

Cuantificación de la erosión regresiva en cabeceras y pérdida de suelo en cárcavas en el sector de Susucal, estado Lara Venezuela

Quantification of the regressive erosion for headcut and loss of soil in gullies in the sector of Susucal, estado Lara, Venezuela

Valentina Toledo Bruzual
toledo.valentina@gmail.com

**Universidad Pedagógica Experimental Libertador.
Instituto Pedagógico de Caracas**

Recibido en mayo de 2013 y publicado en septiembre 2013

RESUMEN

En la Depresión de Carora, estado Lara, específicamente en la localidad de Susucal, se observan formas erosivas en cárcavas bien desarrolladas sobre espesos sedimentos aluviales. En esta investigación se analiza la morfología acaravada a partir de distintas técnicas y se cuantifica el avance de las cabeceras y el volumen de suelo perdido en tres cárcavas de diferentes tamaños. En la evolución geomorfológica de las cárcavas tiende a aumentar del tamaño de las cabeceras y bordes de las mismas, (tasas de retroceso de 2,05, 4,56 y 4,72 m/año en las cárcavas “A”, “B” y “C” respectivamente.). La tasa de erosión representada en pérdida de suelo es de 2223,83 m³ en un año, elevados si se considera la extensión monitoreada 1350,2 m². El estudio detallado de estas formas erosivas acaravadas ayudará en una adecuada planificación y gestión del suelo en esta zona que en parte está incluida en el futuro del río Morere.

Palabras clave: Erosión hídrica; cárcavas; Depresión de Carora; erosión regresiva

ABSTRACT

In the Depression of Carora, Lara state, specifically in the town of Susucal, erosive forms well developed gully on thick alluvial sediments are observed. This paper analyzes the morphology of acaravada

from different techniques and starts down headcut retreat rate erosion estimation and quantification of the volume of soil lost in three gullies. Its geomorphological evolution tends to the increase in the size of headers and edges of the gullies, (retreat rate of 2.05, 4.56 and 4.72 m/year in the gullies, "A", "B" and "C", respectively.). The first data obtained in the quantification of the current dynamics of these processes, are running at a rate of erosion of 2223,83 m³ a year, high considering the monitored extension 1350,2 m². The detailed study of these forms of erosive riled will help in proper planning and management of the land in this area which is partly included in the future of the Morere River.

Key Words: Erosion hydric; gullies; Carora Depression; regressive erosion

INTRODUCCIÓN

La erosión es un proceso de desgaste y deterioro del suelo a través del cual se produce la remoción progresiva y selectiva de las partículas del mismo, debido a la acción individual y/o combinada de los agentes climáticos (lluvia, viento o hielo), afectada por la biota (vegetación, actividad humana), y el relieve (pendiente: longitud, forma y grado de inclinación) actuando en el tiempo, sobre el recurso suelo (Gásperi, 1982).

El suelo integra una importante variedad de procesos como el crecimiento de la vegetación, flujo de agua de superficie, la infiltración, el uso de la tierra y el manejo de la tierra. La degradación del suelo es, en sí misma, un indicador de la degradación de la tierra.

Según Stocking y Murnaghan (2003), existen diferentes tipos de degradación de suelo que incluyen: hídrica (laminar, regueros, en cárcavas), eólica, disminución de la fertilidad, encharcamiento, aumento de sales, sedimentación o enterramiento del suelo, descenso de la capa freática, pérdida de la cobertura vegetal y aumento de la pedregosidad y rocosidad en la superficie. No obstante, Gásperi (1982), explica que el deterioro del suelo puede ocurrir por la acción de diferentes agentes y expresarse en diversas maneras, pero una importante forma, quizás la

más espectacular y más generalizada es la ocasionada por el agua, es decir, la erosión hídrica e identifica seis tipos de erosión a saber: impacto de la gota y erosión por salpicadura, erosión laminar, en surcos, en cárcavas, subterránea o sufusión y reticular. Ambos autores coinciden en las subdivisiones o tipos en que se pone de manifiesto la erosión hídrica y también en señalar que una característica importante de la erosión del suelo por el agua es la eliminación selectiva de las fracciones más finas y fértiles del suelo.

El proceso erosivo por acción hídrica involucra tres aspectos fundamentales: desprendimiento, transporte y deposición, teniendo como fase inicial el efecto que ejercen las gotas de lluvia cuando golpean la superficie del terreno disgregando o rompiendo las fuerzas que unen los agregados y separándolos en pequeñas partículas (Kirby, 1964).

La erosión es considerada como un proceso geomorfológico de origen hídrico, resultando pertinente distinguir entre la erosión que se produce dentro de un cauce de una corriente fluvial y la que ocurre en el espacio existente entre diferentes cauces o cursos de aguas. Derruau (1966), denomina la erosión que ocurre en los lechos fluviales como erosión lineal y la que sucede fuera del cauce la identifica como erosión areolar. Esta investigación se enfoca hacia la segunda puesto que los factores y principios que rigen el proceso son diferentes y las superficies afectadas son mayores a las correspondientes a la erosión lineal. Igualmente es un estudio de erosión hídrica tipo cárcavas, localizadas en una zona de escurrimiento de un gran glacis de explayamiento que ocupa esta depresión como la define Orellana (1981), y que no involucra el análisis del impacto de la productividad del suelo.

De acuerdo con Radoane, Ichim y Radoane (1995), las cárcavas son formas terrestres, geomorfológicamente de corta vida, inestables y se caracterizan por un escarpado siempre agudo en la cabecera, rápido crecimiento de la cabecera, sección transversal en forma de v o de u y corriente efímera. Sus formas son variadas al igual que sus longitudes, secciones transversales (U o V), patrones, gradientes, edades, etc.

Stocking y Murnaghan (2003), define a la cárcava como depresión profunda, canal o barranco en un paisaje, semejando una superficie reciente y muy activa para drenaje natural; Gásperi (1982), como una canal de origen hídrico, causado por el escurrimiento, a través del cual fluye agua durante o inmediatamente después de lluvias torrenciales. Por lo general su profundidad es mayor de 0.60- 0.80 m y no puede ser corregida por operaciones normales de laboreo.

La formación de una cárcava por flujo superficial frecuentemente aparece ligada a un incremento de la escorrentía, el cual puede deberse a varias causas: cambios en el uso del suelo, modificaciones en el área de drenaje promovidas por el hombre, eventos de precipitación de características extremas, entre otras.

Hudson (1982), explica la formación y avance ilimitado de una cárcava, mediante la fórmula de Manning, la cual relaciona el gradiente y la rugosidad del terreno con la velocidad de flujo, de manera que: $V = R^{2/3} S^{1/2}/n$; el efecto general es que aumente la velocidad, razón por la cual, la erosión en cárcavas se perpetúa así misma y no se autocorrije.

En cuanto a dónde se producen Stocking y Murnaghan (2003), mencionan que son particularmente dominantes en materiales limosos o arcillosos profundos, en arcillas inestables (por ejemplo suelos sódicos), sobre pie de monte inmediatamente debajo de superficies rocosas y sobre pendientes muy pronunciadas sometidas a infiltración de agua y movimiento de tierra. Aunque su origen y evolución temporal no se conocen bien aún, son formas del terreno que aparecen asociadas a litologías fácilmente erosionables y a un régimen climático semiárido (Vicente, s.f).

En forma resumida se puede mencionar las principales causas de la formación de cárcavas: a) cambios de uso del suelo; b) uso inadecuado de laderas; c) caminos no protegidos; d) hábito subterráneo de roedores; e) prácticas inadecuadas de laboreo; f) pérdida de la resistencia del suelo a la erosión; g) aprovechamientos forestales no controlados; h) sobrepastoreo; i) ruptura de obras aguas arriba; j) lluvias de alta intensidad; k) suelos susceptibles a la erosión en canalillos, l) áreas de drenaje compactas donde se concentran en forma rápida los escurrimientos y m) erosión en túnel.

En cuanto a la profundidad y área de drenaje, a este respecto, las cárcavas se agrupan en pequeñas, medianas y grandes de acuerdo con los valores que se muestran en el cuadro 1.

Cuadro 1. Profundidad y área de drenaje de las cárcavas

| Clase | Profundidad (m)* | Profundidad (m)** | Área de drenaje (ha) |
|----------|------------------|-------------------|----------------------|
| Pequeñas | <1 | 1 | <2 |
| Medianas | 1 a 5 | 1-3 | 2 a 20 |
| Grandes | >5 | >3 | >20 |

(*) Martínez, Rubio, Oropeza y Palacios (2009).

(**) Varela (1979)

Gómez, Schnabel y Lavado (2011), presentan una completa revisión bibliográfica sobre algunos aspectos de la erosión por cárcavas, analizan los procesos de formación y desarrollo así como los factores que influyen y determinan la intensidad del acaravamiento. Concluyen señalando que el acaravamiento es un proceso complejo, relativamente frecuente y diverso (cárcavas efímeras, permanentes, asociadas a márgenes o taludes, discontinuas, entre otros). Su génesis y desarrollo suelen ser complejos y en ocasiones representan la respuesta a actuaciones antrópicas. Las consecuencias negativas de dicho proceso son conocidas y no se limitan al punto en el que se produce la incisión, si no que se extienden al flujo y a las zonas de deposición. Pese a esto, algunos aspectos del proceso de acaravamiento son todavía poco conocidos.

Históricamente, se han obtenido estimaciones y registros de erosión en cárcavas a partir de diversas metodologías, desde clavijas de erosión hasta técnicas fotogramétricas, pasando por mediciones de perfiles transversales con cintas y perfiladores (Hudson 1982; Poesen *et. al.* 1996; Oostwoud *et. al.* 2000; Campo *et. al.* 2007). Otros han hecho uso de fotografías aéreas para estimar los cambios en las dimensiones del lecho o canal de la cárcava en el tiempo (Gásperi, 1975; Ries y Marzolf, 2003). También el uso de imágenes de satélite ofrece ventajas comparativas frente a los levantamientos y cartografía convencional de la erosión, especialmente por la vista sinóptica y la cobertura de grandes extensiones

obtenidas con las imágenes sobre el territorio nacional (Mendivelso, Rubiano, Malagon y Lopez, 2004). Los datos obtenidos mediante sensores remotos constituyen una alternativa que provee de información confiable a bajo costo (Buendía, Islas y Guerra, 2008).

Muchos rasgos erosionales tienen un tamaño, patrón o tono que se puede observar en las fotografías aéreas. No obstante, la cuenca se considera como la unidad básica en un estudio de erosión, porque al tratar una parcela en una finca, por ejemplo, se están afectando las otras que se encuentran en la misma cuenca (Varela, 1979). El mismo autor sugiere dentro de la cuenca, si es grande, se puede hacer un estudio a nivel medio y escoger áreas pilotos para estudios más detallados.

Adicionalmente, Stocking y Murnaghan (2003) señalan que la o las cárcavas es más un síntoma de una cuenca degradada que una degradación en sí misma. Expone la necesidad de una posible elección del área para referir la pérdida de suelo: una u otra, a) del área de captación a la cárcava o b) el área del terreno en la que se encuentran las cárcavas. La primera se refiere a cuenca o subcuenca a partir de la cual el agua corre hacia dentro de la cárcava y se expresa como metros cúbicos de suelo por metro cuadrado. Para el segundo caso, se debe tomar sólo el área dentro de cada unidad de tierra afectada por cárcavas como el área de captación y se expresa en metros cúbicos de suelo perdido.

Sin embargo, la delimitación del área de una cuenca en una zona de clima húmedo no es igual en un área semiárida o árida donde éstas presentan innumerables hilillos de agua que excavan pequeños valles dificultando el cierre de la misma. Tal caso supone la elección del área para referir la pérdida de suelo como se mencionó en el párrafo anterior.

Por otra parte, Gómez, Schnabel y Lavado (2011) señalan que existen ecuaciones que son utilizadas como variables predictoras para la iniciación de cárcavas. Entre los más simples, se encuentran la descarga total (Q) o la descarga unitaria (q) Meyer (citado en Gómez *et. al.* 2011): $Q = vA$; $q = Qw$, donde v , la velocidad del flujo ($m\ s^{-1}$), A , es el área de la sección de la cárcava (m^2) y w como la anchura de la cárcava (m). Otros parámetros

considerados para tal fin son: el esfuerzo cortante del flujo, potencia de la corriente y la intensidad y capacidad del arranque de partículas, entre otros. Sin embargo, hay poca información disponible sobre las técnicas para predecir cuantitativamente la erosión en cárcavas, en canal o en las riberas (Mitchell y Bubenzer, 1991).

Los factores que condicionan el desarrollo e intensidad del proceso son muy diversos y en ocasiones se encuentran íntimamente relacionados entre sí (Poesen *et. al.* 2003), definen la pérdida de suelo debida al acarreamiento como una función multivariable, que expresaron de la siguiente forma: $Ec = f(G, S, U, C, T)$ donde Ec es la erosión por cárcava, G es el tipo de cárcava, S representa las propiedades del suelo y el sustrato, U el uso y manejo del mismo, C es el clima y T es la topografía.

En cuanto a las consecuencias derivadas de la erosión hídrica, tipo cárcava se citan las siguientes: pérdidas de nutrientes, disminución de la tasa de infiltración y capacidad de retención de humedad, reducción de la superficie de tierra arable e incremento de costo de desarrollo, azolvamiento de embalses, sedimentación de cauces naturales y en canales de riego, acumulación de sedimentos en calles o carreteras y reducción de la productividad (Gásperi, 1982; Martínez *et. al.* 2009; Gómez, *et. al.* 2011).

Al considerar la erosión hídrica es prudente pensar en la cantidad de suelo fértil que se pierde. El suelo que queda es menos productivo y puede volverse completamente estéril, Dappo (1968), describe esta situación en la localidad de Susucal, estado Lara, la cual se encuentra en una fase severamente erosionada. Comisión del Plan Nacional de Aprovechamiento de los Recursos Hidráulicos (COPLANARH) (1973), menciona la presencia de erosión en cárcavas generalizada, asociada localmente con potencial morfodinámico severo (Bad-Lands) y medios morfogénéticos activos con problemas de erosión o acumulación generalizada. Al margen de la utilidad de estos señalamientos, muy poca información detallada de los procesos erosivos que ocurren en la zona han sido estudiados (Toledo, 1997). Susucal está inmersa dentro de una zona mayor, conocida como la Otra Banda, Playas de Carora o la Depresión de Carora, Dappo (1968) describe la zona

como un terreno erosionado, que presenta una combinación intrincada de cárcavas profundas o de moderada profundidad pero no reporta valores de pérdida de suelo (Figura 1). Teniendo en cuenta la problemática de la zona y la falta de cuantificación de pérdida de suelo, en este trabajo se planteó como objetivo cuantificar el avance de las cabeceras y el volumen de suelo perdido en tres cárcavas de diferentes tamaños. Los efectos son de interés porque las cárcavas vacían la tierra agrícola fragmentando los campos y con ello interfieren con la eficiencia de las operaciones, a la vez interrumpen las vías de acceso dejando pueblos incomunicados.

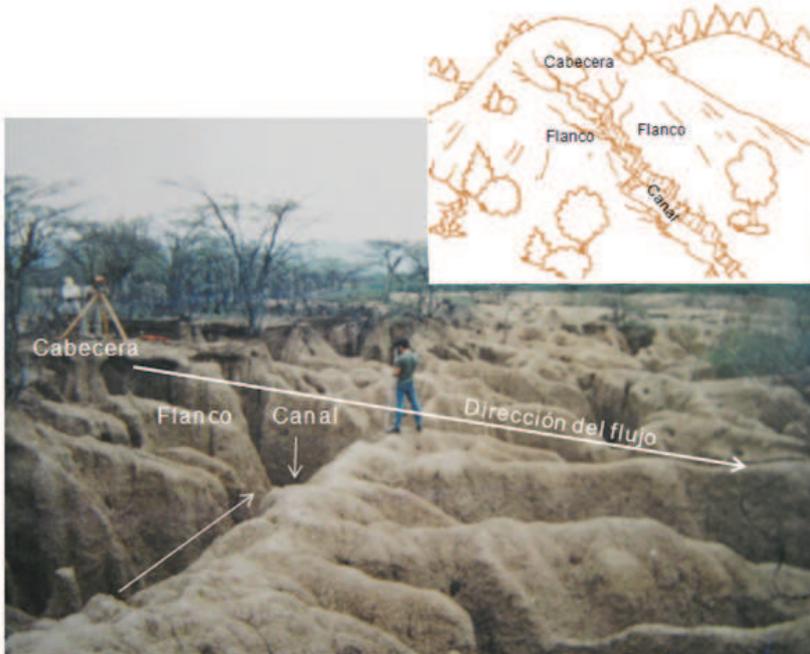


Figura 1. Paisaje de Cárcavas y sus partes en la Depresión de Carora

MÉTODO

Características físico-geográficas del área

El área de estudio se encuentra inmersa en una zona mayor conocida como la Otra Banda, playas de Carora o la depresión de Carora. Esta tiene una superficie aproximada de 900 km² y está localizada al NO de

la ciudad de Carora, abarcando áreas menores al SO y NE de la misma. Las cárcavas se encuentran ubicadas en el Municipio Torres, estado Lara entre los $10^{\circ} 14'46''$ y $10^{\circ} 16'23''$ N y a $70^{\circ} 15' 00''$ y $70^{\circ} 17' 13''$ O; entre la localidad de Susucal y la Candelaria, al noroeste de la Quebrada El Jobo. La superficie de estudio cubierta por cárcavas fue de 1350 m^2 , a una altitud entre 440 a 480 m.s.n.m (figura 2).



Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales. Dirección de Cartografía Nacional. (1977). Fragmento del Mapa Topográfico Barquisimeto. NC19-6. Escala 1:250.000

Figura 2. Localización de las cárcavas de estudio

La tectónica cuaternaria ha jugado un papel primordial en la formación de esta depresión y su evolución posterior, al respecto COPLANARH (1975), señala que probablemente hasta épocas geológicas reciente, la depresión evolucionó en ambiente totalmente cerrado por un cinturón de escarpes por espesos sedimentos detríticos cuaternarios provenientes de la erosión de las sierras vecinas. Las Sabanas de Carora están constituidas por sedimentos aluvionales del cuaternario según La Fundación para el Desarrollo de la Región Centro Occidental (FUDECO, 1981). La escasez de las lluvias (700 mm/año) unida a los altos valores de temperatura 28°C y evaporación 2000 mm/año, determina en la zona una marcada característica semiárida (Toledo, 1997). Para Ferrer (1981), la vegetación predominante es la del Bioma Espinar, en diferentes grados de densidad.

Las tres cárcavas “A”, “B” y “C” se ubican perpendiculares a la Quedrada El Jobo, entre las localidades de Susucal y la Candelaria. Se realizaron dos levantamientos topográficos para las tres cárcavas en dos años distintos, 1994 y 1995. Se colocaron clavijas de hierro de 30 cm de largo, enterradas a 20 cm de profundidad en el perímetro de cada una. El primer levantamiento se hizo con cinta métrica y un clinómetro. Se midió la profundidad, anchura al borde superior y en la base y longitud de la cárcava en metros. Las mediciones de anchura y profundidad se realizaron cada 3 o 5 m a lo largo de cada cárcava. De esta manera, se obtuvieron secciones transversales de cada cárcava. Para el segundo levantamiento se utilizó teodolito y distanciómetro, y se realizaron los registros sobre las mismas clavijas permanentes de monitoreo. Se obtuvieron 18 secciones transversales por cada año. Posteriormente las cárcavas A y B fueron dibujadas a escala 1:200 y la cárcava C, a escala 1:50. Sobre estos planos, se especificaron la ubicación de clavijas, de las secciones transversales así como símbolos convencionales en general.

En la parte de la cabecera de la cada una de las cárcavas, se colocaron clavijas separadas cada 3 m desde el borde de la cabecera y otras detrás de ésta, hasta llegar a tocar el borde la carretera que comunica las dos poblaciones Susucal-La Candelaria, esto con la finalidad de registrar la erosión regresiva en campo.

Cálculos

Para calcular el área media de la sección transversal de cada cárcava, en m², se utilizó la fórmula siguiente: $(W_1 + W_2) / 2 \times d$, propuesta por Stocking y Murnaghan (2003). Donde W_1 es la anchura al borde superior, W_2 es la anchura en la base y d es la profundidad. Por tanto, se sumó todas las medidas y luego se aplicó la fórmula.

Para calcular el volumen de suelo perdido de cada cárcava expresado en m³, se multiplicó el área de la sección transversal obtenido del cálculo anterior por la longitud de la cárcava.

También se estimó el índice de disección en la cárcava propuesto por Crouch y Blong (1989) a través de la relación perímetro de la cárcava entre la longitud tomada desde la parte baja de la cabecera hasta la salida de la cárcava. La fórmula fue la siguiente: $ID=Pe/L$, donde ID es el índice de disección, Pe es el perímetro de la cárcava, en m y L es la longitud, en m. Luego, se aplicó el criterio cualitativo sugerido por los mismos autores. Este índice permitió tener una referencia aproximada del estado de desarrollo de la cárcava.

Cuadro 1. Criterios del Índice de Disección

| Tipo | Categoría | Rango |
|-------------|------------------|--------------|
| IDD | Débil | 1: 1,5 |
| IDM | Moderado | 1: 1,5-3,0 |
| IDF | Fuerte | 1: >3,0 |

Tomado de: Crouch y Blong (1989)

El radio hidráulico se calculó de la siguiente manera: $R= A/d$, donde A es el área hidráulica (promedio de área transversal) en m² y d, es el promedio ancho en la base, en m (Teixeira, 1991). Este parámetro permitió comprobar el aumento o no de la base de la cárcava y la posible interpretación de mayor desalojo de material.

Para estimar el avance anual promedio de las cabeceras de las cárcavas, se utilizó la ecuación del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (SCS) de 1966 (citado en Mitchell y Bubbenzer,

1991), $R = 1.5 A^{0.46} \times P^{0.20}$, donde: R, es el avance anual promedio de la cabecera de la cárcava, en m. A, área drenada por la cárcava, en m^2 y P es la precipitación total de lluvias de 24 horas igual o mayor de 12,7 mm para un año, convertida a una base anual promedio, en mm totalizando un monto de 210 mm.

A fin de estimar el posible crecimiento de las cabeceras, la ecuación anterior puede ser utilizada de la siguiente manera:

$R_2 = R_1 (A_2)^{0.46} \times (P_2)^{0.20} / A_1 \times A_2$. En este caso, los valores de A_2 y P_2 son prefijados, los cuales permiten estimar escenarios probables o proyecciones de crecimientos para cada cárcava. Los resultados de las ecuaciones fueron comparados con los controles representados por las clavijas en campo para los períodos 1994-1995.

Otro parámetro considerado fue el radio semi-circular en la cabecera según Fola (1989), el cual se obtiene tomando en la anchura al borde superior más cercano a la cabecera, luego colocado en la mitad de esta longitud, se mide perpendicular hacia el borde interno de la cabecera (L). El borde exterior de la cabecera se midió con cinta métrica colocando clavos cercanos al contorno externo para delimitar el perímetro. Luego, se midió el ancho máximo de la cabecera (W). La fórmula utilizada fue la siguiente $RSC = L / W$. Posteriormente, se aplicó el criterio cualitativo según Fola (1989).

Cuadro 2. Criterio cualitativo del radio semi circular de la cabecera

| Definición | Rango | Interpretación |
|------------|-----------|---------------------------|
| $L < A$ | $RSC < 1$ | Crecimiento lateral |
| $L = A$ | $RSC = 1$ | Crecimiento semi circular |
| $L > A$ | $RSC > 1$ | Crecimiento longitudinal |

Análisis estadístico

Se calculó el coeficiente de correlación de Spearman para obtener el grado de asociación entre las variables morfológicas en las cárcavas.

Posteriormente, se utilizó t-Student para valorar el grado de asociación estadísticamente significativa de los resultados, para ello se usó con el programa SPSS, 7.5.

RESULTADOS

De acuerdo con las variables reportadas en el cuadro 3, las cárcavas que se desarrollan en los suelos aluvionales de Susucal, son cárcavas con profundidades medianas a grandes (Varela, 1979; Martínez *et. al.* 2009) con longitudes variadas y algunas relativamente cortas. Las variaciones del perfil longitudinal, son mayores a partir de las primeras secciones. A lo largo de las cárcavas la erosión se distribuye con pendientes entre 1-2% en el canal lecho y en las proximidades de las cabeceras varía notablemente haciéndose más inclinadas con valores entre 18 y 25% para la cárcava “A” y “B”. Para la cárcava “C”, la pendiente en la parte baja de la cabecera se ve afectada por depósitos que originan saltos bruscos de pendientes oscilando entre 69% y 42%. La figura 3, muestra una vista de planta de las cárcavas “A”, “B” y “C.”

Cuadro 3. Variables Morfométricas para el estudio de las Cárcavas (1994-1995)

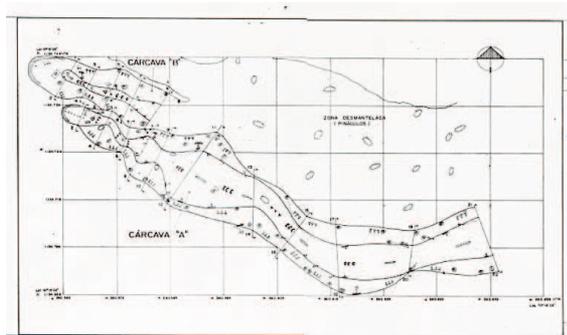
| Variable / | Símbolo | Unidad | Cárcava A | Cárcava B | Cárcava C |
|---------------------------|---------|----------------|-----------|-----------|-----------|
| Longitud de la Cárcava | L | m | 68,8 | 19,0 | 21,9 |
| Altura de la Cárcava | A | m | 463 | 462 | 460 |
| Área de la Cárcava | AG | m ² | 970,3 | 204,6 | 175,3 |
| Perímetro de la Cárcava | Pe | m | 200 | 65 | 60 |
| Profundidad | P | m | 3,38 | 2,0 | 3,38 |
| Ancho en la base | AB | m | 4,29 | 2,32 | 4,68 |
| Anchura al borde superior | AS | m | 11,85 | 6,76 | 9,1 |
| Área transversal | AT | m ² | 22,47 | 8,81 | 23,98 |

Las secciones transversales presentan formas en U y trapezoidal en algunos casos. Según Martínez *et. al.* 2009, la forma en tipo U indica

que el suelo superficial tiene la misma resistencia que el subsuelo y el tipo trapezoidal, el sustrato es muy resistente a la erosión. Ambas formas se encuentran intercaladas a lo largo de las cárcavas pero dominan las formas en U; la figura 4 ilustra algunas secciones transversales de cada cárcava.

Los cambios morfológicos acaecidos en un año (1994-1995), en cada cárcava se destacan mejor si analiza por tramos. En la cárcava "A", las primeras secciones, desplazó más del 35% del volumen total, pero el tramo donde realmente estos valores son altos corresponde a la sección media de la cárcava, con un 47,37% del total del tramo. Hacia la parte alta próxima a la cabecera, desplazó un 13,39%. También hay un incremento de profundidad de 9,61% para el flanco izquierdo y un 3,51% para el flanco derecho aproximadamente.

Cárcava "A" y "B"
Escala 1:200



Cárcava "C"
Escala 1:50

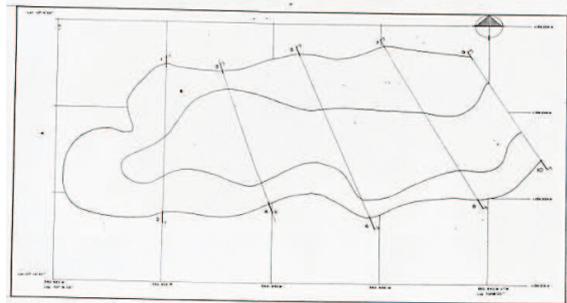


Figura 3. Vista en planta y ubicación de las secciones transversales en las Cárcava

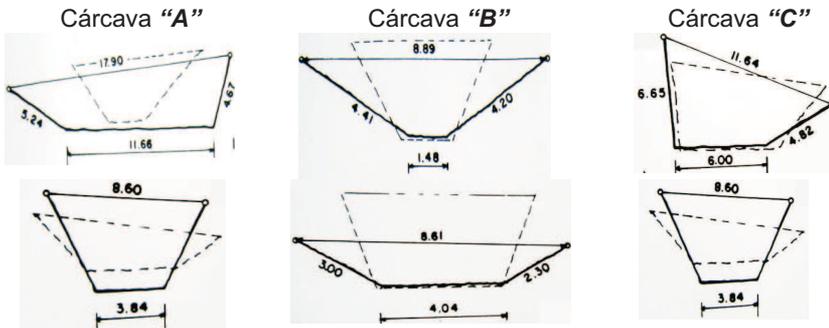


Figura 4. Secciones Transversales de las Cárcavas

Para la cárcava "B", la sección inferior donde se ubica la salida de la cárcava, desplazó el 67,77% de suelo, con un incremento en la profundidad de los flancos izquierdos de 12,4% y flanco derecho de 19%. En las secciones medias y altas se registraron valores de deposición de un 82.70%. Aun cuando, se produce esta deposición, existe un incremento en la profundidad del flanco izquierdo en un 21,2% y del flanco derecho de un 30,9%.

Para la cárcava "C", la sección inferior o salida de la cárcava, desplazó el 12,72% del volumen total, mientras que las secciones media un 63,25% del total. Hacia la sección superior próximo a la cabecera desplazó un total de 24,03%. Estos volúmenes van acompañado de un incremento en profundidad de los flancos, para el izquierdo de 19,9% y flancos derechos de 20%. La cárcava "C" presenta un mayor ensanchamiento en las secciones medias y es más estable su evolución hacia la salida de la misma.

En las tres cárcavas se observó un mayor desplazamiento de ángulo de abertura del flanco izquierdo con respecto al derecho en todas las secciones transversales. Quizás esto ocurrió debido a que las cárcavas se orientan en forma perpendicular a la Quebrada El Jobo, la cual constituye el nivel de base local de las aguas que escurren de las cárcavas, coincidiendo con el sector cóncavo de la base de las cárcavas donde está más acentuada los proceso erosivos; en consecuencia, origina el ensanchamiento por fuerza en este lado. La variación entre 1994 y 1995 de los volúmenes de suelo perdido se reportan en el cuadro 4.

Cuadro 4. Volumen de suelo perdido de las Cárcavas

| Variable Año | Cárcava "A" | | Cárcava "B" | | Cárcava "C" | |
|---------------------------------|-------------|---------|-------------|--------|-------------|-------|
| | 1994 | 1995 | 1994 | 1995 | 1994 | 1995 |
| Suelo perdido (m ³) | 750,2 | 2585,38 | 170,46 | 163,82 | 336 | 717,6 |
| ΔV (m ³) | 1835,18 | | 6,64 | | 382 | |
| Radio Hidráulico (m) | 7,45 | 15,0 | 4,55 | 2,08 | 6,37 | 19,70 |
| Δ Radio Hidráulico (m) | 7,55 | | 2,47 | | 13,3 | |

De acuerdo a estos valores, si se considera que en un área de 1350,2 m² que constituye la suma de las tres áreas de las cárcavas, haya desplazado un total de 2223,83 m³ de suelo en un año, evidencia un volumen representativo de material desalojado. Toledo (1997), señala que de acuerdo al comportamiento de las lluvias, es posible que tal pérdida ocurra en mayor proporción entre los meses de septiembre-noviembre, donde se concentran el 50% de las lluvias, con un dominio de lámina de agua mayor a 20 mm representado en un 66%. Los lapsos de tiempo en los cuales ocurren estas precipitaciones tienen a realizarse entre 15 minutos con tendencia a alargarse.

Por otra parte, los valores de radio hidráulico (cuadro 4), indican que se produjo un cambio más acentuado de este parámetro en la cárcava "A" y "B" en un año, no así para la cárcava "C". Una vez comenzado la cárcava, el ancho de la base o canal es de sección más angular y profunda que la original, es decir, los cambios se manifiestan en un aumento del radio hidráulico lo que probablemente genera mayor cantidad de material desalojado en el interior de las cárcavas. Es notoria la diferencia de volumen de suelo perdido que ocurre en las cárcavas "A" y "C" mientras que en la cárcava "B" se produce una disminución del radio hidráulico y al mismo tiempo una disminución del volumen perdido de suelo lo que representa una deposición. La presencia de vegetación arbustiva en las primeras secciones en la cárcava "B", posiblemente contribuyó a reducir la descarga (Teixeira, 1991).

Las cárcavas “A” y “B” presentaron un índice de disección fuerte mientras que la cárcava “C” moderado de acuerdo con Crouch y Blong (1989), (cuadro 5).

Cuadro 5. Índice de Disección para las Cárcavas (1994-1995)

| Variable | Cárcava “A” | Cárcava “B” | Cárcava “C” |
|--------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| Perímetro (m) | 199 | 63 | 55 |
| Longitud de la Cárcava (m) | 46,0 | 19,0 | 21,9 |
| Índice de Disección ID=Pe/L | 4,33 | 3,31 | 2,51 |
| Grado o Criterio | Fuerte | Fuerte | Moderado |

La transformación en la morfología de las cárcavas como respuesta a los cambios en los flancos y éstos a su vez supeditados a la variación del ancho del canal o lecho, conlleva a modificaciones en las secciones transversales, existiendo una alta correlación significativa ($p > 0,01$) con el índice de disección (cuadro 6). Al respecto, Gómez *et. al.* (2011) señala que el ensanchamiento de una cárcava debido al continuo colapso de sus márgenes puede representar el principal proceso de crecimiento del canal o lecho. Se observa en los registros a lo largo del cauce, que el proceso de ensanchamiento se combina con el ahondamiento del canal para ajustar la forma de las secciones.

De acuerdo a los resultados del cuadro 7, la cárcava “A” registró un avance regresivo de 2.05 m, la cárcava “B” de 4.56 m y la cárcava “C” de 4.72 m. La ecuación utilizada, se ajusta a los valores obtenidos para la cárcava “A” y “B”, comprobado con los controles de clavijas. Mientras que para la cárcava “C” no existe un resultado cercano con el obtenido con las mediciones de las clavijas. Sin embargo, ambas variable presentaron una alta correlación pero siendo significativa la estimada por la ecuación ($p > 0,01$).

Cuadro 6. Prueba t-Student

| Variable | t | gl | Valor de prueba =0.01 | | | |
|---------------|--------|----|-----------------------|----------------------|--|----------|
| | | | Sig. (bilateral) | Diferencia de medias | Intervalo de confianza para diferencia | |
| | | | | | Inferior | Superior |
| Anch.BorCab. | 6,273 | 2 | ,024 | 9,2267 | 2,8977 | 15,556 |
| Anch.Base | 5,139 | 2 | ,036 | 3,7533 | ,6107 | 6,8960 |
| Area | 1,729 | 2 | ,226 | 450,06 | -669,73 | 1569,8 |
| AreaTransv. | 3,816 | 2 | ,062 | 18,4100 | -2,3491 | 39,169 |
| Clavijas | 2,636 | 2 | ,119 | 6,0700 | -3,8386 | 15,979 |
| Eros.Regres. | 4,357 | 2 | ,049 | 3,7667 | 5,E-02 | 7,4866 |
| Ind.Disecc. | 12,971 | 2 | ,006 | 2,8833 | 1,9269 | 3,8398 |
| Long | 2,265 | 2 | ,152 | 36,5567 | -32,881 | 105,99 |
| Perimetro | 2,362 | 2 | ,142 | 108,32 | -88,979 | 305,63 |
| Profundidad | 6,326 | 2 | ,024 | 2,9100 | ,9308 | 4,8892 |
| Radio semcir | 4,902 | 2 | ,039 | 1,3500 | ,1651 | 2,5349 |
| Volm.Perdido | 1,329 | 2 | ,315 | 741,26 | -1657,8 | 3140,4 |
| Radio Hidrau. | 2,171 | 2 | ,162 | 7,1700 | -7,0411 | 21,381 |

Cuadro 7. Tasa de avance de las cabeceras de las cárcavas 1994-1995

| Variable | Cárcava A | Cárcava B | Cárcava C |
|----------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| Uso de clavija en el terreno (m) | 2,98 | 4,68 | 10,58 |
| Erosión regresiva (m) (*) | 2,05 | 4,56 | 4,72 |
| Desvío de precisión | ±0,47 | ±0,06 | ±2,93 |

(*) Estimación por la ecuación del SCS de los Estados Unidos (1966).

En el retroceso escalonado en las cabeceras existe una alta correlación con la forma que éstas presentan de manera significativamente ($p>0,01$). Los valores reportados en el cuadro 8 de radio semicircular para las cárcavas “A”, “B” y “C” indican que las cabeceras presenta un crecimiento longitudinal (Figura 5).

Cuadro 8. Variación del radio semi-circular de las cabeceras de las cárcavas

| Variable | Cárcava “A” | Cárcava “B” | Cárcava “C” |
|--------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| Longitud máxima de la cabecera | 3,85 | 8,0 | 9,75 |
| Ancho máximo de la cabecera | 3,44 | 7,5 | 5,0 |
| Relación L/A | 1,1 | 1,05 | 1,91 |
| Tipo de crecimiento | Longitudinal | Longitudinal | Longitudinal |

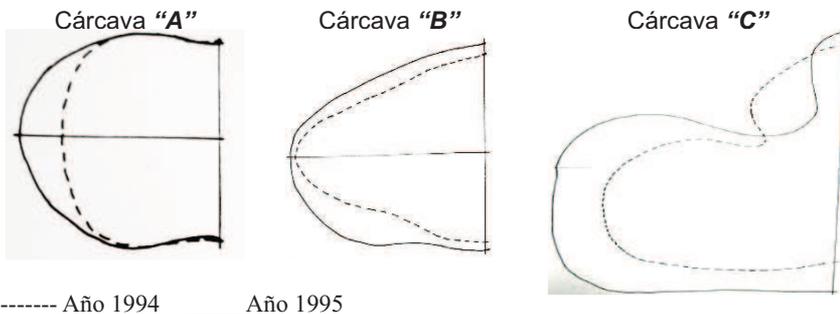


Figura 5. Formas de las cabeceras de las distintas cárcavas

De las tres cárcavas, la “C” experimentó un ritmo más acelerado de crecimiento, seguido por la “B” y por último la cárcava “A” pero sigue siendo importante el retroceso de estas dos últimas, si a ello se le agrega que las secciones ubicadas al comienzo de la cárcava son angulares debido a que el subsuelo tiene más resistencia que el suelo superficial (Martínez *et. al.* 2009), entonces la incisión vertical es aún más acentuada y promueve el escarpe.

Por consiguiente, una cárcava se crea por la acción del agua. La escorrentía se canaliza en las cárcavas que profundizan con el tiempo para formar un marcado frente (cabecera) con caras (flancos o laderas) muy empinadas. Las cárcavas se extienden y socavan en dirección ascendente por erosión regresiva y progresivos colapsos de sus partes altas; las laderas o flancos también se derrumban por filtración de agua o por socavado del flujo de agua, promoviendo el crecimiento lateral de las cárcavas (Toledo, 1997; Stocking y Murnaghan, 2003; Gómez, Schnabel y Lavado, 2011).

CONCLUSIONES

Las transformaciones en la morfología de las cárcavas como respuesta a los cambios en los flancos se ha explicado por el incremento en la incisión vertical y en un retroceso escalonado en las cabeceras, existiendo una estrecha relación entre la extensión de las cárcavas y el crecimiento lateral de las mismas.

La tasa de crecimiento de las cabeceras está relacionada con la forma que están presentando. Las cabeceras “A”, “B” y “C” muestran un crecimiento longitudinal que coincide el máximo de avance.

Las pérdidas de suelo traen como consecuencia un incremento de material sólido hacia el río El Jobo, el cual descarga sus aguas en el río Morere con el consecuente problema de mal drenaje e inundaciones en este sector en el período de las lluvias. Se recomienda someter a períodos más largos la ecuación y su utilización en regiones semiáridas con problemas de erosión tipo cárcavas.

REFERENCIAS

- Buendía, E., Islas, F., y Guerra, V. (2008). Identificación de áreas erosionadas por medio de imágenes landsat etm, en tlaxco y terrenate, tlaxcala, México. *Terra Latinoamericana*, 26 (1), 1-9
- Campo, M., Álvarez, J., Casalí, J., y Giménez, R. (2007). Effect og topography on retraeat rate of different gully headcuts in Bardenas Reales área (Navarre, Spain).En J. Casalí y R. Giménez (Comp.), *Progress in gully erosion research*. (24-25). Pamplona: University of Navarra
- Comisión del Plan Nacional de Aprovechamiento de los Recursos Hidráulicos (COPLANARH) (1973). Balance morfodinámico de la Región Centro Occidental. [Mapa]. *Segundo inventario de aguas superficiales de la region Centro Occidental de Venezuela*, (p.6). Barquisimeto
- Comisión del Plan Nacional de Aprovechamiento de los Recursos Hidráulicos (COPLANARH) (1975). Estudio geomorfológico de las Regiones Costa Noroccidental, Centro Occidental y Central. *Publicación 44*. Caracas
- Crouch, R., y Blong, R. (1989). Gully sidewall classification: Methods and applications. *Zeitschrift Fur Geomorphologie*, 33(3), 291-305
- Dappo, F. (1968). *Estudio preliminar sobre la erosión en las Playas de Carora*. Edo. Lara. Barquisimeto: Fundación para el Desarrollo de la Región Centro Occidental de Venezuela

- Derruau, M. (1966). *Geomorfología*. Barcelona: Ariel
- Ferrer, E. (1981). *Perfil ecológico y perspectivas de desarrollo en tierras de ambiente árido, un caso de estudio La Otra Banda, Distrito Torres, Estado Lara*. Barquisimeto: Fudeco
- Fola, S. (1989). A morphometric approach to gully analysis. *Zeitschrift Fur Geomorphologie*, 33 (3), 307-322
- Fundación para el Desarrollo de la Región Centro Occidental (FUDECO, 1981). *Diagnóstico y posibilidades de desarrollo de La Otra Banda, Distrito Torres, Estado Lara, Barquisimeto*
- Gásperi-Mago, R. (1975). Evaluación del proceso erosivo en las áreas planas de la Depresión de Quíbor [Resumen] *V Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo* (pp.1-38). Medellín: Colombia
- Gásperi-Mago, R. (1982). Principios básicos de erosión y conservación de suelos. *Suplemento Técnico*, 28, 1-203. Barquisimeto: Fundación para el Desarrollo de la Región Centro Occidental de Venezuela
- Gómez, A., Schnabel, S., y Lavado, F. (2011). Procesos, factores y consecuencias de la erosión por cárcavas; trabajos desarrollados en la Península Ibérica. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*. 55, 59-80
- Hudson, N. (1982). *Conservación del Suelo*. México: Reverté
- Kirby, M. (1964). Erosion by water on hillslopes. *Introduction to fluvial processes*. (99-107). USA: W.H. Freeman
- Martínez, M., Rubio, E., Oropeza, J., y Palacios, C. (2009). Control de Cárcavas. [Documento en línea] Disponible: <http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasCOUSSA/Control%20de%20carcavas.pdf>[Consulta: 2013, Mayo19]
- Mendivelso, D., Rubiano, Y., Malagon, D., y López, D. (2004). *Erosión de las Tierras Colombianas*. Santa Fe de Bogotá: Departamento Administrativo Nacional de Estadística-Dane. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Subdirección de Agrología
- Mitchell, K., y Bubenzer, G. (1991). *Estimación de la Pérdida de suelo*. En M. Kirkby y R. Morgan (Comp.), *Erosión de Suelos*.(35-88) México: Limusa
- Oostwoud, D., Poesen, J., Vandekerckhove, L., y Ghesquiere, M. (2000). Spatial distribution of gully head activity and sediment supply along an

- ephemeral channel in a Mediterranean environment. *Catena*, 39, 147-167
- Orellana, G. (1981). *Marco Físico y Clasificaciones interpretativas de uso de las Tierras en la Otra Banda, Distrito Torres, Estado Lara*. Barquisimeto: Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables
- Poesen, J., Nachtergaele, J., Verstraeten, G., y Valentin, C. (2003). Gully erosion and environmental change: importance and research needs. *Catena*, 50, 91-133
- Poesen, J., Vandaele, K., y Van Wesemael, B. (1996). Contribution of gully erosion to sediment production on cultivated lands and rangelands. *IAHS*, 236,251-266
- Radoane, M., Ichim, I., y Radoane, N. (1995). Gully distribution and development in Moldavia, Romania. *Catena*, 24 (2),127-146
- Ries, J., y Marzoff, I. (2003). Monitoring of gully erosion in the Central Ebro Basin by large-scale aerial photography taken from a remotely controlled blimp. *Catena*,50, 309-328
- Stocking, M., y Murnaghan, N. (2003). Evaluación de Campo de la degradación de la Tierra. España: Grupo Mundi-Prensa
- Teixeira, M. (1991). Slope geometry and gully erosion development: Bananal, Sap Paulo, Brazil. *Zeitschrift Fur Geomorphologie*, 34 (4), 423-434
- Toledo, V. (1997). *Estudio de la erosión del suelo en el sector comprendido entre el Susucal, La Candelaria y Muñoz, Estado Lara*. Trabajo de grado no publicado, Universidad Pedagógica experimental Libertador, Instituto Pedagógico de Caracas
- Varela, J. (1979). *Notas sobre problemas de erosión y su mapeo*. Bogotá: Centro Iberoamericano de Fotointerpretación
- Vicente, M (s/f). *Origen, evolución y dinámica actual de cárcavas del piedemonte norte del Guadarrama. Métodos de estudio y criterios para su gestión con bases ecológicas*. Comunicación Técnica [Documento en línea] Disponible: http://www.conama9.org/conama9/download/files/CTs/985824_MVicente.pdf [Consulta: 2013, Mayo 31]