

Geomorfología de los abanicos aluviales del piedemonte norte del macizo El Ávila, estado Vargas, Venezuela

Geomorphology of the alluvial fans of the El Ávila Massif
northern foothill, Vargas state, Venezuela

Williams Méndez (1) (2)

williamsmendez@gmail.com

wmendez@utm.edu.ec

Zuleika González (1)

zuleikagonzalez@gmail.com

Jesús Suárez(1)

jesus_suarez_v@hotmail.com

Maraisa Arauno(1)

maraisaarauno@hotmail.com

Mayerling Vielma(1)

vielma79@hotmail.com

Heliana Maiz(1)

heliana maiz@hotmail.com

(1) Universidad Pedagógica Experimental Libertador.

Instituto Pedagógico de Caracas, Venezuela

(2) Universidad Técnica de Manabí, Facultad de Ciencias Matemáticas,

Físicas y Químicas, Ecuador.

Artículo recibido en mayo de 2015 y publicado en enero de 2016

RESUMEN

*Los abanicos aluviales morfodinámicamente activos que han sido
construidos por depósitos torrenciales, representan áreas altamente
inestables y de amenaza para las poblaciones asentadas sobre ellos. Se
analizan las características geomorfológicas de los abanicos del piedemonte
norte del macizo El Ávila. La metodología consideró: caracterización de
la morfología de los abanicos; mediciones morfométricas de las cuencas*

y abanicos; estimación de superficies de afloramientos litológicos; y correlación entre parámetros morfométricos de abanicos y cuencas de drenaje. Exhiben morfologías del tipo retrollenado con coalescencia en algunos. Sus perfiles longitudinales y transversales muestran las típicas formas cóncava y convexa. Se comportan de igual forma como abanicos-deltas, parte de sus extensiones se encuentran bajo las aguas marinas. Son abanicos de pequeñas dimensiones y pendientes bajas. La litología ejerce gran influencia sobre la morfología, desarrollo y extensión de éstos, aspectos vinculados de igual manera con la morfometría de las cuencas de drenaje.

Palabras clave: *Geomorfología; abanicos aluviales; morfometría; macizo El Ávila; estado Vargas*

ABSTRACT

The active alluvial fans that have been built by torrential deposits mean highly unstable areas and hazard for the populations settled on them. The geomorphological characteristics of the fans located in the Massif El Ávila northern foothill are analyzed. The methodology considered: Characterization of the fan morphologies; morphometric measurements of the catchments and fans; estimation of the lithologic outcrop surfaces; and correlation between morphometric parameters of the fans and catchments. Show retro-filling kind morphologies with coalescence in some cases. Their longitudinal and transverse profiles show the typical concave and convex shapes. It behaves likewise as fan-deltas, part of its surfaces are under seawater. The fans are small dimensions and low slopes. The lithology has great influence on the morphology, development and extension of these, linked aspects the same way with the morphometry of the catchments.

Key words: *Geomorphology; alluvial fans; morphometry; El Ávila massif; Vargas state*

INTRODUCCIÓN

Un abanico aluvial es una forma de relieve depositacional originada en la base o pie (piedemonte) de un frente montañoso, genéticamente asociada a las descargas sólidas (sedimentos) de un curso de agua (río o quebrada) que drena desde un área topográficamente elevada a un área más baja y plana adyacente, sedimentación que es promovida principal-

mente por los fuertes cambios (disminución) de pendiente experimentados por el cauce a lo largo de su recorrido.

La morfología de planta de estos ambientes de sedimentación fluvial, se asemeja precisamente a la de un abanico o semi-círculo, y desde una perspectiva tridimensional semejan a un semi-cono. Según Gómez (1996a), la génesis de estas formas de relieve son el resultado de una compleja interacción de clima y tectónica, explicadas por medio de las características topográficas y la geología e hidrología de la cuenca, así como por procesos de erosión y depositación.

Los abanicos aluviales holocénicos y morfodinámicamente activos que han sido construidos primordialmente por depósitos de eventos fluvio-torrenciales (flujos de detritos), representan áreas altamente inestables, dado su carácter de receptores de los materiales transportados por las crecientes de los cursos de agua de ambientes montañosos, que descargan en los sectores piedemontinos.

La ocurrencia de estos eventos es parte de la evolución natural de los complejos montañosos, lo cual ha dado como resultado de su balance morfodinámico, entre otros rasgos, la génesis de abanicos aluviales asociados a la sedimentación caótica y agresiva de recurrentes episodios de aludes torrenciales, los cuales son la expresión del explayamiento terminal de los materiales transportados por los cursos de agua desde las áreas montañosas de fuertes pendientes, hacia sus salidas en el frente de montaña.

Estas condiciones definen escenarios de amenaza geomorfológica y consecuentemente de vulnerabilidad y riesgo, para las poblaciones asentadas sobre abanicos aluviales, como es el caso de una gran parte de la del estado Vargas, cuya evidencia más reciente está representada por el evento de aludes torrenciales ocurrido en Diciembre de 1999 en la región del litoral central venezolano (ver gráfico 1). De allí que el propósito de este trabajo es analizar las características geomorfológicas de los abanicos aluviales del piedemonte septentrional del macizo El Ávila, en términos de sus aspectos morfológicos y morfométricos.



Gráfico 1. Imagen en la que destacan en color blanco y con mayor reflectancia, los depósitos del evento de aludes torrenciales de Diciembre de 1999 ocurridos en la vertiente norte del macizo El Ávila (estado Vargas, Venezuela), sobre los abanicos aluviales (de izquierda a derecha) Macuto, Punta El Cojo, Camurí Chiquito, Punta Caribe y Punta Cerro Grande. Imagen pancromática tomada del satélite “IKONOS” con resolución espacial de 1 metro por Centro de Procesamiento Digital de Imágenes [CPDI], 1999, Baruta.

Diversos autores han dedicado esfuerzos a interpretar las relaciones morfométricas entre cuencas de drenaje y sus abanicos aluviales en ambientes climáticos distintos, para entender la dinámica, el desarrollo y la morfología de los mismos, entre cuyos trabajos se pueden mencionar los de: Harvey (1984); Kostaschuky y otros (1986); Lecce (1991); Silva (1992); Oguchi y Ohmori (1994); Gómez (1996b); Calvache y otros (1997); Suárez (1997); Sorriso y otros (1998); Viseras y otros (2003); Crosta y Frattini (2004); Lyle (2004); Scally y Owens (2004); Saito y Oguchi (2005); Giles (2010); Karymbalis y otros (2010) y Bahrami (2013).

Área de estudio

El área de estudio está situada geográficamente en la Región Centro Norte de Venezuela, en la parte central del estado Vargas, extendida sobre la vertiente norte del macizo El Ávila en su extremo occidental. Geastronómicamente está definida por las coordenadas: $10^{\circ}32'30''$ – $10^{\circ}37'47''$ de Latitud Norte y $66^{\circ}40'10''$ – $66^{\circ}59'14''$ de Longitud Oeste (ver gráfico 2).

La litología está constituida por rocas metamórficas de las fajas tectónicas Asociación Metamórfica Ávila (unidades litodémicas Augengneis de Peña de Mora, Complejo San Julián, Metatonalita de Caruao y Metagrani-

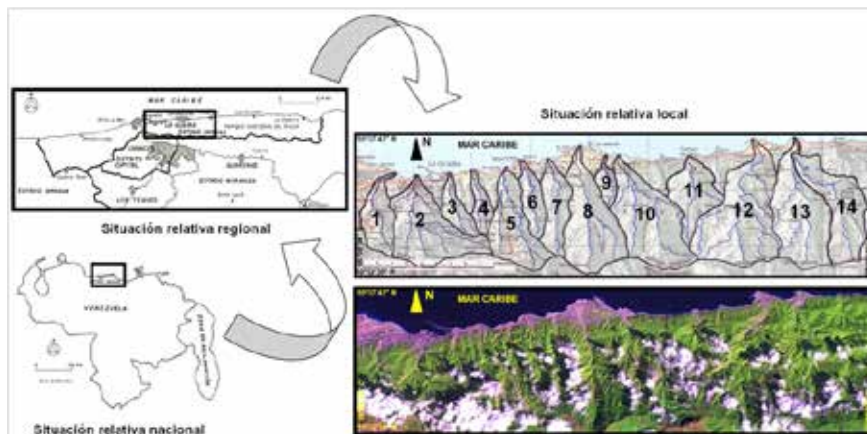


Gráfico 2. Localización de las cuencas de drenaje del área de estudio: (1) Quebrada Curucutí, (2) quebrada Piedra Azul, (3) quebrada Osorio, (4) quebrada Cariaco, (5) río San José de Galipán, (6) quebrada El Cojo, (7) quebrada Camurí Chiquito, (8) quebrada San Julián, (9) quebrada Seca, (10) río Cerro Grande, (11) río Uria, (12) río Naiguatá, (13) río Camurí Grande y (14) río Miguelena, vertiente norte del macizo “El Ávila”, estado Vargas, Venezuela. Base cartográfica tomada del mapa “Caracas y alrededores” (mapa especial) a escala 1:100.000 por Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar [IGVSB], 2003, Caracas; e imagen del satélite “LANDSAT 7 ETM” por CPDI, 2002, Baruta.

to de Naiguatá) y Asociación Metamórfica La Costa (unidades litodémicas Serpentinita, Anfibolita de Nirgua, Esquisto de Tacagua, y Mármol de Antímamo) en el sector montañoso; y por los depósitos fluvio-torrenciales de los abanicos aluviales piedemontinos (Urbani y Rodríguez, 2004; Urbani et al., 2006).

El macizo El Ávila se extiende aproximadamente 100 Km desde el valle tectónico de la quebrada Tacagua en el oeste hasta el cabo Codera en el este. Empinado y abrupto este macizo se eleva entre el mar Caribe y los valles intramontanos de origen tectónico de Caracas y de Guarenas-Guatire, siendo su mayor elevación el pico Naiguatá con 2.765 msnm, cuyas unidades en conjunto constituyen un buen ejemplo de relieve controlado por bloques morfotectónicos (Guevara, 1983).

La vertiente septentrional de la serranía del Ávila termina abruptamente hacia el mar en una costa de inmersión. La franja de playa es muy estrecha, al igual que la formación de planicies aluviales, dado el comportamiento hidromorfodinámico torrencial de los ríos y quebradas que se desprenden para dar paso a la formación de abanicos aluviales y explayamientos terminales, que a veces se sobreponen lateralmente de manera coalescente (ver gráfico 3) (Arismendi, 2007).

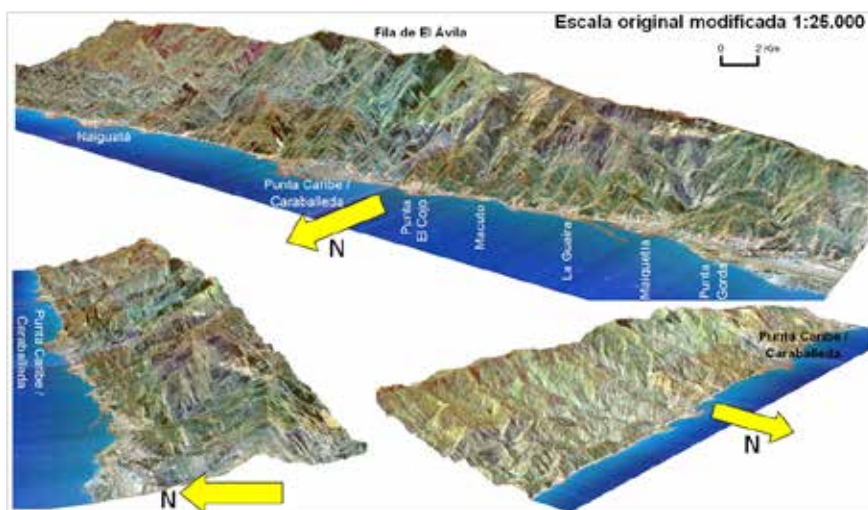


Gráfico 3. Modelo de Elevación Digital del Terreno (MEDT) en el que se aprecian los abanicos y las cuencas de drenaje de la vertiente norte (frente de montaña) del macizo “El Ávila” en el sector de estudio, estado Vargas, Venezuela. Modelo construido con información cartográfica digitalizada a partir de cartas topográficas a escala 1:25.000 por Dirección de Cartografía Nacional [DCN], 1979, Caracas; y ortofotomapas a escala 1:25.000 por Servicio Autónomo de Geografía y Cartografía Nacional [SAGECAN], 1995, Caracas.

El relieve se caracteriza por presentar altitudes entre 0 msnm (línea de costa) y 2.770 msnm, con pendientes entre 3 % y > 45 % que definen topografías contrastantes desde suave y moderada (abanicos aluviales) hasta abrupta (sector montañoso).

Desde el punto de vista geotécnico, los perfiles de meteorización son poco profundos en las laderas de muy fuertes pendientes, lo cual facilita la

rápida saturación de los mismos en presencia de eventos de precipitaciones extraordinarias (Amundaray, 2000; Grases et al., 2000).

El clima se distingue por presentar temperaturas medias anuales entre 24,3 °C y 26,1 °C en la parte baja del área, y entre 12,7 °C y 17 °C en la parte alta; con precipitaciones escasas cuyos promedios anuales oscilan entre 523,3 mm y 817,1 mm en la franja costera y entre 646,7 y 859,6 mm en el sector montañoso alto (Ministerio del Poder Popular para el Ambiente [MPPA], Dirección General de Cuencas [DGC], Dirección de Hidrología y Meteorología [DHM], 2011).

La vegetación está conformada por: vegetación litoral, cardonales y espinares, bosque deciuo, bosque semi-decuido, bosque transicional, bosque de galería y bosque húmedo (Steyermark y Huber, 1978; Amend, 1991; PDVSA, 1993).

Las actividades económicas se sustentan en: transporte, comunicaciones y comercio (presencia de los principales puerto y aeropuerto de Venezuela); administración pública; terciario superior (entidades financieras, inmuebles y servicios a las empresas); agricultura y pesca; electricidad, gas y agua; construcción; minería e hidrocarburos y manufactura (Marcano y Barrios, 2001), y en las vinculadas al turismo, el esparcimiento y la recreación.

MÉTODO

En el gráfico correspondiente a la localización del área de estudio (ver gráfico 2) se muestra la delimitación de catorce cuencas de drenaje principales, sin embargo, de ellas solo fueron consideradas para esta investigación doce cuencas, las cuales presentan abanicos aluviales desarrollados en sus salidas en el frente de montaña previo al evento de aludes torrenciales de Diciembre de 1999, condiciones implícitas en la cartografía base empleada en el estudio. Por esa razón, no fueron consideradas las cuencas de la quebrada Camurí Chiquito y del río Uria, ya que no exhibían verdaderos abanicos aluviales anterior a 1999.

Las cuencas de drenaje tomadas para el desarrollo de esta investigación con sus respectivos abanicos aluviales, son las pertenecientes a los siguientes cursos de agua: Quebrada Curucutí (abanico Punta Gorda), quebrada Piedra Azul (abanico Maiquetía), quebrada Osorio (abanico La Guaira), quebrada Cariaco (abanico punta Mulatos), río San José de Galipán (abanico Macuto), quebrada El Cojo (abanico Punta El Cojo), quebrada San Julián (abanico Punta Caribe), quebrada Seca (abanico Quebrada Seca), río Cerro Grande (abanico Punta Cerro Grande), río Naguayatá (abanico Naguayatá) y ríos Camurí Grande y Miguelena (abanico Punta Camurí Grande).

Se digitalizó la información cartográfica base a escalas 1:5.000 (DCN, 1958; Gobernación del Distrito Federal [GDF], 1984) y 1:25.000 (DCN, 1979) respectivamente, y geológica a escala 1:25.000 (IGVSB / Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales [MARN], 2002), con apoyo en el software ArcGIS 9.2 para SIG, mediante procedimientos técnicos de georeferenciación de las cartas y vectorización de curvas de nivel, drenaje y elementos estructurales.

Se diseñó un modelo de elevación digital del terreno (MEDT) del área de estudio empleando el mismo software y el módulo *Spatial Analysis*, al cual se le superpusieron los ortofotomapas del sector. Seguidamente se caracterizó la morfología de los abanicos aluviales, con apoyo en fotografías aéreas a escala 1:5.000, ortofotomapas a escala 1:25.000 (SAGECAN, 1995), imágenes de Google Earth y la cartografía digitalizada, considerando los criterios de Denny (1967), Harvey (1987) y McArthur (1987) para dicha clasificación y/o discriminación morfológica.

Sobre la información cartográfica base digitalizada, se procedió de igual manera a realizar las redes de drenaje, y delimitar y sectorizar las cuencas empleando el módulo *ArcHydro* del software *ArcGIS 9.2* para SIG; esta herramienta también permitió obtener la jerarquización (orden y magnitud) de las redes de drenaje, así como los parámetros morfométricos básicos de las cuencas (área, perímetro, longitud, ancho máximo, altitud mínima, altitud máxima, altitud media, pendiente media del relieve, longitud total de

la red de drenaje y orden de la cuenca) y de los abanicos aluviales (área, ancho, longitud, altitud del ápice, altitud de la base y ángulo de curvatura). Sobre la cartografía geológica digitalizada se midieron las áreas de las unidades litológicas aflorantes en cada una de las cuencas bajo estudio.

Los restantes parámetros morfométricos de las cuencas de drenaje (relieve máximo, número de rugosidad, coeficiente de compacidad, densidad de drenaje y coeficiente de torrencialidad) y de los abanicos aluviales (radio ancho/longitud del abanico y relieve máximo) se estimaron por medio de las ecuaciones o expresiones matemáticas que los definen, las cuales pueden ser apreciadas con detalle en la referencia de Méndez y otros (2015).

Por considerarse en esta investigación abanicos aluviales con gran parte de sus superficies o extensiones bajo agua, y por no haberse podido disponer de una cartografía batimétrica detallada, se realizaron estimaciones de estas superficies totales empleando ecuaciones de otros autores, mediante las cuales relacionan las áreas de los abanicos con las áreas de las cuencas fuentes. El abanico de quebrada Seca fue tomado como referencia para identificar las mejores aproximaciones cuantitativas de las áreas estimadas, por ser el único expuesto en su totalidad en condiciones sub-aéreas.

De la cartografía digital se obtuvieron también los datos básicos de distancia y cotas (altitudes) sobre transeptos definidos, para la construcción de los perfiles topográficos longitudinales de los cauces principales de los ríos y quebradas, y de los perfiles topográficos longitudinales y transversales de los abanicos aluviales. Dichos perfiles se modelaron empleando el software Microsoft Excel, y sobre ellos se ajustaron líneas de tendencias que permitieron estimar las pendientes medias de los cauces principales, las pendientes longitudinales de los abanicos y las pendientes de atrincheramiento de los cauces principales sobre los abanicos. Los índices de concavidad de los abanicos se calcularon también sobre los perfiles longitudinales de éstos (Méndez y otros 2015).

Los transeptos definidos para la elaboración de los perfiles topográficos de los abanicos aluviales, fueron trazados para el caso de los perfiles longitudinales, en líneas rectas desde los ápices de los abanicos hasta la línea base o distal de los mismos, con una orientación más o menos perpendicular al frente de montaña, y para el caso de los perfiles transversales, con líneas rectas ubicadas en las partes más anchas de éstos.

Se determinaron los coeficientes de correlación entre los parámetros morfométricos de las cuencas y los parámetros morfométricos de los abanicos aluviales, mediante el cálculo de los coeficientes de correlación de Pearson por el método Producto de los Momentos, empleando para ello el complemento Xlstat del software Microsoft Excel.

Se construyeron gráficos, en los cuales se cruzan o superponen los perfiles longitudinales de los abanicos aluviales, y los perfiles longitudinales de los cauces principales en sus recorridos sobre los abanicos. Ello permitió identificar los puntos de intersección entre las superficies de los abanicos y los canales atrincherados.

RESULTADOS

Morfología de los Abanicos Aluviales

Según Bull (1977), la morfología de un abanico aluvial registra una tendencia hacia un ajuste entre una serie de variables, tales como: área, litología, pendiente media, cubierta vegetal, dinámica geomorfológica del área fuente, pendiente del canal tributario, descarga de agua y sedimento, procesos depositacionales, clima (precipitaciones), marco tectónico, la geometría del frente montañoso, abanicos aluviales adyacentes y la cuenca de depositación.

Los cambios de una o más variables tenderán a causar un reajuste de la morfología del abanico, para lo cual Bull (1977) distinguió dos situaciones morfológicas diferentes: (a) cuando la depositación se realiza en el ápice y el abanico no está incidido por canales, y (b) cuando la agradación

se realiza en la parte distal del abanico, de modo que el agua y los sedimentos circulan encajados por el ápice del mismo.

En el caso específico de los abanicos aluviales de la vertiente norte del macizo El Ávila, sus morfologías en general responden al denominado tipo de retrolenado desde el frente montañoso, en el que la línea de su distal define un semi-círculo (forma típica de un abanico en el cual la distribución de los materiales es más o menos uniforme en su extensión) que se prolonga hasta el frente de montaña (ver gráficos 4, 5 y 6), rasgo atribuible a la migración lateral de los cursos de agua activos que aportan sedimentos al área, y los redistribuyen de manera radial.



Gráfico 4. Vista aérea de los abanicos aluviales (A) Punta Gorda, (B) Maiquetía, (C) La Guaira y (D) Punta Mulatos, vertiente norte del macizo El Ávila, estado Vargas, Venezuela. Imagen de satélite tomada de CNES/Astrium y Digital Globe por Google Earth, 2015.



Gráfico 5. Vista aérea de los abanicos aluviales (A) Macuto, (B) Punta El Cojo, (C) Punta Caribe y (D) Quebrada Seca, vertiente norte del macizo El Ávila, estado Vargas, Venezuela. Imagen de satélite tomada de CNES/Astrium y Digital Globe por Google Earth, 2015.

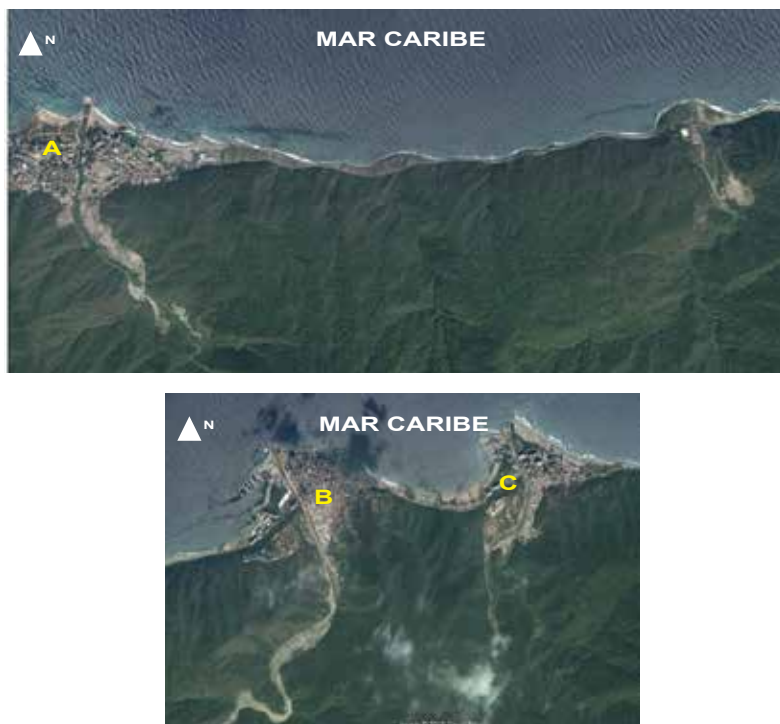


Gráfico 6. Vista aérea de los abanicos aluviales (A) Punta Cerro Grande, (B) Nai-guatá y (C) Punta Camurí Grande, vertiente norte del macizo El Ávila, estado Vargas, Venezuela. Imagen de satélite tomada de CNES/Astrium y Digital Globe por Google Earth, 2015.

De igual forma se observan coalescencias entre algunos de los abanicos del sector, como son los casos, por ejemplo, entre los abanicos Punta Gorda y Maiquetía, La Guaira y Punta Mulatos, y Macuto y Punta El Cojo. Un caso particular, lo representa el abanico Quebrada Seca, el cual se solapa en su totalidad sobre el abanico Punta Caribe (ver gráficos 4, 5 y 6).

Estos abanicos exhiben contornos irregulares en sus líneas de base como resultado de modificaciones antrópicas. Clasifican también como abanicos-deltas, dado que parte de sus extensiones distales se encuentran bajo las aguas del mar Caribe, lo cual ameritaría de información batimétrica del sector, para definir con precisión sus superficies totales. En

la mayoría de los casos, estos abanicos presentan ápices adentrados en la parte terminal del cañón montañoso de sus cursos de agua principales.

En visitas de campo se evidenció que la mayoría de los cursos de agua que aportan sedimentos a estos abanicos discurren encajados sobre sus depósitos antiguos, lo cual responde a un control tectónico o al reajuste de los perfiles de equilibrio de las quebradas y ríos, posteriores a eventos de aludes torrenciales. Sin embargo, la magnitud del evento de Diciembre de 1999 rebasó los desniveles entre los cauces y la superficie de los abanicos, con lo cual la depositación de materiales asociada a ese evento, cubrió notoriamente los fondos de valle en los tramos terminales de los ríos y quebradas, así como gran parte de las áreas de los abanicos preexistentes.

Morfometría de las cuencas de drenaje

En atención a los parámetros morfométricos de las cuencas y sus redes de drenaje (cuadro 1), estos sistemas hidrogeomorfológicos califican en la categoría de microcuencas debido a sus pequeñas dimensiones. Con relación al gradiente y forma del relieve, las definen como espacios topográficamente muy accidentados de fuertes pendientes y grandes desniveles altitudinales (ver gráfico 7). Las formas de las cuencas señalan que, se trata de sistemas de morfologías planimétricas semi-circulares a semi-alargadas. En el caso de la extensión de la red de drenaje, indican sistemas de desagüe de ramificaciones y densidades considerables con cortas longitudes; y para el caso del orden y magnitud de las cuencas, sus parámetros indican redes de altos órdenes, así como elevados niveles de torrencialidad.

Estos parámetros morfométricos determinan en mayor proporción condiciones particulares que favorecen la ocurrencia de crecidas con hidrogramas de picos pronunciados y corta duración, así como el régimen torrencial de las cuencas. En síntesis, las respuestas morfodinámicas e hidrológicas de las cuencas estudiadas son condicionadas y controladas por sus parámetros morfométricos y los de sus redes de drenaje.

Cuadro 1. Parámetros Morfométricos de las Cuencas y Redes de Drenaje de la Vertiente Norte del Macizo El Ávila, Estado Vargas, Venezuela

Cuenca	Área (Km ²)	Perímetro (Km)	Longitud* (Km)	Ancho máximo (Km)	Altitud mínima (msnm)	Altitud máxima (msnm)	Altitud media (msnm)	Relieve máximo (m)
Qda. Curucufí	7,34	12,20	4,80	2,63	125	1425	634,26	1300
Qda. Piedra Azul	20,22	20,50	6,65	4,40	60	1950	992,70	1890
Qda. Osorio	4,04	9,90	4,00	1,68	25	1795	790,10	1770
Qda. Cariaco	4,58	10,90	4,45	2,03	25	1975	792,52	1950
Río S. J. de Galipán	14,56	18,20	6,88	3,05	25	2290	1275,16	2265
Qda. El Cojo	5,78	10,90	4,75	1,58	50	1925	785,33	1875
Qda. San Julián	20,68	19,60	7,45	4,33	105	2640	1003,64	2535
Qda. Seca	2,89	6,80	2,88	1,40	50	1280	1247,66	1230
Río Cerro Grande	25,38	22,50	8,70	4,93	25	2770	547,71	2745
Río Naiguatá	31,38	25,10	8,38	6,18	25	2585	1316,76	2560
Río Camurí Grande	22,74	21,60	8,13	4,28	30	2300	827,72	2270
Río Miguelena	18,34	22,90	8,83	3,08	20	2290	— ^b	2270
	Máximo =	31,38	8,83	6,18	125	2770	1316,76	2745
	Mínimo =	2,89	2,88	1,40	20	1280	547,71	1230
	Media =	14,21	6,27	3,25	46,79	2134,07	939,70	2087,29

Cuenca	Pendiente media (m/m)	Número de rugosidad	Pendiente media cauce principal (m/m)	Coefficiente de compacidad	Longitud total de la red de drenaje (Km)	Densidad de drenaje (Km ² /Km ²)	Orden de la cuenca	Coefficiente de torrencialidad
Qda. Curucufí	0,24	0,48	0,27	1,26	59,66	8,13	5	22,34
Qda. Piedra Azul	0,27	0,42	0,22	1,28	113,75	5,63	5	11,72
Qda. Osorio	0,31	0,88	0,36	1,38	42,54	10,53	4	31,44
Qda. Cariaco	0,32	0,91	0,41	1,43	43,29	9,45	5	30,57
Río S. J. de Galipán	0,29	0,59	0,21	1,34	215,11	14,77	6	60,85
Qda. El Cojo	0,33	0,78	0,25	1,27	71,97	12,45	5	47,75
Qda. San Julián	0,29	0,56	0,22	1,21	140,49	6,79	5	16,92
Qda. Seca	0,34	0,72	0,34	1,12	34,03	11,77	4	46,37
Río Cerro Grande	0,27	0,54	0,21	1,25	213,72	8,42	6	24,82
Río Naiguatá	0,31	0,46	0,21	1,25	285,55	8,14	6	22,47
Río Camurí Grande	0,29	0,48	0,20	1,48	202,41	8,90	6	29,11
Río Miguelena	0,26	0,53	—	1,50	—	—	—	—
	Máximo =	0,34	0,41	1,50	285,55	14,77	6	60,85
	Mínimo =	0,24	0,20	1,12	34,03	5,63	4	11,72
	Media =	0,29	0,27	1,31	123,33	9,62	5,15	31,51

*Parámetro calculado por el método de la línea recta, el cual consiste en medir la distancia planimétrica de una línea recta trazada entre el punto topográfico más bajo de la cuenca, correspondiente a la salida o desague de la misma (coincidente en muchos casos con el ápice de un abanico aluvial), y el punto más alejado de este primero (desague) ubicado sobre el perímetro o divisoria de aguas de la cuenca; ^bdatos no disponibles por no existir cobertura cartográfica a escala 1:5.000 para la cuenca del río Miguelena, sus otros parámetros fueron estimados sobre la cartografía a escala 1:25.000 por no representar errores significativos vinculados al factor escala

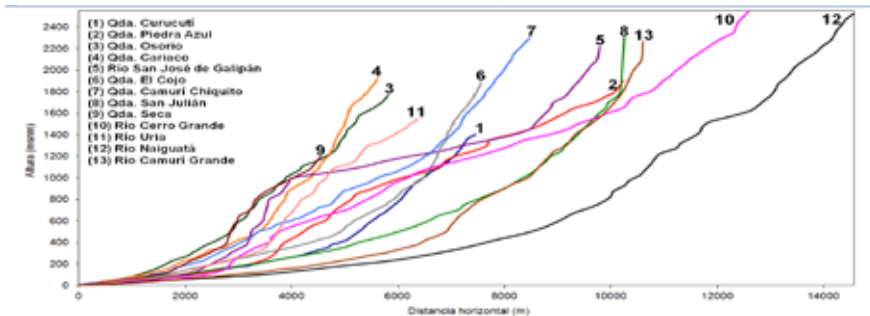


Gráfico 7. Perfiles topográficos longitudinales de los cauces principales de ríos y quebradas de la vertiente norte del maciso El Ávila, estado Vargas, Venezuela. Perfiles elaborados a partir de planos topográficos a escala 1:5.000 por DCN, 1958, Caracas; y planos topográficos del “Proyecto BITUCOTEX” a escala 1:5.000 por GDF, 1984, Caracas.

Morfometría de los abanicos aluviales

En rasgos generales, los abanicos aluviales estudiados son de pequeñas dimensiones (las diferencias de tamaños entre ellos son una respuesta del control que ejercen sobre sus desarrollos y evolución, las dimensiones de las cuencas de drenaje fuente y la litología aflorante en éstas, con quienes guardan una relación directamente proporcional), al menos en sus expresiones sub-aéreas, ya que como se indicó anteriormente, parte de las superficies de estos se encuentran bajo aguas del mar Caribe. Sin embargo, se realizaron estimaciones de las áreas de los abanicos empleando ecuaciones empíricas de diferentes autores (ver cuadro 2), tomando como referencia la aproximación de ellas con el área del abanico Quebrada Seca (medida en su totalidad sobre la cartografía), por ser el único expuesto totalmente en superficie. Estas mediciones se promediaron, y se tomaron como las áreas representativas de los abanicos aluviales estudiados.

Cabe destacar, que estas aproximaciones indirectas empleando ecuaciones de otros autores, solo se realizaron para las áreas de los abanicos, y no así para sus otros parámetros morfométricos, toda vez, como ya se indicó, no se dispuso de una cartografía batimétrica a escala grande, y por otra parte no se conocieron ecuaciones empíricas relacionadas con esos

Cuadro 2. Estimación de las Áreas (Km²) de los Abanicos Aluviales de la Vertiente Norte del Macizo El Ávila, Estado Vargas, Venezuela, a partir de Ecuaciones Empíricas Propuestas por Diversos Autores

Abanico	Área emergida media sobre la cartografía digitalizada	Denny (1965) Aa = 0,50Ac ^{0,80}	Hooke (1967) Aa = 0,42Ac ^{0,84}	Hooke (1968) Aa = 0,15Ac ^{0,80}	Mills (1982) Aa = 0,227Ac ^{0,529}	Mills (1983) Aa = 0,38Ac ^{0,76}	Promedio
Punta Gorda	1,54 (19,18 %)	2,46 (5,48 %)	2,74 (4,68 %)	0,90 (5,03 %)	0,65 (6,77 %)	1,73 (5,67 %)	1,70 (5,32 %)
Maiquetía	1,00 (12,45 %)	5,54 (12,33 %)	7,09 (12,59 %)	2,25 (12,52 %)	1,11 (11,57 %)	3,73 (12,24 %)	3,94 (12,38 %)
La Guaira	0,10 (1,18 %)	1,53 (3,40 %)	1,56 (2,77 %)	0,53 (2,94 %)	0,48 (4,93 %)	1,10 (3,60 %)	1,04 (3,26 %)
Punta Mlaltos	0,14 (1,74 %)	1,69 (3,76 %)	1,76 (3,12 %)	0,59 (3,29 %)	0,51 (5,27 %)	1,21 (3,96 %)	1,15 (3,61 %)
Macuto	0,22 (2,74 %)	4,26 (9,48 %)	5,21 (9,24 %)	1,67 (9,32 %)	0,94 (9,72 %)	2,91 (9,54 %)	3,00 (9,40 %)
Punta El Cojo	0,55 (6,85 %)	2,03 (4,53 %)	2,19 (3,88 %)	0,73 (4,06 %)	0,57 (5,96 %)	1,44 (4,73 %)	1,39 (4,37 %)
Punta Caribe	2,64 (32,88 %)	5,64 (12,55 %)	7,24 (12,86 %)	2,29 (12,78 %)	1,13 (11,70 %)	3,80 (12,45 %)	4,02 (12,62 %)
Quebrada Seca	0,50 (6,23 %)	1,17 (2,60 %)	1,14 (2,02 %)	0,39 (2,17 %)	0,40 (4,13 %)	0,85 (2,79 %)	0,79 (2,48 %)
Punta Cerro Grande	0,50 (6,16 %)	6,65 (14,79 %)	8,78 (15,59 %)	2,76 (15,37 %)	1,26 (13,04 %)	4,44 (14,55 %)	4,77 (14,98 %)
Naiquetá	0,51 (6,35 %)	7,88 (17,53 %)	10,72 (19,03 %)	3,33 (18,60 %)	1,41 (14,59 %)	5,21 (17,10 %)	5,71 (17,92 %)
Punta Camurí Grande	0,34 (4,23 %)	6,09 (13,55 %)	7,92 (14,06 %)	2,50 (13,92 %)	1,19 (12,31 %)	4,08 (13,38 %)	4,35 (13,66 %)
Total =	8,03 (100 %)	44,94 (100 %)	56,33 (100 %)	17,93 (100 %)	9,63 (100 %)	30,50 (100 %)	31,87 (100 %)
Máximo =	2,64	7,88	10,72	3,33	1,41	5,21	5,71
Mínimo =	0,10	1,17	1,14	0,39	0,40	0,85	0,79
Media =	0,73	4,09	5,12	1,63	0,88	2,77	2,90

Nota. Aa = área del abanico; Aa = área de la cuenca.

casos. Es por ello que los otros parámetros morfométricos de los abanicos aluviales, fueron medidos y calculados solamente sobre sus superficies emergidas, con apoyo en la cartografía base digitalizada (ver cuadro 3).

Entre otros aspectos, las pequeñas áreas obtenidas obedecen a que las áreas-fuentes de sedimentos (cuencas de drenaje), son como ya se ha señalado, sistemas hidrogeomorfológicos de pequeñas dimensiones. Ello también se corrobora con los valores obtenidos de ancho, longitud y el radio ancho/longitud, por medio de los cuales se puede apreciar que existen abanicos más largos que anchos (Punta Gorda), otros son más anchos que largos (Punta El Cojo, Quebrada Seca, Punta Cerro Grande, Naiguatá y Punta Camurí Grande), y otros mantienen una relación más o menos proporcional (Maiquetía, La Guaira, Punta Mulatos, Macuto y Punta Caribe) (ver cuadro 3).

Las altitudes de los ápices no superan los 50 msnm, a excepción de los abanicos Punta Gorda y Punta Caribe, mientras que las altitudes de las bases o distales se tomaron para todos como 0 msnm, por no tenerse información batimétrica del sector. Estos valores en conjunto indican relieves máximos equivalentes a las altitudes de los ápices, y definen en conjunto con las longitudes de los abanicos, pendientes de muy bajas magnitudes.

Las pendientes de atrincheramiento del cauce principal en los ápices de los abanicos o sectores proximales, son también bastante bajas, por lo que se asume que la descarga de sedimentos por parte de los cursos de agua principales, se inicia desde los puntos de intersección de los cauces con las superficies de los abanicos, donde ocurre un cambio de pendiente pronunciado. Así mismo, exhiben muy bajas concavidades en sus perfiles longitudinales, y ángulos de curvatura bastante altos, denotando abanicos muy abiertos.

Sus perfiles longitudinales y transversales muestran las típicas formas cóncava y convexa respectivamente, con marcada asimetría (perfiles transversales) en la mayoría de los casos, y ligeras variaciones en sus

Cuadro 3. Parámetros Morfométricos de los Abanicos Aluviales de la Vertiente Norte del Macizo El Ávila, Estado Vargas, Venezuela

Cuenca	Abanico	Área ^a (Km ²)	Ancho (Km)	Longitud (Km)	Radio ancho/ longitud	Altitud del ápice (msnm)	Altitud de la base (msnm)
Cuenca	Punta Gordita	1,70	1,89	2,12	0,80	125	0
	Qda. Piedra Azul	3,94	1,54	1,32	1,17	50	0
	Qda. Osorio	1,04	0,47	0,40	1,18	25	0
	Qda. Cariaco	1,15	0,55	0,39	1,41	25	0
	Río S. J. de Galipán	3,00	0,67	0,62	1,08	25	0
	Qda. El Cojo	1,39	1,35	0,65	2,08	50	0
	Qda. San Julián	4,02	2,70	1,99	1,36	105	0
	Qda. Seca	0,79	1,06	0,80	1,33	50	0
	Río Cerro Grande	4,77	1,15	0,70	1,64	15	0
	Río Nalguatá	5,71	1,37	0,60	2,28	10	0
Ríos Camurí Grande y Miguelena	Punta Camurí Grande	4,35	1,21	0,57	2,12	5	0
	Máximo =	5,71	2,7	2,12	2,275	125	0
	Mínimo =	0,79	0,47	0,39	0,80	5	0
	Media =	2,90	1,25	0,92	1,49	44,09	0,00
		Relieve máximo (m)	Pendiente longitudinal (m/m)	Pendiente de atrincheramiento del cauce principal (m/m)	Índice de concavidad	Ángulo de curvatura (°)	
Cuenca	Punta Gordita	125	0,05	0,0055	0,10	57	
	Qda. Piedra Azul	50	0,04	0,0048	0,23	89	
	Qda. Osorio	25	0,06	0,0059	0,08	100	
	Qda. Cariaco	25	0,06	0,0081	0,55	123	
	Río S. J. de Galipán	25	0,05	0,0041	0,26	90	
	Qda. El Cojo	50	0,07	0,0102	0,08	170	
	Qda. San Julián	105	0,08	0,0073	0,16	112	
	Qda. Seca	50	0,06	0,0079	0,04	135	
	Río Cerro Grande	15	0,03	0,0034	-0,18	142	
	Río Nalguatá	10	0,02	0,0018	0,07	192	
Ríos Camurí Grande y Miguelena	Punta Camurí Grande	5	0,09	0,0011	0,00	171	
	Máximo =	125	0,091	0,0102	0,55	192	
	Mínimo =	5	0,02	0,0011	-0,18	57	
	Media =	44,09	0,06	0,01	0,13	125,55	

^aLos valores de áreas de los abanicos aluviales indicados en este cuadro, corresponden a los promedios de las estimaciones de áreas realizadas por medio de las distintas ecuaciones empíricas de diferentes autores, tal como se puede apreciar en el cuadro 2.

trazos (ver gráficos 8 y 9); y fuertes quiebres de pendientes en los perfiles longitudinales, atribuibles a un control tectónico, evidenciado entre otros rasgos, por la presencia de facetas triangulares, escarpes de fallas, valles colgados, abanicos disectados, drenajes controlados estructuralmente, valles fluviales terminales con pronunciadas formas en V, estrechos (cañones) y con paredes laterales de abruptas pendientes, y un frente montañoso rectilíneo. 1:5.000 por GDF, 1984, Caracas.

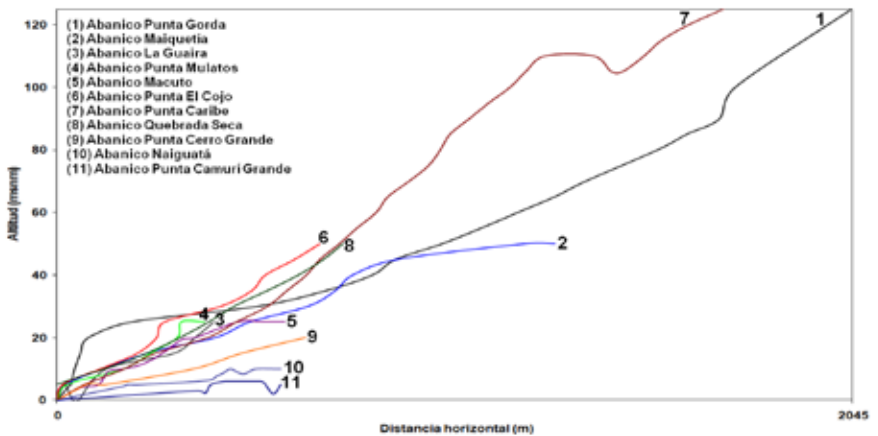


Gráfico 8. Perfiles topográficos longitudinales de los abanicos aluviales de la vertiente norte del maciso El Ávila, estado Vargas, Venezuela. Perfiles elaborados a partir de planos topográficos a escala 1:5.000 por DCN, 1958, Caracas; y planos topográficos del “Proyecto BITUCOTEX” a escala.

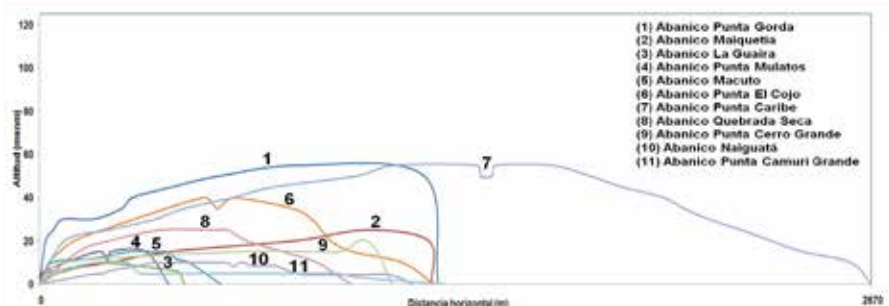


Gráfico 9. Perfiles topográficos transversales de los abanicos aluviales de la vertiente norte del maciso El Ávila, estado Vargas, Venezuela. Perfiles elaborados a partir de planos topográficos a escala 1:5.000 por DCN, 1958, Caracas; y planos topográficos del “Proyecto BITUCOTEX” a escala 1:5.000 por GDF, 1984, Caracas.

Relaciones morfométricas cuencas de drenaje – abanicos aluviales

Los abanicos aluviales simples presentan tres propiedades morfométricas importantes: forma, área y pendiente (perfiles longitudinales). Las relaciones entre esas características morfométricas de los abanicos y sus cuencas de drenaje pueden ser expresadas por ecuaciones matemáticas (Gómez, 1996a).

Los parámetros morfométricos de los abanicos aluviales estudiados que muestran las mejores correlaciones con los parámetros morfométricos de las áreas-fuentes (cuencas de drenaje) para la mayoría de los casos, son: área y pendiente de atrincheramiento del cauce principal en el ápice del abanico o punto de intersección (ver cuadro 4).

Las áreas de los abanicos muestran una correlación fuertemente positiva con los parámetros perímetro, longitud y ancho máximo de las cuencas y longitud total de las corrientes de la red de drenaje, indicando que las dimensiones de los abanicos son una expresión directa de las dimensiones del área-fuente que aporta los materiales en su génesis, desarrollo y evolución.

En el caso particular de la relación área del abanico – área de la cuenca de drenaje fuente, según diversos reportes en la literatura de trabajos realizados con morfometría de abanicos aluviales por otros autores, estas dos áreas generalmente muestran una fuerte y estrecha correlación positiva, indicando que el área de la cuenca (fuente de sedimentos) ejerce un control directamente proporcional sobre el área desarrollada o tamaño del abanico, es decir, mientras mayor superficie tenga una cuenca de drenaje, se espera que desarrolle en su piedemonte un abanico aluvial más grande.

Sin embargo, en este caso particular, se observa una correlación muy pobre (correlación estimada con las áreas de los abanicos correspondientes a sus proporciones emergidas solamente), lo cual no quiere decir que la relación discutida anteriormente no se cumpla para el sector estudiado, si no que como ya se ha indicado, algunos abanicos poseen la mayor

Cuadro 4. Matriz de Coeficientes de Correlación Entre Parámetros Morfométricos de las Cuencas y sus Redes de Drenaje y de los Abanicos Aluviales de la Vertiente Norte del Macizo El Ávila, Estado Vargas, Venezuela

Parámetros morfométricos de las cuencas	Parámetros morfométricos de los abanicos aluviales						
	Área (Km ²)	Ancho (Km)	Longitud (Km)	Radio ancho/ longitud	Pendiente longitudinal (m/m)	Pendiente de atrincheramiento del cauce principal (m/m)	Índice de concavidad
Área (Km ²)	0,19 ^a	0,39	0,07	0,48	-0,39	-0,76	-0,36
Perímetro (Km)	0,99	0,35	0,07	0,42	-0,37	-0,77	-0,27
Longitud (Km)	0,96	0,34	0,05	0,44	-0,27	-0,74	-0,33
Ancho máximo (Km)	0,98	0,42	0,14	0,41	-0,45	-0,75	-0,30
Altitud mínima (msnm)	-0,12	0,77	0,97	-0,47	0,23	0,29	-0,002
Altitud máxima (msnm)	0,82	0,26	-0,12	0,48	-0,20	-0,48	-0,19
Altitud media (msnm)	0,74	0,37	0,14	0,11	-0,21	-0,48	-0,41
Relieve máximo (msnm)	0,81	0,20	-0,18	0,50	-0,22	-0,49	-0,19
Pendiente media (m/m)	-0,72	-0,48	-0,48	-0,07	0,25	0,69	0,31
Número de rugosidad	-0,78	-0,56	-0,50	-0,09	0,31	0,68	0,38
Pendiente media del cauce de la corriente principal (m/m)	-0,82	-0,52	-0,27	-0,34	0,20	0,58	0,49
Coefficiente de compacidad	-0,20	-0,58	-0,41	-0,14	-0,03	-0,01	0,60
Longitud total de las corrientes de la red de drenaje (Km)	0,91	0,15	-0,14	0,48	-0,38	-0,79	-0,34
Densidad de drenaje (Km/ Km ²)	0,49	-0,58	-0,52	-0,01	0,11	0,27	0,07
Coefficiente de torrencialidad	0,46	-0,53	-0,49	0,00	0,14	0,28	0,08

^aCoefficiente de correlación de Pearson estimado con valores de áreas de los abanicos aluviales correspondientes a sus superficies emergidas.

parte de sus superficies bajo agua, y con sus proporciones emergidas parecieran ser más pequeños de lo que realmente son en tamaño, con el agravante de no haber podido disponer de cartografía batimétrica detallada, que hubiese permitido estimar las áreas totales de los abanicos considerando sus proporciones sumergidas.

Evidentemente, al tomar solamente las proporciones emergidas de los abanicos como sus áreas representativas y correlacionarlas con las áreas de sus cuencas de drenaje fuentes, se obtienen coeficientes errados que no corroboran los hallazgos de otros autores, y que parecieran indicar que no existe ninguna relación área del abanico – área de la cuenca en el área de interés. Si por el contrario, se estima el coeficiente de correlación tomando como áreas de los abanicos aluviales a los promedios de las estimadas con las ecuaciones empíricas de diversos autores, se obtendría una correlación perfecta con un valor de 1,00, pero ello sería un error de igual manera, ya que el área de las cuencas de drenaje con las que se están correlacionando, están implícitas en las ecuaciones con las que se estiman las áreas de los abanicos.

Muy probablemente estas mismas consideraciones aplican para los parámetros morfométricos ancho, longitud y radio ancho/longitud de los abanicos aluviales, en sus relaciones con los parámetros morfométricos de las cuencas de drenaje. Para estos casos, no se conocieron en la literatura ecuaciones empíricas que pudieran haber sido utilizadas para sus estimaciones.

Para el resto de las correlaciones entre el área de los abanicos aluviales con los otros parámetros morfométricos de las cuencas de drenaje, fueron tomadas las áreas (promedios) estimadas con las ecuaciones empíricas de diversos autores.

Las correlaciones de los parámetros área, ancho, longitud y radio ancho/longitud de los abanicos con el relieve y la altitud media de las cuencas, son medianamente buenas a bajas, al igual que con la pendiente media de la cuenca, el número de rugosidad y la pendiente media del cauce de la corriente principal, sin embargo, con estos tres últimos sus

relaciones son negativas, y ello se debe a que las cuencas de drenaje más pequeñas son las que poseen los más altos valores de esos parámetros.

Para el caso de la pendiente de atrincheramiento del cauce principal en el ápice del abanico, se perciben buenas relaciones inversamente proporcionales con los parámetros área, perímetro, longitud, ancho máximo y longitud total de las corrientes de la red de drenaje, lo cual responde de igual manera a que mientras más pequeñas son las cuencas de drenaje en el sector estudiado, más pronunciados son los atributos del relieve debido a una menor superficie expuesta a los procesos erosivos, y a un menor grado evolutivo de sus redes de drenaje. El ancho y la longitud de los abanicos exhiben buenas correlaciones positivas con la altitud mínima de la cuenca, la cual es bastante coincidente con la altitud de los ápices.

Las relaciones empíricas entre los parámetros morfométricos de las cuencas de drenaje y de los abanicos aluviales resultantes de los análisis de correlación, son mejores expresadas por ecuaciones de tipo potencial, ejemplos de las cuales se muestran en el cuadro 5.

Relaciones litología de las cuencas de drenaje – abanicos aluviales

La litología predominante en cada cuenca de drenaje, ejerce gran influencia en la morfología, desarrollo y extensión de su abanico respectivo, debido a que su competencia, mineralogía y estructura inciden directamente en el tamaño de los clastos que se producen por meteorización, y que luego son transportados por las crecientes hacia los abanicos. La proporción de los distintos tipos de afloramientos litológicos presentes en las áreas-fuentes (cuencas de drenaje) de sedimentos de los abanicos estudiados, se presentan en el gráfico 10.

Uno de los rasgos más sensibles de los abanicos aluviales a las características litológicas y tamaños de los clastos que constituyen sus depósitos, es la pendiente del mismo, ya que mientras más grandes son las dimensiones del material, mayor es la inclinación superficial de los abanicos. De igual manera, la naturaleza y dimensiones de los sedimentos

Cuadro 5. Ejemplos de Algunas Ecuaciones Resultantes de las Relaciones Em-píricas (Coef. Corr. $\geq 0,70$) Entre Parámetros Morfométricos de las Cuencas de Drenaje y de los Abanicos Aluviales.

Parámetros morfométricos de las cuencas	Parámetros morfométricos de los abanicos aluviales			
	Área (Aa) (Km ²)	Ancho (aa) (Km)	Longitud (La) (Km)	Pendiente de atrincheramiento del cauce principal (Pac) (m/m)
Área (Ac) (Km ²)	–	–	–	Pac = 0,02 Ac ^{-0,55}
Perímetro (P) (Km)	Aa = 0,03 P ^{1,65}	–	–	Pac = 0,09 P ^{-1,11}
Longitud (Lc) (Km)	Aa = 0,08 Lc ^{1,92}	–	–	Pac = 0,04 Lc ^{-1,28}
Ancho máximo (amc) (Km)	Aa = 0,55 amc ^{1,34}	–	–	Pac = 0,01 amc ^{-0,92}
Altitud mínima (h) (msnm)	–	aa = 0,10 h ^{0,64}	La = 0,03 h ^{0,88}	–
Altitud máxima (H) (msnm)	Aa = 5E-08 H ^{2,34}	–	–	–
Altitud media (Hm) (msnm)	Aa = 0,0003 Hm ^{1,34}	–	–	–
Relieve máximo (Rm) (msnm)	Aa = 2E-07 Rm ^{2,13}	–	–	–
Pendiente media (Pm) (m/m)	Aa = 0,10 Pm ^{-2,93}	–	–	–
Número de rugosidad (NR)	Aa = 0,81 NR ^{-2,10}	–	–	–
Pendiente media del cauce de la corriente principal (Pmcp) (m/m)	Aa = 0,08 Pmcp ^{-2,48}	–	–	–
Longitud total de las corrientes de la red de drenaje (Ltc) (Km)	Aa = 0,04 Ltc ^{0,90}	–	–	Pac = 0,09 Ltc ^{-0,65}

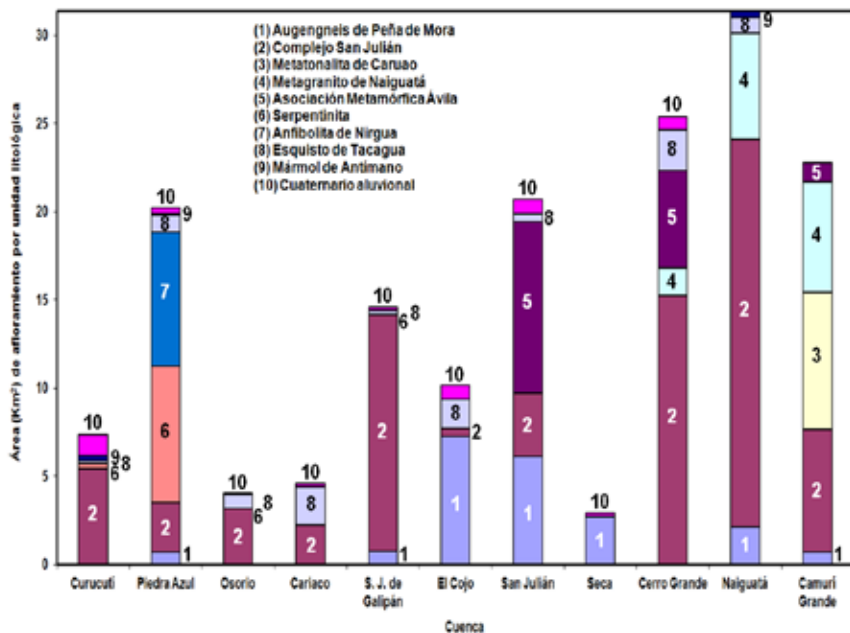


Gráfico 10. Áreas de afloramientos por unidades litológicas en cuencas de drenaje de la vertiente norte del maciso El Ávila, estado Vargas, Venezuela.

inciden directamente sobre el tamaño, longitud, ancho y radio de curvatura de los abanicos; mientras más grandes los clastos, mayores son las magnitudes de estos parámetros.

Por ejemplo, en el caso del abanico Punta Caribe cuya área-fuente está representada por la cuenca de la quebrada San Julián, afloran mayoritariamente tres tipos litológicos: Augengneis de Peña de Mora, Complejo San Julián y Asociación Metamórfica Ávila, cuyas naturalezas generan principalmente ante los procesos de meteorización clastos de grandes dimensiones, lo cual influye de manera directa en que el abanico Punta El Caribe sea uno de los que posee mayor pendiente longitudinal y mayores dimensiones, además de poseer una de las cuencas portantes más grandes del sector estudiado.

Por el contrario, de igual forma a manera de ejemplo, en el caso del abanico Punta Mulatos, las unidades litológicas expuestas en su área-fuente (cuenca de la quebrada Cariaco) corresponden principalmente al Complejo San Julián y al Esquisto de Tacagua, rocas metamórficas cuyas alteraciones químicas y físicas bajo las condiciones de intemperismo del área, producen en mayor proporción clastos más finos de menores diámetros que los que se pueden observar en el abanico Punta Caribe. Esto influye en que el abanico Punta Mulatos posea menor pendiente longitudinal y menores magnitudes en cuanto a sus parámetros morfométricos.

Relaciones perfiles topográficos longitudinales abanicos aluviales – cauces principales de los cursos de agua

De acuerdo con Gómez (1996a), el comportamiento del punto de intersección entre la superficie del abanico y el canal atrincherado, es muy importante en la evolución y morfología de dicho abanico, puesto que determina si en la parte distal se produce agradación. El mecanismo de atrincheramiento en el punto de intersección está asociado con un aumento de la potencia de la corriente en ese punto, como resultado de un incremento de la pendiente (Bull, 1977).

Existen dos tipos de causas del atrincheramiento en la superficie de un abanico: (a) las que representan cambios fundamentales en el régimen y derivan de variables externas (cambios tectónicos, climáticos y de usos del suelo); cuyos atrincheramientos son profundos y permanentes en las cabeceras, y (b) las que dan lugar a la incisión del ápice dentro del régimen de agradación del abanico (causas intrínsecas), sin la actuación de factores externos, y cuyos atrincheramientos son superficiales y pocos activos con un carácter temporal o intermitente (Gómez, 1996a).

Los puntos de intersección entre las superficies de los abanicos aluviales y los cauces principales (ver gráfico 11) estudiados en esta investigación, acusan el atrincheramiento y la incisión de éstos últimos en los ápices, a excepción de lo que se observa para los abanicos Punta El Cojo y Quebrada Seca. Las menores pendientes de los cauces respecto a los gradientes topográficos longitudinales de los abanicos, sugieren aportes

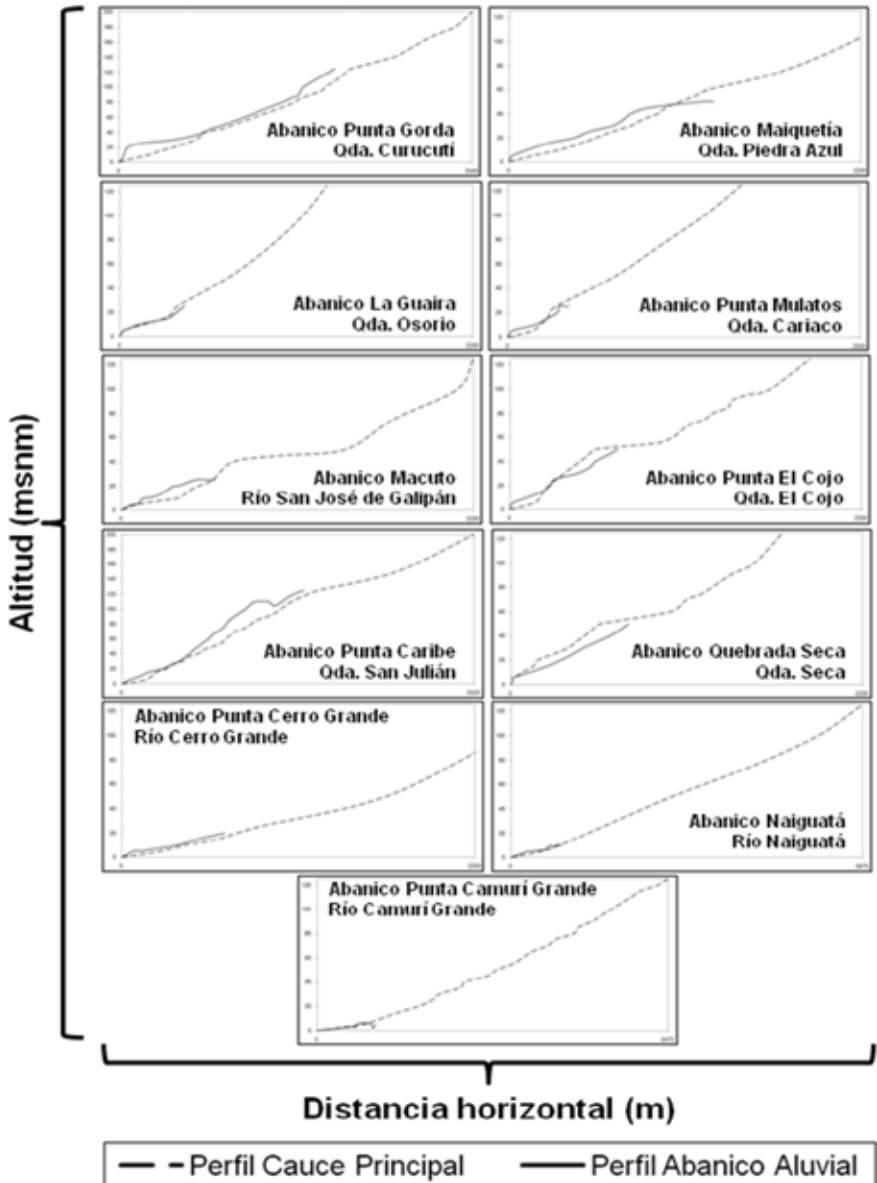


Gráfico 11. Puntos de intersección entre los perfiles de los abanicos aluviales y los perfiles de los cauces principales de ríos y quebradas de la vertiente norte del macizo El Ávila, estado Vargas, Venezuela.

de materiales principalmente hacia las áreas distales, sin embargo, dependiendo de la magnitud de un evento de aludes torrenciales como el ocurrido en Diciembre de 1999, puede ocurrir depositación de materiales desde los ápices y sobre las superficies actuales de los abanicos preexistentes.

CONCLUSIONES

El piedemonte septentrional del macizo El Ávila, en el sector seleccionado para este estudio, se caracteriza desde el punto de vista geomorfológico entre otros aspectos, por la presencia de una secuencia lateral (coalescencia y solapamiento en algunos casos) de abanicos-deltas jóvenes, desarrollados en la base de un frente de montaña con control tectónico, en la que el área deprimida o más baja correspondiente a la franja litoral, está conformada en gran parte por las porciones distales emergidas de estos mismos depósitos torrenciales.

Se trata de abanicos con sus morfologías típicas distintivas que responden al tipo retrollenado desde el frente montañoso, morfodinámicamente activos y altamente constructores, en particular bajo la ocurrencia de lluvias extraordinarias como quedó evidenciado con el evento de Diciembre de 1999, y en el que los procesos fluviales de naturaleza torrencial y agresiva (flujos de detritos y de barros) han sido y son los principales responsables de la construcción y desarrollo de la arquitectura de estas formas de relieve vinculadas a la sedimentación fluvial. Exhiben sus típicos perfiles longitudinales cóncavos y perfiles transversales convexos.

En líneas generales, estos abanicos aluviales son de pequeñas dimensiones, lo cual se debe a que sus áreas fuentes (cuencas de drenaje) de materiales son también pequeñas (microcuencas), sin embargo, las diferencias notorias de tamaños entre ellos es una consecuencia de igual manera de la variabilidad de las magnitudes de los parámetros morfométricos de cada una de las cuencas portantes.

Queda evidenciado el control que ejercen algunas de las propiedades geométricas de las cuencas sobre el desarrollo y la morfología de sus abanicos aluviales, plasmado en las relaciones empíricas (ecuaciones) entre la morfometría de éstos y la de sus cuencas; así como la litología que aflora y predomina en las últimas, reflejado en las características granulométricas de las facies clásticas que constituyen los depósitos de los abanicos, y que inciden en sus rasgos morfológicos (pendientes).

Los parámetros morfométricos de los abanicos aluviales que guardan mejores relaciones (coeficientes de correlación) con la mayoría de los parámetros morfométricos de sus cuencas portantes son el área y la pendiente de atrincheramiento del cauce principal. De hecho, las descargas de sedimentos por parte de los cursos de agua principales, se inician desde los puntos de intersección de los cauces con las superficies de los abanicos, donde ocurre un cambio de pendiente pronunciado como respuesta al atrincheramiento de dichos cauces principales.

A pesar de la fuerte relación que existe entre el área de una cuenca y el área de su abanico aluvial, como ha sido demostrado por diversos autores en la literatura, en este trabajo no se pudo evidenciar esa dependencia, y ello obedece a que algunos abanicos poseen la mayor parte de sus superficies bajo agua, y con sus proporciones emergidas parecieran ser más pequeños de lo que realmente son en tamaño. Tales condiciones introducen errores en las estimaciones de las relaciones empíricas entre cuencas de drenaje y abanicos aluviales.

Finalmente, este trabajo contribuye a la comprensión de la dinámica, desarrollo y evolución de los abanicos aluviales del piedemonte septentrional del macizo El Ávila, considerando que sus superficies representan áreas importantes en las que se asientan gran parte de la población del estado Vargas y de sus actividades económicas, las cuales son impactadas severamente con la ocurrencia de eventos de crecidas y aludes torrenciales.

REFERENCIAS

- Amend, S. (1991). *Parque Nacional El Ávila* (Parques Nacionales y Conservación Ambiental N° 2). Caracas, Venezuela: Stephan y Thora Amend.
- Amundaray, J. (2000). Aspectos geotécnicos del desastre de Vargas. En *Memorias del XVI Seminario Venezolano de Geotecnia: Calamidades geotécnicas urbanas con visión al siglo XXI, la experiencia para proyectos del futuro* (pp. 261-277). Caracas, Venezuela: Sociedad Venezolana de Geotecnia.
- Arismendi, J. (2007). Presentación geográfica de las formas de relieve. En *GeoVenezuela 2: Medio físico y recursos ambientales* (pp. 128-182). Caracas, Venezuela: Fundación Empresas Polar.
- Bahrami, S. (2013). Tectonic controls on the morphometry of alluvial fans around Danekkhoshk anticline, Zagros, Iran. *Geomorphology*, 180-181, 217-230.
- Bull, W. (1977). *The alluvial fan environment*. Progress in Physical Geography, 1, 222-270.
- Calvache, M., Viseras, C., y Fernández, J. (1997). Controls on fan development – evidence from fan morphometry and sedimentology; Sierra Nevada, SE Spain. *Geomorphology*, 21, 69-84.
- Centro de Procesamiento Digital de Imágenes. (1999). *IKONOS pancromática, resolución espacial 1 metro* [Imagen de satélite]. Baruta, Venezuela: Autor.
- Centro de Procesamiento Digital de Imágenes. (2002). *LANDSAT 7 ETM, resolución espacial 30 metros, multispectral combinación bandas 543* [Imagen de satélite]. Baruta, Venezuela: Autor.
- Crosta, G., y Frattini, P. (2004). Controls on modern alluvial fan processes in the Central Alps, Northern Italy. *Earth Surface Processes and Landforms*, 29, 267-293.
- Denny, C. (1965). Alluvial fans in the Death Valley Region, California and Nevada. *United States Geological Survey Professional Paper*, 466. USA.
- Denny, C. (1967). *Fans and pediments*. *American Journal of Science*, 265, 81-105.

- Dirección de Cartografía Nacional. (1958). *Hojas II-8, III-8, IV-8, I-9, II-9, III-9, IV-9, I-10, II-10, III-10, IV-10, I-11, II-11, III-11, IV-11, I-12, II-12, III-12, IV-12, I-13, II-13, III-13 y IV-13* [Planos topográficos a escala 1:5.000, Proyecto BITUCOTEX]. Caracas, Venezuela: Autor.
- Dirección de Cartografía Nacional. (1979). *Hojas 6847-IV-SO 23 de Enero, 6847-I-SO Curupao, 6847-IV-NE El Caribe, 6847-IV-SE Los Chorros, 6847-IV-NO Maiquetía y 6847-I-NO Naiguatá* [Cartas topográficas a escala 1:25.000]. Caracas, Venezuela: Autor.
- Giles, P. (2010). Investigating the use of alluvial fan volume to represent fan size to morphometric studies. *Geomorphology*, 121, 317-328.
- Gobernación del Distrito Federal. (1984). *Hojas B-42, C-42, D-42, E-42, B-43, C-43, D-43, E-43, B-44, C-44, D-44, B-45, B-46, B-47, B-48 y B-49* [Planos topográficos a escala 1:5.000]. Caracas, Venezuela: Autor.
- Gómez, A. (1996a). Abanicos aluviales: Aportación teórica a sus aspectos más significativos. *Cuaternario y Geomorfología*, 10 (3-4), 77-124.
- Gómez, A. (1996b). Caracterización morfométrica y tipológica de conos aluviales en La Rioja y en el Pirineo aragonés. En A. Grandal y J. Páges (Comp.), *IV Reunión de Geomorfología* (pp. 721-736). La Coruña, España: Sociedad Española de Geomorfología.
- Google Earth. (2015). CNES/Astrium y Digital Globe.
- Grases, J., Amundaray, J., Malaver, A., Feliziani, P., Franceschi, L., y Rodríguez, J. (2000). Emergencia 99: *Efectos de las lluvias caídas en Venezuela en diciembre de 1999*. Caracas, Venezuela: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo / Corporación Andina de Fomento.
- Guevara, J. (1983). *Geografía de las regiones central y capital*. Caracas, Venezuela: Seix Barral.
- Harvey, A. (1984). Aggradation and dissection sequences on spanish alluvial fans: Influence on morphological development. *Catena*, 11, 289-304.
- Harvey, A. (1987). Patterns of Quaternary aggradational and dissectional landform development in the Almeria region, southeast Spain: A dry region, tectonically active landscape. *Die Erde*, 118, 193-215.
- Hooke, R. (1967). Processes in arid-region alluvial fans. *Journal of Geology*, 75, 438-460.

- Hooke, R. (1968). Steady-state relationships on arid region alluvial fans in closed basins. *American Journal of Sciences*, 266, 609-629.
- Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar. (2003). *Caracas y alrededores* (Mapa Especial) [Mapa a escala 1:100.000]. Caracas, Venezuela: Autor.
- Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar / Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales. (2002). *Proyecto Ávila, Mapa de Riesgos: Geología* [Mapa a escala 1:25.000]. Caracas, Venezuela: Autor.
- Karymbalis, E., Gaki, K., y Ferentinou, M. (2010). Fan deltas classification coupling morphometric analysis and artificial neural networks: The case of NW coast of Gulf of Corinth, Greece. *Hellenic Journal of Geosciences*, 45, 133-146.
- Kostaschuk, R., MacDonald, G., y Putnam, P. (1986). Depositional process and alluvial fan – drainage basin morphometric relationships near Banff, Alberta, Canada. *Earth Surface Processes and Landforms*, 11, 471-484.
- Lecce, S. (1991). Influence of lithologic erodibility on alluvial fan area, Western White Mountains, California and Nevada. *Earth Surface Processes and Landforms*, 16, 11-18.
- Lyle, J. (2004). *The geomorphology and morphometric characteristics of alluvial fans, Guadalupe Mountains National Park and adjacent areas, West Texas and New Mexico*. Tesis de Maestría no publicada, Texas A & M University, Texas.
- Marcano, F., y Barrios, S. (2001). *Estado Vargas: Aspectos socioeconómicos, función urbana y opciones de desarrollo, Litoral Vargas: Corredor urbano y red vial estructurante*. Caracas, Venezuela: Instituto de Urbanismo, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Central de Venezuela / Centro de Estudios del Desarrollo.
- McArthur, J. (1987). The characteristics, classification and origin of Late Pleistocene fan deposits in the Cass Basin Canterbury, New Zealand. *Sedimentology*, 34, 459-471.
- Méndez, W., Carrera, J., y Rivas, L. (2015). Geomorfometría de cuencas de drenaje de la vertiente norte del macizo “El Ávila” (estado Vargas, Venezuela): Implicaciones hidromorfodinámicas. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 16 (3), 501-530.

- Mills, H. (1982). Piedmont case deposits of the Dellwood Quadrangle, Great Smoky Mountains, North Carolina, USA: Morphometry. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 26, 163-178.
- Mills, H. (1983). Piedmont evolution at Road Mountain, North Carolina. *Geografiska Annaler*, 65A, 111-126.
- Ministerio del Poder Popular para el Ambiente, Dirección General de Cuencas, Dirección de Hidrología y Meteorología. (2011). [Datos climatológicos: Estaciones Maiquetía, Maiquetía-Aeropuerto, La Guaira-Estación GFG, Macuto, Los Castillitos, Hotel Humboldt, Caraballeda, La Guaira-Electricidad, Uria, Naiguatá, San Julián, Caracas-El Ávila y Los Corales]. Datos no publicados.
- Oguchi, T., y Ohmori, H. (1994). Analysis of relationships among alluvial fan area, source basin area, basin slope, and sediment yield. *Z. Geomorph. N. F.*, 38 (4), 405-420.
- PDVSA. (1993). *Atlas Imagen de Venezuela: Una visión desde el espacio*. Caracas, Venezuela: Autor.
- Saito, K., y Oguchi, T. (2005). Slope of alluvial fans in humid regions of Japan, Taiwan and the Philippines. *Geomorphology*, 70, 147-162.
- Scally, F. de, y Owens, I. (2004). Morphometric controls and geomorphic responses on fans in the Southern Alps, New Zealand. *Earth Surface Processes and Landforms*, 29, 311-322.
- Servicio Autónomo de Geografía y Cartografía Nacional. (1995). Hojas 6847-IV-NE Caraballeda, 6847-IV-SO Caracas, 6847-I-SO Curupao, 6847-IV-NO La Guaira, 6847-IV-SE Los Chorros y 6847-I-NO Naiguatá [Ortofotomapas a escala 1:25.000]. Caracas, Venezuela: Autor.
- Silva, P., Harvey, A., Zazo, C., y Goy, J. (1992). Geomorphology, depositional style and morphometric relationships of Quaternary alluvial fans in the Guadalentin Depression (Murcia, Southeast Spain). *Z. Geomorph. N. F.*, 36 (3), 325-341.
- Sorriso, M., Antronico, L., y Le Pera, E. (1998). Controls on modern fan morphology in Calabria, Southern Italy. *Geomorphology*, 24, 169-187.
- Steyermark, J., y Huber, O. (1978). *Flora del Ávila: Flora y vegetación de las montañas del Ávila, de la Silla y del Naiguatá*. Sociedad Venezolana de Ciencias Naturales / Völlmer Foundation / Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables.

- Suárez, C. (1997). Relaciones morfométricas y litológicas de abanicos aluviales cuaternarios del piedemonte andino-lacustre. En *Memorias del VIII Congreso Geológico Venezolano* (T. 2, pp. 431-439). Caracas, Venezuela: Sociedad Venezolana de Geólogos.
- Urbani, F., y Rodríguez, J. (2004). *Atlas geológico de la Cordillera de la Costa, Venezuela*. Caracas, Venezuela: Fundación Geos.
- Urbani, F., Rodríguez, J., Barboza, L., Rodríguez, S., Cano, V., Melo, L., Castillo, A., Suárez, J., Vivas, V., y Fournier, H. (2006). Geología del estado Vargas, Venezuela. En J. López y R. García (Comp.), *Los Aludes Torrenciales de Diciembre 1999 en Venezuela* (pp. 133-156). Caracas, Venezuela: Instituto de Mecánica de Fluídos, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela.
- Viseras, C., Calvache, M., Soria, J., y Fernández, J. (2003). Differential features of alluvial fans controlled by tectonic or eustatic accommodation space: Examples from the Betic Cordillera, Spain. *Geomorphology*, 50, 181-202.