendimiento de material por efecto del flujo superficial en el fondo o paredes de la carcava y, en la zona de la cabeza de la cárcava por efecto del flujo superficial que llega y cae a la zanja (Ireland 1939).

Arrastre del Sedimento : Entre los procesos que remueven el sedimento acumulado en el fondo de la zanja, se pueden señalar los siguientes (Coelho Netto et al. 1988):

a) flujo superficial por efecto de la lluvia en la cárcava misma pero que no infiltra

b) fujo superficial afluente a la cárcava desde la cuenca aportante

c) flujo subsuperficial afluente a la cárcava a través de las paredes de la cárcava

d) deshielo de la nieve acumulada en la cárcava.

En algunos casos la capacidad de arrastre del esgurrimiento superficial no es la suficiente para remover

el sedimento acumulado en la cárcava, produciéndose depósito de material en algún sector de la zona amagada; en otros casos, la capacidad de arrastre del escurrimiento es superior al sedimento disponible (Piest et al 1975), por lo que no es posible establecer una relación directa entre flujo superficial líquido y el gasto sólido.

#### 4.- MODELACION DE LA EROSION EN CARCAVAS

Modelar la erosión por cárcavas tiene diversos objetivos, en primer lugar aspectos de protección ambiental requieren establecer recomendaciones de uso de la tierra y de los recursos hídricos, y técnicas de cultivo que eviten el desarrollo de nuevas cárcavas y, sugerir estrategias tendientes a eliminar o a lo menos detener o atenuar el avance de las cárcavas ya existentes. En la fase actual del estudio, no es posible sugerir en forma fundada acciones físicas para abordar y eliminar las cárcavas, existiendo algunos trabajos en dicha línea a los cuales se puede recurrir (Geyik, 1986; Heede, 1986; S.C.S., 1986). Un segundo enfoque se relaciona a la necesidad de estimar tasas de pérdida de suelo o gasto sólido efluente del sistema para diversos eventos climáticos, con el objeto de estimar sus posibles efectos sobre obras civiles existentes o en vías de construcción.

Los modelos desarrollados para la erosión en cárcavas, son en general de tipo Empírico-Estadístico (Stocking, 1981; Thompson, 1964; S.C.S., 1966; Beer y Jonhson, 1963) cuyo rango de validez es restringido. Tras el desarrollo de un modelo de bases físicas, Zavala (1992) desarrolló un programa computacional de erosión en una cárcava, el que consideraba algunos de los mecanismos que pueden participar en la erosión en cárcavas. Dicho modelo debe ser ampliado con otras opciones para adquirir características más generales.



A continuación se presentarán algunos elementos tendientes a modelar la formación de cárcavas y, posteriormente se revisará en mayor detalle algunos de los procesos que intervienen en la fase de desarrollo de las cárcavas.

#### 4.1.- FORMACION DE CARCAVAS:

Las cárcavas se pueden originar por alguno de los siguientes mecanismos:

a) Secuencia surco-cárcava: Cuando los procesos erosivos en los surcos alcanzan estratos o dimensiones tales que los surcos pasan a constituir cárcavas. Es el caso de las cárcavas efímeras. Thorne y Zevenbergen (1990) plantean una metodología para predecir su ocurrencia .

b) Cárcavas asociadas a taludes: En este caso las fracturas de origen geotécnico o las excavaciones de origen biótico o químico generan los desniveles en el suelo por donde se concentra el escurrimiento y se concentran los procesos erosivos.

c) Por afloramiento del escurrimiento subsuperficial o subterráneo. De Vries (1976) describe un modelo conceptual de evolución de cauces, denominado erosión por afloramiento del escurrimiento subterráneo (GEOM groundwater outcrop-erosion model), el que es válido en áreas donde la capacidad de infiltración es escasamente excedida, aflorando posteriormente y generando redes de drenaje. Este mecanismo puede ser considerado también como posible generador de cárcavas en

#### 4.2.- MODELACION DE ALGUNOS PROCESOS:

En el punto 3, se señalaron los mecanismos que pueden participar en el desarrollo y evolución de las cárcavas, éstos son: Efectos del ciclo congelamiento y deshielo, escurrimiento superficial, inestabilidad de las taludes y, procesos de tubificación de las cárcavas. De acuerdo al clima y a la

localización de las cárcavas en Chile, los ciclos de congelamiento y deshielo parecen no ser un mecanismo importante en el caso nacional y, por lo mismo, no se ha recopilado mayor información. Respecto a la capacidad erosiva del escurrimiento superficial existe una extensa cantidad de trabajos en la modelación de cauces de lecho móvil (Zavala, 1993). Por lo que se sañalarán algunos elementos relativos a la inestabilidad de taludes y a los procesos de tubificación:

#### INESTABILIDAD DE TALUDES DE LAS CARCAVAS:

Este mecanismo parece ser recurrente y de vital importancia en la evolución de las cárcavas. La manera de abordar este problema es mediante técnicas desarrolladas por la Mecánica de Suelos, tales metodologías (métodos de: Culmann, Fellenius, Bishop, Janbu, Spencer, Lowe Taylor, etc.) se diferencian en las fuerzas participantes y en la forma asumida para la superficie de falla. De acuerdo a Thorne (1990), en taludes muy inclinados (más de 60°) la superficie de falla tiende a ser plana, y en bancos menos inclinados la falla tiende a ser rotacional. Thorne y Tobey (1981) examinan diversos mecanismos de falla para taludes de cauces naturales, existiendo en algunos casos una marcada relación con la capacidad erosiva del escurrimiento, generando taludes más inclinados y por ello menos estables; en otros casos el debilitamiento se asocia directamente a un aumento del contenido de humedad en los taludes, Hooke (1979) plantea la posibilidad del derrumbe en forma desfasada a los caudales máximos en el cauce.

#### TUBIFICACION:

Este mecanismo puede incidir en la generación y evolución de las cárcavas, Jones (1971) señala que "el Piping (o tubificación) ha probado ser un importante mecanismo de generación de cauces en tierras húmedas tales como las Islas Británicas y Nueva Zelanda". El mismo autor plantea la división entre Pseudopiping para aquellas tubificaciones en que su forma no

queda definida por condiciones hidráulicas y Piping cuando queda definida por aspectos hidráulicos. El origen de la red de túneles puede ser biótico (animales o bacterias), químico o físico. Heede (1971) atribuye al contenido de sodio en los suelos el rol de elemento propiciador a la tubificación. Hagerty (1991 a,b) y Mc Caig (1983) presentan algunas características adicionales.

#### GENERACION DE ESCURRIMIENTO:

El escurrimiento superficial es el principal medio de transporte al sedimento desprendido por los procesos ya descritos, tal escurrimiento que en el caso de las cárcavas es de naturaleza esporádica se puede originar por cualquiera de los mecanismos de generación de escurrimiento conocidos en Hidrología, estos son el concepto Hortoniano de Infiltración excededida; por saturación en exceso (concepto de Dunne), por escorrentía superficial (concepto de Hewlett) y por el derretimiento de nieve (Ward, 1984; Dunne, 1983; Wood et al., 1990; Pilgrim et al., 1978). Tales conceptos que no es el caso describir en este artículo, deben ser contemplados en un modelo general de generación y evolución de cárcavas.

#### 5.- CONCLUSIONES

Se han revisado los principales elementos que caracterizan y participan en la evolución de la erosión por cárcavas, los que se deben tener presente en el desarrollo de un modelo de erosión general de cárcavas. De acuerdo a diversos autores (Bennet, 1974; Nicklin et al., 1982) la erosión por cárcavas es el mecanismo de erosión más difícil de modelar, lo que explica la no existencia (al menos no conocidos por el autor) de modelos de bases físicas de aplicación general, a diferencia de la erosión laminar o por surcos para los que se han elaborado algunos modelos. Esto se explica por la amplia gama de procesos y variables involucradas y, por lo difícil que resulta poder conocer todos los parámetros y variables involucrados.

## REFERENCIAS

- 1.- Beer C.E. y Johnson H.P., 1963. "Factors related to gully growth in the deep loess area of Western Iowa", Proceedings of the 1963, Federal Inter-Agency Conference on Sedimentation, U.S. Department of Agriculture, Miscellaneous Publication 970, June, 1965, pp. 37-43.
- 2.- Coelho Netto A.L., Fernandez N.F., y Edegard de Deus C., 1988. "Gulling in the southeastern Brazilian Plateau, Bananal, SP", en Sediment Budgets, Proc. of Porto Alegre Symposium, Publ. IAHS N. 174.
- 3.- Crouch R.J., 1990. "Rates and mechanisms of discontinuous gully erosion in a red-brown earth catchment, New South Wales, Australia", Earth Surface Processes and Landforms, Vol. 15, pp. 277-282.
- 4.- De Vries J.J., 1976. "The groundwater outcrop-erosion model; evolution of the stream network in The Netherlands", J. of Hydrology, Vol 29, pp. 43-50.
- 5.- Dunne T., 1983. "Relation of field studies and modeling in the prediction of storm flow", J. of Hydrology, Vol 65, pp. 25-48.
- 6.- Faber T. e Imeson, 1982. "Gully Hydrology and Related Soil Properties in Lesotho", en Recent Developments in the Explanation and Prediction of Erosion and Sediment Yield, Publ. IAHS N. 137, pp. 135-144.
- 7.- Geyik M., 1986. "Gully Control", FAO Watershed Management Field Manual. FAO Conservation Guide 13/2.
- 8.- Graf W.L., 1979. "The development of montane arroyos and gullies", Earth Surface Processes, Vol. 4, pp. 1-4.
- 9.- Gryta J.J., 1986. "Sediment movement in disequilibrium gully-fan systems", Publ. IAHS N. 159.
- 10.- Hagerthy D.J., 1991a. "Piping/Sapping erosion. I: Basic considerations". J. of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol 117, N. 8, pp 991-1008.
- 11.- Hagerthy D.J., 1991b. "Piping/Sapping erosion. II: Identification -Diagnosis". J. of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol 117, N. 8, pp 1009-1025.
- 12.- Heede B.H., 1971. "Characteristics and Processes of Soil Piping in Gullies", U.S. Department of Agriculture Forest Service Research Paper RM-68.

- 13.- Heede B.H., 1986. "Gully Control Structures and systems". en Guidelines for Watershed Management, FAO Conservation Guide N-\* 1, pp 181-222.
- 14.- Hooke J.M., 1979. "An analysis of the processes of river bank erosion". J. of Hydrology, Vol 42, pp. 39-62.
- 15.- Ichim I, Mihaiu G., Surdeanu V. Radoane M. y Radoane N., 1990. "Gully erosion on agricultural lands in Romania". Soil Erosion on Agricultural Land, ed. Boardman, Foster and Dearing. pp. 55-67.
- 16.- Ireland H.A., Sharpe C.F., y Eargle D.H., 1939. "Principles of Gully Erosion in the Piedmont of South Carolina", Technical Bulletin 633, U.S. Department of Agriculture.
- 17.- Jones A., 1971. "Soil piping and stream channel initiation", Water Resources Research, Vol 7, N. 3, pp. 602-610.
- 18.- Kirkby M.J. y Morgan R.P., 1981. "Erosión de Suelos". ed. Limusa, 1980.
- 19- Mc Caig M., 1983. "Contributions to storm quickflow in a small headwater catchment- The role of natural pipes and soil macropores", Earth Surface Processes and Landforms, Vol 8, pp. 239-252.
- 20.- Melville M.D., y Erskine W., 1986. "Sediment remobilization and storage by discontinuous gulling in humid southeastern Australia", Publ. IAHS N. 159, pp. 277-286.
- 21.- Mou Jinze, 198 . "Sediment sources and yield from small drainage area", Publ. IAHS N. 159, pp. 19-29.
- 22.- Nicklin M.E., Remus J.I. y Conroy J. , 1986. "Gully Bank Erosion of Loessial Soil in Urbanizing Watersheds", en "Drainage Basin Sediment Delivery", Publ. IAHS N. 159, pp. 141-151. -
- 23.- Nielsen S.A., Storm B. y Styczen M., 1986. "Development of Distributed Soil Erosion Component for the SHE Hydrological Modelling System", International Conference on Water Quality Modelling in the Inland Natural Environment, Bournemouth, U.K.
- 24.- Piest R.F., Bradford J.M. y Spomer R.G., 1972. "Mechanisms of Erosion and Sediment Movement from Gullies", Proceedings, Sediment Yield Workshop, Oxford, Miss., pp. 28-30.

- 25.- Piest R.F., and Spomer R.G., 1968. "Sheet and Gully Erosion in the Missouri Valley Loessial Region", Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, Vol. 11, pp. 850-853 .
- 26.- Piest R.F., Bradford J.M. y Wyatt G.M., 1975. "Soil Erosion and Sediment Transport from Gullies", J. of the Hydraulics Division, ASCE, Vol. 101 (HY1), pp. 65-80.
- 27.- Poessen J. and Govers G., 1990. "Gully erosion in the Loam Belt of Belgium: topology and control measures". Soil Erosion on Agricultural Land, Ed. Boardman, Foster y Dearing. pp. 513-530.
- 28.- Pilgrim D.H., Huff D.D. y Steele T.D., 1978. "A field evaluation of subsurface and surface runoff", J. of Hydrology, Vol 38, pp. 319-341.
- 29.- Schumm S.A. y Hadley R.F., 1957. "Arroyos and the semiarid cycle of erosion", American Journal of Science, Vol 255, pp. 161-174.
- 30.- Soil Conservation Service, Eng. Div., U.S.D.A., 1986. "Procedure for determining rates of land damage, land depreciation and volume of sediment produced by gully erosion", en Guidelines for Watershed Management, FAO Conservatiuon Guide N. 1, pp 125-141.-
- 31.- Stocking M.A., 1981. "Causes and prediction of the advance of gullies". Problems Of Soil Erosion And Sedimentation, South-East Asian Regional Symposium, Thailand, pp. 37-47.
- 32.- Thompson J.R., 1964. "Quantitative Effect of Watershed Variables on the Rate of Gully Head Advancement", Transactions, American Society of Agricultural Engineers, Vol. 7, N. 1, pp 54-55 .
- 33.- Thorne C.R. y Tobey N.T., 1981. "Stability of composite river banks", Earth Surface Processes and Landforms, Vol. 6, pp. 469-484.
- 34.- Thorne C. y Zevenbergen L., 1990. "Prediction of ephemeral gully erosion on cropland in the South-eastern United States". Soil Erosion on Agricultural Land, Ed. Boardman, Foster y Dearing. pp. 513-530.
- 35.- Thorne C. R., 1990. "Effects of vegetation on riverbank erosion and stability". Vegetation and Erosion, Ed. Thornes J.B.
- 36.- Tuckfield C.G., 1964. "Gully Erosion in the New Forest, Hampshire", American Journal of Science, Vol. 262, pp 795-807.

- 37.- Van Den Brink J.W. y Jungerius P.D., 1983. "The deposition of stony colluvium on clay soil as a cause of gully formation in the Rif Mountains, Morocco", Short Communications, pp 281-285.
- 38.- Ward R.C., 1984. "On the response to precipitation of headwater streams in humid areas", J of Hydrology, Vol 74, pp. 171-189.
- 39.- Wood E.F., Sivapalan M. y Beven K., 1990. "Similarity scale in catchment storm response", Reviews of Geophysics, 28, 1, pp. 1-18.
- 40.- Zavala H., Novoa J.E., Salgado R. y Nuñez G., 1990. "Plan de experimentación para el desarrollo de un modelo de simulación de la erosión por cárcavas", Primer Congreso Latinoamericano de Manejo de Cuencas Hidrográficas.
- 41.- Zavala H., 1992. "Desarrollo de un modelo numérico de erosión en una cárcava", Segundas Jornadas de Hidráulica Francisco Javier Domínguez, pp. 255-268.
- 42.- Zavala H., 1993. "Modelos numéricos de cauces de lecho móvil", Revista de la Sociedad Chilena de Ingeniería Hidráulica, Vol 8, N. 1, pp. 5-17.