

## ESTUDIO DE LA FORMACIÓN DE CÁRCAVAS DEL ESTADO BOLÍVAR

Manuel Funes, Félix Martínez, José Pravia  
y José Herrero\*

### RESUMEN

En este estudio se trata de la aceleración del proceso erosivo remontante de los taludes de las cuencas de los ríos de Ciudad Bolívar, que forman unas estructuras conocidas como cárcavas. Por medio de este estudio se determina el origen de la formación de estas cárcavas, la caracterización del clima y suelos del área con el propósito de encontrar posibles soluciones geotécnicas para su estabilización a largo plazo y control de las mismas.

Palabras claves: Cárcavas, erosión, taludes, drenaje.

### ABSTRACT

This study deals about the acceleration of the erosion process on the banks of the rivers that surround Ciudad Bolívar, in the south of Venezuela. They form geotechnical structures known as gullies. This research determines the origin of the formation of these gullies, and the characteristics of climate and soils in this area, in order to find possible geotechnical solutions for their long term stabilization and control.

Key Words: Gullies, Erosion, Banks, Drainage.

### INTRODUCCIÓN

Las cárcavas se caracterizan por el desmoronamiento de las paredes de los cauces de agua de escorrentía, tanto lateral como longitudinal, la que avanza en la dirección aguas arriba. La pérdida de suelo en el eje del canal se debe a la socavación en el lecho, inducida por el flujo de

agua y ésta a su vez se produce por la inestabilidad de la pendiente longitudinal. La importancia de la erosión de suelo y formación de cárcavas ha sido observada por varios autores. Uno de los primeros estudios de la erosión por cárcavas fue realizada por Woodburn (1949) en la región norte del río Mississippi. Él estimó que aproximadamente 0,0126 mm. de suelo se perdían por m<sup>2</sup> de superficie de cárcava Activa por año. Piest et al (1976) ha observado que la erosión en los colectores de drenaje en la región de loess del centro de Estados Unidos se ha incrementado en las últimas décadas. Ellos estiman una rata de erosión anual de 0.45 Kg/m<sup>2</sup> debida a la degradación de los canales. La erosión en los drenajes y la formación de cárcavas representan aproximadamente el 50% de la totalidad de la pérdida de suelo por erosión en las cuencas estudiadas. La acelerada erosión está relacionada al aumento de las áreas cultivadas y principalmente a los desarrollos urbanos. Las mediciones y estimaciones de 113 cuencas en varias partes de los Estados Unidos y una muestra de 20 cuencas de drenaje, (Kirkby 1980) señala que la erosión en el lecho de las cárcavas representa el 33% de la erosión total.

Los estimados de erosión en canales y cárcavas se han obtenido por medio de mediciones de las secciones transversales a lo largo de los canales a intervalos periódicos. Otros autores han utilizado fotografías aéreas tomadas a intervalos de tiempo tal que se observe el avance de la cárcava. Gascón (1989) realizó un estudio de este tipo en las cárcavas de Ciudad Bolívar, quien determinó que algunas avanzaban velocidades hasta de 3,50 m por año. Sin embargo, hay poca información disponible sobre las técnicas de predecir cuantitativamente la erosión en las cárcavas y su avance. Lane (1955) presentó una relación proporcional para canales con lechos de material no-cohesivos. Otros han utilizado numerosas ecuaciones de transporte de material de lecho para estimar la pérdida de suelo en los canales de drenaje.

La formación y desarrollo acelerado de cárcavas en los suelos arenosos de Ciudad Bolívar, en extensas áreas urbanas relacionadas con las cuencas de los ríos Buena Vista, San Rafael, Santa Bárbara y otros drenajes secundarios constituyen un grave y costoso problema social y econó

\* Universidad de Oriente, Núcleo Bolívar, Escuela de Ciencias de la Tierra.

Recibido: Mayo 1997. Aprobado: Diciembre 1998.

mico para las comunidades de los barrios de La Sabanita, El Perú, Cementerio (Jobo Liso), entre otros, así como para los entes gubernamentales que viene tomando conciencia de esta situación de gran magnitud.

Informaciones relacionadas con el inventario, situación, propuestas de solución (obras de drenajes y control de erosión), han sido reportadas por Funes (1985), Betancourt y Guevara (1989), Benavides y Velásquez (1990), y Funes *et al.* (1995). Otros autores han venido trabajando en el estudio de la erosión por corrientes de agua tales como: Andre (1981), Chang (1990), Bolinaga (1979), Flores *et al.* (1978), Graff (1971), Kirkby (1980), Martin (1970), Pravia (1987), Suárez (1981). El control de erosión y la construcción de taludes para evitar ésta ha sido tratado ampliamente por Osman (1978), Leventhal *et al.* (1987) y Revyaco (1994).

En este trabajo se establecen y analizan los factores, mecanismos erosivos, diseños propuestos, soluciones integrales e inventario de las cárcavas y su urgente necesidad de su adecuado tratamiento constructivo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La descripción cuantitativa del crecimiento de las cárcavas está concentrada principalmente, en definir la velocidad de avance de la cabeza de las mismas o el incremento del área afectada por la cárcava. Estos efectos son de importancia porque las cárcavas disminuyen las áreas de suelos cultivables y a su vez interfieren con las operaciones agrícolas. En las zonas urbanas la importancia es mayor, pues además de disminuir las áreas urbanizables, ponen en peligro las estructuras urbanas existentes. Para la región de loess profundos al oeste de Iowa, Kirkby (1980), estimó el crecimiento de las cárcavas como:

$$G_A = 81.41 R_1^{0.0982} A_t^{-0.0440} L_g^{0.7954} L_w^{-0.2473} e^{-0.0014 \Delta p} \quad (1)$$

donde:

$G_A$  = Crecimiento de la superficie de la cárcava ( $m^2$ ).

$R_1$  = Índice de escurrimiento superficial (mm).

$A_t$  = Área de la parte terraceada de la cuenca ( $m^2$ ).

$L_g$  = Longitud de la cárcava al inicio del período de estudio (m).

$L_w$  = Distancia desde la cabeza de la cárcava a la divisoria de aguas de la cuenca (m).

$e$  = base de los logaritmos naturales.

$\Delta p$  = Desviación de la precipitación del valor medio o normal (mm).

De igual manera se estudió el avance de la cabeza de la cárcava en sitios de Minnesota, Iowa, Texas, Oklahoma y Colorado, con lo que desarrolló la siguiente fórmula empírica

$$R = (7.13 \times 10^{-5}) A^{0.49} S^{0.14} P^{0.74} E \quad (2)$$

donde:

$R$  = Avance de la cabeza de la cárcava en el período de estudio (m).

$A$  = Área de la cuenca aguas arriba de la cabeza de la cárcava ( $m^2$ ).

$S$  = Pendiente del canal aguas arriba justo al inicio de la cárcava (%).

$P$  = Suma de las lluvias de 24 horas de duración iguales o mayores a 12,7 mm en el período de estudio (mm).

$E$  = Contenido de arcilla del perfil del suelo erosionado (%).

El procedimiento propuesto por el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (Kirkby 1980), para estimar el avance de la cabeza de la cárcava comprende la fórmula:

$$R = (5.25 \times 10^{-5}) A^{0.46} P^{0.20} \quad (3)$$

donde:

$R$  = Avance de la cabeza de la cárcava en el período de estudio (m).

$A$  = Área de la cuenca aguas arriba de la cabeza de la cárcava ( $m^2$ ).

$P$  = Suma de las lluvias de 24 horas de duración iguales o mayores a 12,7 mm.

A pesar que los modelos matemáticos para determinar la erosión en canales y cárcavas no han sido ampliamente aceptados, Piest *et al.* (1975) ha descrito el mecanismo observado en su estudios de cárcavas y canales de drenaje en suelos de loess profundos. Según este estudio, los esfuerzos cortantes producidos por la corriente a lo largo de los bordes de las cárcavas no son la mayor causa de la erosión en las mismas.

Meyer *et al.* (1975), usaron la ecuación Universal de Pérdida de Suelo por Erosión para estimar la erosión en los hombrillos de carreteras en 104 sitios en una cuenca al norte de Wisconsin. Las pérdidas de suelos en 104 sitios con un área que totaliza 12.200,00 m<sup>2</sup> se estimó en 969.000,00 Kg/año.

Para la evaluación de la estabilidad de los taludes se ha utilizado con buenos resultados el método convencional de las Dovelas o de Fellenius en un suelo estratificado o no uniforme. La superficie de deslizamiento se asume que es de forma circular. La masa deslizante se divide en una serie de dovelas verticales (Figura 1), de tal manera que el límite inferior de cada dovela, tal como *de*, sea localizado dentro de un solo estrato con valores de *c* y  $\phi$  que pueden considerarse constantes. Se requiere de una cantidad de dovelas de 8 a 15 para tener una adecuada exactitud.

Cada dovela es considerada como un cuerpo libre. Bajo estas condiciones las únicas fuerzas consideradas actuando arriba de la base *de* de la dovela *hdeg* es el peso  $\Delta W$ . El momento de deslizamiento de la dovela respecto a O es igual a  $\Delta W l_w$ . El momento total deslizante de todas las dovelas es  $\sum \Delta W l_w$  donde los momentos de las dovelas a la izquierda de O son de valores negativos.

normal  $\Delta N$  y una componente tangencial  $\Delta T$  (Fig. 1b). Estas fuerzas pueden ser determinadas del peso de la dovela y el ángulo. La línea de acción de  $\Delta N$  pasa por O; por consiguiente  $\Delta N$  no tiene tendencia a producir movimiento a lo largo del arco. La fuerza tangencial  $\Delta T$ , por consiguiente, tiene un momento  $r \Delta T$  que tiende a causar rotación, y el momento total de todas las dovelas que tienden a producir rotación es  $r \sum \Delta T$ .

Las fuerzas disponibles para resistir el movimiento se muestran en la Figura 1c. Si la resistencia al corte del suelo es expresada por la ecuación de Coulomb.

$$S = C + p \tan(\phi) \tag{4}$$

La fuerza  $\Delta N$  crea una fuerza friccionante igual a  $\Delta F = \Delta N \tan \phi$ , la cual siempre actúa oponiéndose al movimiento. Si el movimiento es inminente, la resultante  $\Delta R$  de las fuerzas normales y friccionantes está inclinada a  $\phi$  grados en la dirección de  $\Delta N$ . Si la capa posee cohesión, la suma de las fuerzas cohesivas actuando a lo largo del arco  $c l_{de}$ , donde  $l_{de}$  es la longitud del arco. Las fuerzas cohesivas siempre se oponen al movimiento. Por consiguiente, el momento de las fuerzas resistentes a lo largo de es  $r(c l_{de} + \Delta N \tan \phi)$  y el último momento total es:

$$r \sum (c l + \Delta N \tan(\phi)) \tag{5}$$

y el Factor de seguridad contra el deslizamiento viene dado por:

$$FS = \frac{\sum (c l + \Delta N \tan(\phi))}{\sum \Delta T} \tag{6}$$

La falla ocurre a lo largo del arco donde el factor de seguridad es mínimo. Por consiguiente se requieren varios intentos variando el radio, hasta determinar el mínimo factor de seguridad, que de tener el valor de 1 el talud se encuentra en equilibrio y de ser menor; el talud se encuentra en un inminente deslizamiento. Un factor de Seguridad de 1,1 es el comúnmente utilizado. En los estudios realizados hasta el momento de algunas de las cárcavas estudiadas por medio de perforaciones y análisis de laboratorio se determinan sus propiedades índices.

## RESULTADOS

La formación de cárcavas en Ciudad Bolívar es de considerable importancia. En las Tablas 1, 2, 3, se presenta un inventario de las cárcavas activas y críticas en el área de

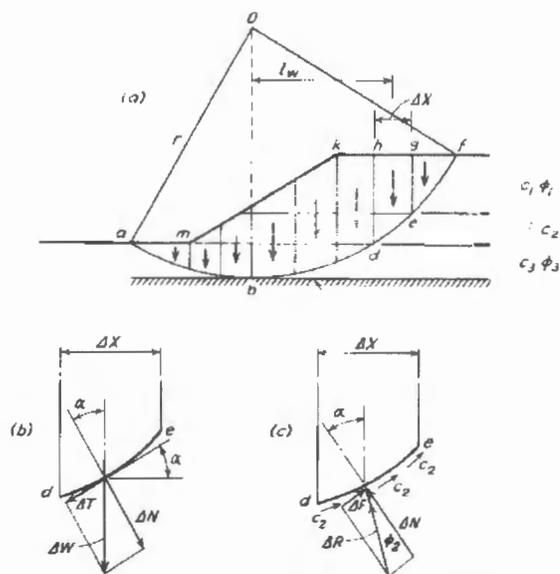


Fig. 1.- Método convencional de las dovelas en suelo estratificado. (a) Superficie de falla circular y subdivisiones en dovelas. (b) Fuerzas de deslizamiento en la dovela *hdeg*. (c) Fuerzas resistentes en la base de la misma dovela. Peck *et al.* (1973)

Algunas veces es conveniente determinar las fuerzas de deslizamiento determinando el peso  $\Delta W$ , en la intersección de su línea de acción con el arco *de*, en una componente

TABLA 1. Inventario de las cárcavas activas y críticas de Ciudad Bolívar. Aspectos generales de las cárcavas ubicadas en la cuenca del río Santa Bárbara

| Nº | UBICACIÓN  | DESCRIPCIÓN  | TIPO | SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA |
|----|--|--|------|-----------------------|
| 1  | El Perú<br>(Sector 1, Calle 12)                      | Sitio de recepción de aguas de escorrentía, con pendientes de 60° y profundidades de 15 a 20 m. próximo a cortar la calle.   | A    | *                     |
| 2  | El Perú<br>(Sector V, Vereda 6)                      | Con recepción de aguas negras y escorrentía; la erosión es muy alta. Puede ocasionar problemas de vialidad y urbanismo.  | A    | *                     |
| 3  | El Perú<br>(Sector V, Vereda 68)                     | Sitio de descarga de aguas negras y lluvias, con profundidad de m. debido a trabajos mal concebidos esta obra debe demolerse y diseñar otra. La profundidad es de unos 25 m. | A    | **                    |
| 4  | Perú<br>(Cercano a la entrada de la zona industrial) | Cárcava en el cauce antiguo de una quebrada y que sirve de canal de drenaje de toda la zona, reactivando la erosión vertical, amenaza con afectar la vía.                    | A    | *                     |

TABLA 2. Aspectos generales de las cárcavas ubicadas en la cuenca del río San Rafael

| Nº | UBICACIÓN   | DESCRIPCIÓN   | TIPO | SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA |
|----|---|---|------|-----------------------|
| 1  | Desde el Cementerio hasta el sector Trinidad II o Barrio Libertador             | Cárcava profunda de 20 m de ancho, originada por la concentración de aguas de drenaje en la vialidad interna del Cementerio.  | C    | **                    |
| 2  | Sector Trinidad II Barrio Libertador, entre calle Cachama y Arichuna.           | Cárcava de unos 12 m. de profundidad. Los escarpes tienen pendientes desde los 70° hasta 90° debido al desemboque de las aguas negras, está tomado parte de la acera.   | A    | **                    |
| 3  | Calle Negro Primero   | Posee una profundidad entre los 23 y los 28 m., con pendientes aproximados a los 90°, debido a la falta de vegetación continua, el avance erosivo estando la acera a 2 m. de distancia.                                       | B    | *                     |
| 4  | Sector El Mirador   | Cárcava formada por la erosión gradual, tiende a dañar la vía.  | B    | *                     |
| 5  | Sector El Mirador   | Con profundidad entre 20 a 25 m, pendientes de 70° a 80°. Existe fuerte erosión debido a la escasa vegetación de la zona amenazando éste a la vía. Los materiales existentes lo constituyen sedimentos areno-limosos sueltos. | A    | *                     |
| 6  | Avenida Principal.Sector Mirador Alta Vista                                     | La profundidad es de 30 a 35 m., con pendientes de 80° a 90°. La acción erosiva es lenta, tiende a cortar la vía.   | C    | *                     |
| 7  | Entre Calle Colón y Calle Ayacucho, sector 12 de Octubre del barrio La Sabanita | Profundidad entre los 25 a 30 m., con pendiente de 50°. La zona está muy erosionada presentando escasas vegetación, estando ésta a 2 ó 3 m. de la vía.  | A    | *                     |
| 8  | Sector La Lucha, entre Calle Los Farallones y los Olivos.                       | La erosión avanza por ausencia de vegetación. La fragilidad del material arenoso-limoso y la gran altura de las paredes provoca fuerte erosión en épocas de lluvias. Usadas para el bote de basura.                           | A    | *                     |
| 9  | Prolongación de la Calle Los Farallones. Sector La Lucha.                       | Avance del farallón con alto riesgo de cortar la vía y dañar las viviendas.   | A    | *                     |
| 10 | Sector la Lucha al final de la Calle los Farallones.                            | La vía está construida con farallones a ambos lados, siendo su altura aproximada entre 12 y 16 m. No existe vegetación.   | A    | *                     |
| 11 | Sector La Lucha entre Calle Santa Elena y Los Rosales.                          | Escarpes con pendientes cercanos a los 90°, compuestos por sedimentos, areno-arcillosos. La erosión lateral de la vía tiene profundidades entre los 15 a 20 m.  | A    | *                     |
| 12 | La Sabanita. Calle Colón, perpendicular con el callejón San Agustín.            | Posee gran dimensión aproximadamente 60 m. de ancho, con trabajo de control y recolección de las aguas, pero avanzando posteriormente y lateralmente con una erosión muy activa.  | A    | **                    |
| 13 | Sector Libertador, entre Calle Los Apamates y los Olivos.                       | La vía fue construida al borde del escarpe. Se rellenó de material para evitar la erosión pero aún continúa.  | A    | **                    |
| 14 | Sector Libertador, Calle Angosturita  | Cárcava de 20 m. de profundidad, pendiente de 65°, existe poca vegetación y es depósito de escombros y desperdicios.  | A    | *                     |
| 15 | Vía que une los sectores Aceiticos y Primero de Mayo                            | Tiene cárcavas con avance lento, debido al desarrollo urbano, la erosión ha aumentado periódicamente.   | B    | ***                   |
| 16 | Sector Los Aceiticos II, Calle Eleazar López Contreras                          | Tienen profundidades entre 25 y 30 m., con paredes verticales. Zona crítica que está afectando la vía debido a la acumulación de agua de lluvia.  | A    | *                     |
| 17 | Calles Los Caribes  | La vía transversal al nacimiento de un caño del río, se han hecho trabajo de control, pero sin mantenimiento, lo cual ha ocasionado deslizamientos del canal construido.  | A    | ***                   |
| 18 | Entre Calles Los Caribes y Guassipatti.   | Posee avance gradual, lo cual causará problemas en el futuro, de no tomarse previsiones.  | C    | *                     |
| 19 | Entre la Calle Los Caribes y Bella Vista, La Sabanita.                          | Avance gradual de la erosión, paredes protegidas con mezclas de cemento, lo cual es necesario mantener.   | D    | ***                   |
| 20 | Sector Angostura, Calle Guacaipuro.   | Cárcava cuyo avance puede causar corte lateral de la vía de no tratarse a tiempo  | A    | *                     |

A = activa  
B = poco activa

C = estable  
D = erosión incipiente

\*\*\* = tratada geotécnicamente  
\*\* = tratada inadecuadamente  
\* = sin tratamiento alguno

Tabla 3. Aspectos generales de las cárcavas ubicadas en la cuenca del río Buena Vista

| Nº | UBICACIÓN   | DESCRIPCIÓN  | TIPO | SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA |
|----|---|--|------|-----------------------|
| 1  | El Perú<br>(Sector 3, Calle 24)                           | Cárcava cuyo avance erosivo es en dos direcciones opuestas   | D    | *                     |
| 2  | El Perú<br>(Final Calle La Línea)                         | Con pendientes abruptas, con trabajos recientes, pero sin mantenimiento avanzando la erosión hacia el Sur Oeste.   | A    | **                    |
| 3  | El Perú<br>(Entre el Sector 2 y 3)                        | Con avance erosivo principalmente por drenaje de aguas negras.   | A    | **                    |
| 4  | El Perú<br>(Sector 2)                                     | Dentro de la urbanización, pendiente de 60° a 70° y profundidades de 8 a 10 m.   | C    | *                     |
| 5  | El Perú<br>(Final Calle 7, Sector 2)                      | Desembocan tuberías de aguas negras; también aguas domésticas, lluvias, escorrentía, lo cual produjo una mayor erosión. Se realizaron estudios por FUNDA-GEOMINAS, pero aún no ha sido tratado. Pendiente entre 80° y 90°. | A    | *                     |
| 6  | El Perú<br>(Sector 2, Calle 8)                            | Cárcava con avance erosivo debido a las aguas servidas, bote basura. Cercana a las viviendas.  | A    | *                     |
| 7  | El Perú<br>(Hacia Sur Oeste en la Av. Principal)          | Con pendientes de 60° a 70°, cuyo avance erosivo fue controlado por la vegetación existente en esa área. Estudios recientes realizados por estudiantes UDO.  | C    | *                     |
| 8  | El Perú<br>(Sector 2, entre la Calle 10 y 11)             | Trabajos realizados en noviembre de 1995, pero por falta de mantenimiento y malos cálculos en las estructuras, la erosión continúa. Actualmente se realizaron estudios por estudiantes UDO.                                | A    | **                    |
| 9  | El Perú<br>(Salida a Mi Campito)                          | Taludes muy pronunciadas, erosión ocasionada por socavación del río, profundidades de 30 a 38 m., pendientes entre 70° y 90° hasta el Barrio Brisas del Este.  | B    | ***                   |
| 10 | Sector Brisas del Este, Callejón Sucre.                   | Cárcava por descarga de agua de escorrentía, talud muy alto y de poca vegetación.  | B    | *                     |
| 11 | Sector Brisas del Este, entre Vereda y Carrera 5          | Con profundidades entre 20 y 25 m. y con pendiente de 80°. La calle sirve de drenaje natural a las aguas de escorrentía.   | B    | *                     |
| 12 | Brisas del este Avenida Principal                         | Con profundidades entre 20 y 25 m. y pendientes hasta los 85° muy cercana a las viviendas.   | A    | *                     |
| 13 | Brisas del Este, Calle La Esperanza                       | Es receptora de aguas negras y escorrentía. En un futuro puede afectar las viviendas de la zona.   | B    | *                     |
| 14 | Sector Brisas del Orinoco, Frente a la Calle Coromoto     | Aproximadamente 20 m. de profundidad receptora de aguas negras y de escorrentía.   | B    | *                     |
| 15 | Sector Jerusalén, Avenida Urdaneta con Calle San Antonio. | Con pendiente de 90°, la distancia del escarpe a la calle es de 1 a 2 m., profundidades de 25 a 30 m. Dañó calles y alumbrado público.   | A    | *                     |
| 16 | Sector Jerusalén, Calle Guaicaipuro                       | Existen cárcavas profundas que ocasionan el deterioro de la calle.   | A    | **                    |
| 17 | Sector La Sabanita, entre Calles Bolívar y Cuba           | Con profundidades de 15 y 20 m. con paredes verticales. Sitio de recepción de agua de escorrentía.   | B    | *                     |
| 18 | Entre Calles Páez y Bella Vista                           | La escarpe está a unos 15 m. de la acera, es un sitio de recepción de aguas de escorrentía, se han hecho rellenos con escombros.   | A    | *                     |
| 19 | El Perú<br>(Sector 2, Calle 5)                            | Sitio de descarga de agua negras, alcantarillado dañado, aumentando la erosión, con profundidad de 20 m.   | C    | *                     |
| 20 | El Perú<br>(Escuela El Perú, cerca a las Calles 7 y 14)   | Efecto erosivo en un caño afluente del río Buena Vista, ha dañado las calles 7 y 14 del sector II.   | C    | *                     |
| 21 | El Perú<br>(Sector 2, entre Calle 7 y 14)                 | Produjo daños en la tuberías y cortó parte de las calles 7 y 14. La acción del agua de escorrentía y filtraciones de las cloacas provocaron el colapso del material.   | A    | *                     |
| 22 | El Perú<br>(Sector 2, Vereda 35)                          | Sitios de recepción de aguas negras y de escorrentía que ha acelerado la acción erosiva originando varias cárcavas.  | C    | *                     |
| 23 | El Perú<br>(Sector 2, Vereda 39)                          | Acumulación y bote de escombros y basura para la acción erosiva en cárcavas que tiene profundidades de 15 a 20 m.  | C    | *                     |
| 24 | El Perú<br>(Sector 2, Calle 10)                           | Con talud de 15 y 25 m., con descargas de aguas negras y escorrentía, aumentando la acción erosiva, está ocasionando daños a las viviendas y a las vías.   | A    | *                     |
| 25 | El Perú<br>(Sector 2, Detrás del Preescolar Simón R.)     | Con pendientes suaves. Amerita tratarse a tiempo antes de que sean de modo crítico.  | D    | *                     |
| 26 | El Perú<br>(Sector 4)                                     | Suelos muy arenosos finos, altamente sensible a los agentes erosivos, que puede tratarse a tiempo para que no afecte un Plantel Educativo).  | C    | *                     |

A = activa  
B = poco activa

C = estable  
D = erosión incipiente

\*\*\* = tratada geotécnicamente  
\*\* = tratada inadecuadamente  
\* = sin tratamiento alguno

TABLA 4. Resumen Climatológico de Ciudad Bolívar (1951 – 1990)

|                                       | ENE  | FEB   | MAR  | ABR  | MAY  | JUN  | JU   | AGO  | SEP  | OCT  | NOV  | DIC  |
|---------------------------------------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Temperatura Media (°C)                | 26,6 | 27,10 | 28,0 | 28,6 | 28,3 | 27,0 | 27,0 | 27,1 | 27,9 | 28,3 | 28,8 | 27,1 |
| Humedad Relativa Med (%)              | 75   | 71    | 69   | 69   | 73   | 80   | 80   | 79   | 76   | 76   | 77   | 77   |
| Viento Vel. Media (Km/h)              | 10,8 | 11,9  | 12,8 | 12,1 | 10,0 | 8,0  | 6,9  | 6,6  | 6,5  | 7,1  | 7,7  | 9,0  |
| Dirección Prevalciente                | ENE  | ENE   | ENE  | ENE  | ENE  | ENE  | ENE  | ENE  | E    | NE   | NE   | NE   |
| Insolación Media (h)                  | 7,8  | 8,4   | 8,5  | 7,8  | 7,6  | 6,9  | 7,7  | 8,2  | 8,5  | 8,5  | 8,4  | 8,1  |
| Radia. Media (Cal/cm <sup>2</sup> /h) | 406  | 450   | 412  | 472  | 441  | 417  | 442  | 429  | 457  | 429  | 422  | 389  |
| Precipitación Media (mm)              | 28   | 14    | 13   | 19   | 104  | 163  | 185  | 169  | 101  | 96   | 62   | 36   |
| Nubosidad en Octavos                  | 5,4  | 5,0   | 5,1  | 5,6  | 6,1  | 6,7  | 6,3  | 6,3  | 5,8  | 5,9  | 5,8  | 5,5  |
| Evaporación Total (mm)                | 137  | 157   | 205  | 200  | 163  | 104  | 103  | 106  | 119  | 126  | 116  | 124  |

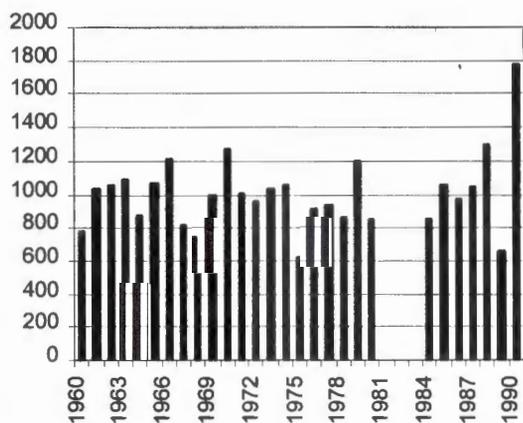


Fig. 2. Precipitación total anual en Ciudad Bolívar, período 1960-1990. (No se tienen registros de los años 81, 82 y 83).

ciudad Bolívar. Este inventario está dividido en tres partes: Las Cárcavas del río Santa Bárbara; (Tabla 1) Las Cárcavas del río San Rafael (Tabla 2) y las Cárcavas del río Buena Vista (Tabla 3). Como puede observarse en las tablas se inventariaron 50 cárcavas, de las cuales 28 son sumamente peligrosas, en 4 de ellas se han realizado trabajos con tratamiento geotécnico, mientras que en 9 se han realizado trabajos inadecuados y en 37 no se ha hecho nada.

La formación de cárcavas está íntimamente relacionada con el clima de la región donde se forman, así como del tipo de suelo.

El clima de Ciudad Bolívar es del tipo tropical húmedo de sabana con dos estaciones: una lluviosa que dura de mayo a octubre, llamada invierno; y una seca que dura de diciembre a abril, denominada verano. En el período de invierno las lluvias son tormentosas y muy copiosas, sobre todo durante los meses de julio y octubre, siendo en este período el de mayor influencia en la formación de las

cárcavas. En el período seco las lluvias son muy esporádicas y poco intensas.

La precipitación media anual es de 1004,2 mm. La evaporación media anual registrada en el aeropuerto de Ciudad Bolívar es de 1578 mm. La Tabla 4 muestra un resumen climatológico y la Fig. 2 los valores de precipitación media para el período 1960-91.

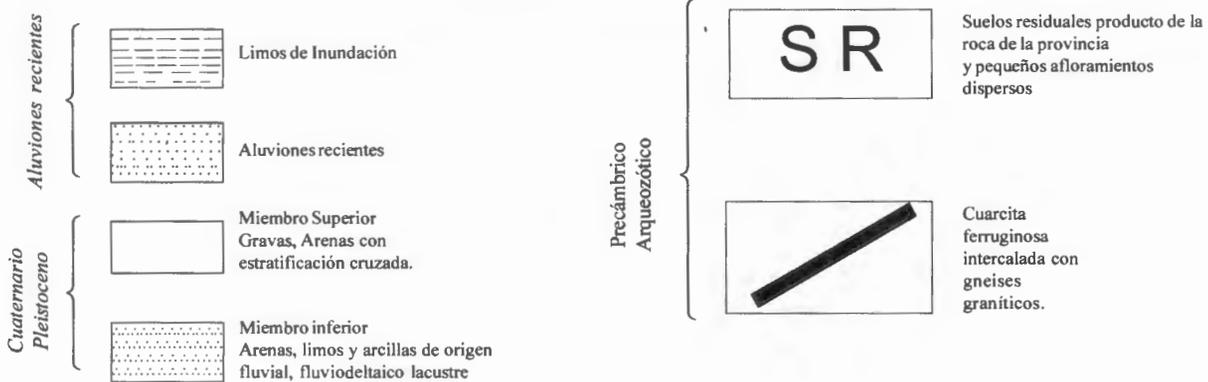
Estos datos fueron tomados en la Estación Meteorológica Ciudad Bolívar, ubicada en el aeropuerto, cuya ubicación geográfica es Latitud 08° 09' N; Longitud 63° 33' W y altitud 43 m.s.n.m.

### Geología del Área

El área de estudio se encuentra enmarcada en la parte norte del Escudo de Guayana, específicamente en la zona de Ciudad Bolívar y sus alrededores. Geológicamente el área corresponde a la Provincia de Imataca de edad Arqueozoica, constituida principalmente por gneis, migmatitas, anfíbolitas y cuarcitas. Sobre estas rocas y especialmente hacia el extremo norte de esta provincia, reposa la Formación Mesa de Edad Plioceno-Pleistoceno, que va perdiendo el espesor a medida que se extiende al sur del área en estudio. Los materiales que constituyen la Formación Mesa están representados por: gravas y arenas con estratificación cruzada, y arenas, limos y arcillas de origen fluvial, fluvio-deltaico lacustre. Las cárcavas de Ciudad Bolívar se han desarrollado sobre esta secuencia de sedimentos del Cuaternario (Plioceno-Pleistoceno) y la mayoría de éstos se encuentran desde los nacimientos de los ríos Cañafistola, Marhuanta, Conacal, San Rafael, Buena Vista, etc. Todos estos ríos corren en dirección norte, desembocando en el río Orinoco



Fig. 3. Mapa geológico del área de Ciudad Bolívar.



Leyenda de las Unidades Litológicas.

Las cárcavas, por lo tanto, se extienden en los bordes escarpados de estas cuencas, creándose una zona inestable a lo largo de éstas. La Figura 3 muestra un mapa geológico del área en estudio, donde se pueden observar la ubicación de estos ríos con sus microcuencas, los afloramientos rocosos y las unidades geológicas en superficie.

La Formación Mesa está constituida por materiales granulares (arenas y limos) poco consolidados que son erosionados con facilidad al humedecerse. Este tipo de suelos es conocido como "badlands".

**Características de los Suelos**

El área de Ciudad Bolívar ocupada por la Formación Mesa está dividida geotécnicamente en tres regiones o sub-zonas. La sub-zona plana de mesetas corresponde a los suelos por donde corren y han horadado los ríos que cubren el área de la ciudad y cuyas pendientes no exceden el 16%. De este a oeste estos ríos son: Marhuanta, Cañafistola, San Rafael, Buena Vista, Santa Bárbara y Orocopiche. Estos suelos pueden clasificarse como buenos a excelentes para bases y sub-bases.

En esta zona se encuentran lentes y capas discordantes de grava interdigitada con capas de arena de una densidad relativa alta de 85% a 97%, con capacidad admisible del suelo que alcanza valores mayores de 1,0 Kg/cm<sup>2</sup>. El peso unitario se ubica en valores entre 2 y 2,2 gr/cm<sup>3</sup>. El ángulo de fricción interna de estos suelos varía entre 30° y 43°.

La sub-zona intermedia o de transición corresponde a pendientes mayores de 16% cuyos suelos presentan características similares a la sub-zona anterior. La diferencia radica en la fuerte acción erosiva bajo la cual se encuentran los suelos de esta zona que permite la formación de taludes de ángulos superiores a 45° y que llegan a ser verticales e inestables. Es en esta sub-zona donde se promue-

ve la creación de cárcavas. La sub-zona de aluvial e inundación corresponde a las áreas de las planicies aluviales y de cauce de los ríos y afluentes formados por sedimentos recientes provenientes de las sub-zonas anteriores y corresponde a las áreas bajas a ambos lados del cauce de los ríos. Estos suelos presentan un mayor contenido de limo con baja permeabilidad, lo que favorece la retención del agua superficial.

Se han realizado perforaciones en las cercanías de las zonas de cárcavas con el propósito de investigar y realizar estudios que conlleven a buscar soluciones apropiadas. En la tabla 5, se presenta un registro de perforación característico de los suelos de la Formación Mesa. Constituido por arenas arcillosas, arenas limosas y arenas pobremente gradadas, limosas de compacidad floja a densa interstratificadas, cuyas humedades naturales no excede del 10 % y el contenido de finos varía entre 10 a 16 %, no se encontró el nivel freático, ya que la profundidad de la perforación sólo llegó a 10 m y éste se encuentra más profundo.

Por medio de estas perforaciones se ha podido detectar un caso típico de una mala práctica constructiva. En este caso la perforación realizada en el Barrio Brisas del Sur demostró que la cárcava se ha formado en una zona previamente mal compactada. En la Tabla 6 se presenta el registro de esta perforación.

TABLA 5. Registro de perforación característico de los suelos de la Formación Mesa, Ciudad Bolívar.

| Litología   | Nivel Freático | LITOLÓGIA | Consistencia y Densidad Relativa | Profundidad (Mts.) | SPT (Nº DE GOLPES) | GRÁFICO DE PERFORACIÓN | HUMEDAD NATURAL % | LÍMITES DE ATTERBERG | INDICE de Plasticidad (PI) | GRANULOMETRÍA % |       |          | PROPIEDADES FÍSICAS |       |                      |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|---|----------------|-----------|----------------------------------|--------------------|--------------------|------------------------|-------------------|----------------------|----------------------------|-----------------|-------|----------|---------------------|-------|----------------------|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
|   |                |           |                                  |                    |                    |                        |                   |                      |                            | GRAVA           | ARENA | PASA 200 | Ton/m <sup>3</sup>  | ANG ° | C KG/CM <sup>2</sup> | qu |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Arenas arcillosas color amarillento, Sc.  |                | Media     | 1                                | 27                 | *****              |                        |                   |                      | 10                         | 1               | 83    | 16       | 2                   | 30    |                      |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|   |                | Floja     | 2                                | 13                 | ***                |                        |                   |                      |                            |                 |       |          |                     |       |                      |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|   |                |           | 3                                | 7                  |                    |                        |                   |                      |                            |                 |       |          |                     |       |                      |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|   |                | Media     | 4                                | 4                  |                    |                        |                   |                      |                            |                 |       |          |                     |       |                      |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|   |                | Floja     | 5                                | 11                 | ***                |                        |                   |                      |                            |                 |       |          |                     |       |                      |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Arenas limosas pobremente gradadas, color amarillento rojizo. Sp-Sm, mas densa. |                | Media     | 6                                | 10                 | **                 |                        |                   |                      |                            |                 |       |          |                     |       |                      |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|   |                |           | 7                                | 12                 | ***                |                        |                   |                      |                            |                 |       |          |                     |       |                      |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|   |                |           | 8                                | 17                 | ****               |                        |                   |                      |                            |                 |       |          |                     |       |                      |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|   |                | Densa     | 9                                | 23                 | *****              |                        |                   |                      |                            |                 |       |          |                     |       |                      |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|   |                |           | 10                               | 34                 | *****              |                        |                   |                      |                            |                 |       |          |                     |       |                      |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|   |                |           | 11                               |                    |                    |                        |                   |                      |                            |                 |       |          |                     |       |                      |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|   |                |           | 12                               |                    |                    |                        |                   |                      |                            |                 |       |          |                     |       |                      |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|   |                |           | 13                               |                    |                    |                        |                   |                      |                            |                 |       |          |                     |       |                      |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|   |                |           | 14                               |                    |                    |                        |                   |                      |                            |                 |       |          |                     |       |                      |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|   |                |           | 15                               |                    |                    |                        |                   |                      |                            |                 |       |          |                     |       |                      |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|   |                |           | 16                               |                    |                    |                        |                   |                      |                            |                 |       |          |                     |       |                      |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|   |                |           | 17                               |                    |                    |                        |                   |                      |                            |                 |       |          |                     |       |                      |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|   |                |           | 18                               |                    |                    |                        |                   |                      |                            |                 |       |          |                     |       |                      |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

ESTUDIO DE SUELOS PARA: DOPE, ESTABILIDAD DE CÁRCAVAS, CIUDAD BOLÍVAR FUNDACIONES

SITIO: Barrio El Mirador COTA: LONG: 10 Mts. Peso Martillo: 140 Lbs. Fecha: Noviembre, 1995

OBSERVACIONES: Nivel Freático (N.F.): No Caída del Martillo: 30° PERFORACIÓN: 1

OBSERVACIONES: Nivel Piezométrico (N.P.): No



5. Intervención del hombre en labores de extracción de arena para la construcción, debilitando y afectando las fuerzas que tienden a la estabilización de los taludes.

#### **Problemas Comunitarios que Causan la Formación de Cárcavas**

La ocurrencia y avance erosivo de algunas cárcavas en varios sectores de ciertos barrios y urbanizaciones de Ciudad Bolívar, presentan una problemática crítica que afecta a numerosas familias que viven muy cerca del frente o borde de las mismas. Sus viviendas corren el riesgo inminente de su destrucción, el cual se acentúa en el período de lluvias. Además, en la gran mayoría de los casos, son zonas densamente pobladas, en donde vive una numerosa población infantil que constantemente se ve amenazada por la inseguridad de sus vidas.

Cada día este problema social se agrava y acentúa con mayor intensidad, pues no hay por parte del gobierno regional, ni municipal, un plan de reubicación, ni del tratamiento e inestabilidad de numerosas áreas de cárcavas, principalmente en los barrios de La Sabanita y urbanización El Perú. Esta zona constituirá una situación urbana muy crítica y delicada, cuya solución será muy costosa desde el punto de vista económico y de difícil tratamiento. Numerosas calles y avenidas, por otra parte, serán afectadas, al interrumpirse la vialidad, situación agravada adicionalmente por el colapso de algunas estructuras y falla de la estabilidad geotécnica de algunos sitios de cárcavas, por incompleto tratamiento o inadecuado diseño, o falta de mantenimiento.

Solamente un inventario integral de esta situación social, un plan de reubicaciones y mayores presupuestos, podría resolver parcialmente esta problemática. Se plantea y la Universidad de Oriente puede contribuir en gran medida para ello, conjuntamente con la Alcaldía de Heres, Gobernación y la C. V. G., estructurar verdaderos planes, proyectos, puntuales e integrales, investigación geológica y geotécnica permanente y crear una oficina especializada para atender técnicamente, tan prioritaria necesidad social y urbana de Ciudad Bolívar.

Efecto del agua, de la cuenca, éstas discurren sin control sobre la superficie, adquiriendo grandes velocidades y concentrándose la descarga en un solo sitio, incrementando de esta manera su poder erosivo y destructivo.

Efectos de la caída de la lluvia sobre el talud, que usualmente se encuentra sin vegetación.

#### **Recomendaciones**

Que la Universidad de Oriente contribuya conjuntamente con la Alcaldía de Heres, Gobernación y la CVG a estructurar verdaderos planes, proyectos, puntuales integrales, investigación geológica y geotécnica permanente y crear una oficina especializada para atender técnicamente, tan prioritaria necesidad social y urbana de Ciudad Bolívar.

Recuperar grandes áreas de cárcavas, hoy inestables y con escaso uso, sin servicios públicos elementales y comunicación vial, con la participación activa de los sectores públicos y privados a objeto de mejorar la calidad de vida de la ciudad.

#### **CONCLUSIONES**

1. Existe una gran variabilidad de suelos presentes, en cuanto a su compacidad y deposición en las áreas estudiadas.
2. La topografía de los alrededores, así como la geometría del talud, condiciona la presencia de la cárcava y su evolución.
3. La magnitud de las cárcavas, así como su evolución, es directamente proporcional a la cantidad de agua de escorrentía superficial (falla por erosión).
4. La ausencia de vegetación en los taludes, así como la presencia de descargas de aguas negras y blancas, ha acelerado la formación de cárcavas.
5. En algunos ríos de Ciudad Bolívar no han aparecido cárcavas activas de gran significado. Estos son los ríos Marhuanta, Cañafistola y Orocopiche.

#### **AGRADECIMIENTO**

Al Consejo de Investigación de la Universidad de Oriente por el financiamiento del Proyecto C.I.-2-0503-0756/96.

#### **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- ANDREE, J. E. 1981. Variation of soil erodibility with geology, *J. of Geophysics Research*, Vol 66 no. 10.
- BENAVIDES, J. Y VELÁSQUEZ A. 1990. Estudio foto-interpretativo del proceso erosivo en las zonas adyacentes a la Urb. El Perú. Tesis de grado, Escuela de Ciencias de la Tierra, Universidad de Oriente.
- BETANCOURT, C. Y GUEVARA Z. 1989. Estudio geológico, geotécnico e hidrológico con fines de ordenación y

- conservación de la cuenca alta del río San Rafael. Tesis de grado, Escuela de Ciencias de la Tierra, Universidad de Oriente.
- BOLINGA, J. 1979. Drenaje urbano, Inos Caracas.
- CHANG H. 1990. Hydraulic desing of eurodible-bed channel, Journal of Hydraulic Engineering Vol. 116 no. 1, ASCE.
- FLORES I. Y J. AGUIRRE 1978. Análisis crítico para estimar la socavación en flujo torrencial, Cidiat-ULA, Mérida, Venezuela.
- FUNES, M. 1985. Consideraciones Geotécnicas del área de Ciudad Bolívar. Trabajo de ascenso, Escuela de Ciencias de la Tierra, Universidad de Oriente.
- FUNES, M, J. PRAVIA Y J. HERRERO 1995. Propuesta de diseño de control de erosión en cinco cárcavas críticas de Ciudad Bolivar, informe técnico, DOPE, Gobernación del estado Bolívar.
- GASCÓN PILAR 1989. Estudio fotogeológico en las adyacencias de Ciudad Bolívar, Escuela de Ciencias de la Tierra, Universidad de Oriente.
- GRAFF, W. H. 1971. Hydraulics of the sediment transport, Mc Graw Hill Book Co, New York, NY.
- IRBY, M J. 1980. Soil erosion, John Whiley & Sons.
- LANE, E.W. 1955. The importance of fluvial morphology in hydraulic engineering. Proceeding of American Society of Civil Engineers, Hydraulic Division, Vol 01 paper 745.
- LEVENTHAL, A. R. Y MOTYN G. R. 1987. Slope stabilization technique and their applications, Balkema, Rotterdam, Holanda.
- MARIN, C. S. 1970. Effect of a porous sand bed on incipient sediment motion. Water resources research, Vol. 6, No. 4.
- MEYER, L,D. 1976. Prediction and control of urban erosion and sedimentation, Proc. National Symposium of Urban Hydrology, Hydraulics And Sediment Control, College of Engineering, Univ. of Kentucky ,Vol. 111.
- OSMAN, A. M. 1988. Riverbank stability analysis theories, ASCE, Journal of Hydraulic Engineering, Vol 114, no. 2
- PECK R. B., HANSON Y THORNBURN. 1973. Foundation Engineering, John Wiley & Sons. Inc. , New York, U.S.A.
- PRAVIA, J. 1987. Apuntes de mecánica de sedimentación, UDO, Escuela de Ciencias de da Tierra.
- PIEST, R. F., BRADFORD, J.M. Y WYATT, G.GM 1975. Soil erosion and sediment transport from gullies, J. Hydraulic Div. hy1.
- PIEST, R. F., BURN, C. E. Y SOONER, R. G. 1976. Entrenchment of drainage system in Western Jowa and Nw Missouri, North central res. Agricult. Res. U.s. Dept. of Agriculture.
- REYVACO I. V. 1994. Erosion control reclamation of drainage basin in areas of gully formation, Eurasian Soil Science, vol. 26 iss 7 pp 125-127.
- SUÁREZ, J. 1981. Estudio de las causas de los mecanismos de la erosionabilidad de los suelos, Informe Técnico, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.
- WOODURN, R. 1949. Science studies a gully. Soil Conservation. 15(1).