PetroRenova
REVISTA CIENTÍFICA DE LA ENERGÍA
INDEXED
Vol. 2 núm. 4
Octubre-Diciembre, 2026
Zulia-Venezuela
ISSN-e: 3080-6666

Evolución sedimentológica del abanico aluvial de Caraballeda, estado Vargas, Venezuela

Sedimentological evolution of the Caraballeda alluvial, Vargas state, Venezuela

DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.23300005

Recibido: 2026-07-08 **Aceptado**: 2026-08-10

Chacín Benedetto, Edgar[1]
Correo: ejchb1965@gmail.com
Orcid: https://orcid.org/0009-0009-7257-9414

Esteves Albarrán, Amarilis[2]
Correo: amiesteves59@gmail.com
Orcid: https://orcid.org/0009-0001-1179-0998

Resumen

Los abanicos aluviales en frentes tectónicamente activos, como el de Caraballeda en el litoral central de Venezuela, son sistemas deposicionales complejos formados por el levantamiento de la Cordillera de la Costa. Alimentado por cuencas de alta energía como la Quebrada San Julián, este depósito evoluciona mediante pulsos breves y violentos de flujos de detritos y avalanchas (eventos extremos como los de 1951 y 1999). Tectónicamente, la progradación del abanico sepultó más de 1200 metros de la traza de la falla de San Sebastián, ocultando su expresión superficial e imposibilitando la evaluación directa de la amenaza sísmica local. La posterior urbanización no planificada sobre estos sedimentos incrementa severamente la vulnerabilidad social. Por ello, resulta prioritario integrar estudios sedimentológicos, microzonificación sísmica y modelación de flujos e inundaciones en los planes de ordenamiento territorial y gestión de riesgos, pues el peligro abarca tanto la actividad sísmica como la reactivación torrencial del abanico.

Palabras clave: Caraballeda, San Sebastián, falla, cordillera de la costa, abanico aluvial.

Abstract

Alluvial fans situated along tectonically active fronts—such as the Caraballeda fan on Venezuela's central coast—are complex depositional systems formed by the uplift of the Coastal Range. Fed by high-energy drainage basins like the San Julián Ravine, this deposit evolves through brief, violent pulses of debris flows and avalanches (extreme events such as those of 1951 and 1999). From a tectonic perspective, the fan's progradation buried over 1,200 meters of the San Sebastián fault trace, masking its surface expression and making direct assessment of the local seismic hazard impossible. Subsequent unplanned urbanization atop these sediments has severely heightened social vulnerability. Consequently, it is a priority to integrate sedimentological studies,

[1] Geólogo. Consultoría GPSI, CP 5201 Barinas, Venezuela.
[2] Geólogo. Consultoría GPSI, CP 5201 Barinas, Venezuela.

Artículo de acceso abierto bajo **Licencia Internacional Creative Commons Attribucion-NoComercial-CompartirIgual 4.0**

seismic microzonation, and flow and flood modeling into land-use planning and risk management strategies, as the hazard encompasses both seismic activity and the potential for the fan to reactivate as a torrential system.

Keywords: Caraballeda, San Sebastián, Fault, Coastal Range, alluvial fan.

Introducción

Los abanicos aluviales o conos de deyección desarrollados en frentes montañosos tectónicamente activos representan algunos de los ambientes sedimentarios más dinámicos y complejos de las márgenes continentales. En la franja septentrional de Venezuela, el límite de placas entre Caribe y Suramérica ha impulsado el levantamiento de la Cordillera de la Costa (Serranía del Litoral), generando un relieve de alto gradiente topográfico expuesto a procesos de erosión acelerada y a un transporte de sedimentos de alta energía hacia el Mar Caribe. Como respuesta a este control morfotectónico, a lo largo del litoral central (estado La Guaira) se han desarrollado diversos abanicos costeros prominentes, entre los que destacan Catia La Mar, Macuto, Camurí Chico, Tanaguarena y Caraballeda.

Entre estas geoformas, el abanico aluvial de Caraballeda constituye un laboratorio natural idóneo para analizar la evolución sedimentaria y morfodinámica de depósitos de abanico costero en contextos, geológicamente, acoplados. Su desarrollo responde a un proceso deposicional a largo plazo (escala cuaternaria/cientos de miles de años) (Schubert, 1985), controlado directamente por el cambio abrupto de pendiente y el elevado gradiente hidráulico que experimentan las cuencas de alta energía, principalmente, la Quebrada San Julián al emerger del frente montañoso escarpado del Parque Nacional El Ávila e ingresar a la faja costera (Bezada, 1990; López et al., 2003).

A escala geológica, aunque la evolución general del sistema es continua, su crecimiento volumétrico y progradación efectiva ocurren de forma eventual a través de pulsos de alta energía y de corta duración, dominados por aludes torrenciales, flujos de detritos y flujos de lodo (Wieczorek et al., 2001; López y Urbani, 2005). Eventos hidrometeorológicos extraordinarios, como los documentados, fehacientemente, el 15 de febrero de 1951 y 15-16 de diciembre de 1999 (así como la recurrencia histórica de 1912, 1914, 1938, 1948, 2005, 2010 y 2022), no representan anomalías del sistema, sino los mecanismos morfogenéticos fundamentales mediante los cuales el abanico incrementa su balance de masa y prograda sobre el mar Caribe, es decir hacia el norte (Schubert, 1985; López y Urbani, 2005).

Además de su significado geomorfológico, tanto el abanico de Caraballeda, así como otros ubicados tanto al este como al oeste, ejercen una interacción directa con la tectónica activa regional. La continua y masiva progradación del depósito a lo largo del Cuaternario ha cubierto, aproximadamente, 1200 metros de la traza de la Falla de San Sebastián, el principal sistema sísmico transcurrente dextral del margen continental en el litoral central (Audemard y Sant, 2002; Audemard, 2006). Esta masiva e interactiva acumulación de sedimentos hiper-concentrados actúa como un verdadero blindaje sedimentario, el cual atenúa, enmascara o fosiliza la expresión morfotectónica superficial de la falla (FUNVISIS, 2000; Audemard, 2006). Este fenómeno dificulta la caracterización geofísica directa de la estructura activa e incrementa la incertidumbre en la evaluación de la amenaza sísmica local.

Por otra parte, los prolongados períodos de calma relativa entre eventos extremos suelen inducir una falsa sensación de estabilidad geomorfológica en la población e instituciones. Esto ha propiciado una densa e histórica ocupación anárquica del espacio sobre el cuerpo del abanico, exponiendo infraestructura crítica y asentamientos urbanos dentro del dominio dinámico natural de la cuenca (Altez, 2002).

En consecuencia, el estudio detallado de la cronología de eventos, la arquitectura sedimentaria y las implicaciones sismotectónicas del abanico de Caraballeda resulta fundamental para fundamentar planes de ordenación territorial y gestión integral del riesgo geológico en el litoral central venezolano (FUNVISIS, 2001; Altez, 2002).

Figura 1. Ubicación de la localidad de Caraballeda en la costa Guaireña.



Fuente: Diseño del autor para este trabajo basado en Google Earth

1. Fundamentos teóricos

1.1. Ubicación del área de estudio

El abanico aluvial de Caraballeda se localiza en la vertiente norte de la cordillera de la Costa, en el estado La Guaira (litoral central de Venezuela), bajo las coordenadas UTM aproximadas Norte: 1.174.572 y Este: 735.313 (Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas [FUNVISIS], 2000). Geográficamente, limita al norte con el mar Caribe y al sur con el frente montañoso abrupto de la serranía del Litoral en el parque nacional El Ávila, el cual alcanza elevaciones superiores a los 2600 m s. n. m. en pocos kilómetros horizontales (Urbani, 2000). Asimismo, colinda al este y al oeste con otras microcuencas y abanicos aluviales costeros, como Tanaguarena y Macuto/Camurí Chico, respectivamente (Rodríguez y Córdova, 2000). El drenaje principal del área está estructurado por la cuenca hidrográfica del río San Julián y por otras quebradas secundarias de alta pendiente (Figura 2). Este río nace a unos 2600 metros de altura en el parque nacional El Ávila específicamente entre la Silla de Caracas y el Pico Oriental y posee un recorrido de entre 7 y 9 km (Méndez et al., 2015).

Figura 2. Rio San Julián



Fuente: Diseño del autor

1.2. Estratigrafía del área

La Figura 3 muestra la columna geológica del abanico aluvial de Caraballeda se compone de sedimentos no consolidados del cuaternario como gravas, arenas, bloques y lodo depositados sobre un basamento de esquistos y gneises de la Cordillera de la Costa (García Robaina et al., 2023; Universidad Central de Venezuela).

Esta estructura presenta una secuencia estratigráfica superficial suelta y susceptible a la saturación de agua (Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas 2020).

Nivel Superficial (+4 a 0 m): Constituido por una capa superficial de suelo antrópico, sucedido por un horizonte sedimentario de arenas finas y limos de marea de consistencia suelta. Representa el ambiente de planicie costera y marisma marginal previo a la estabilización urbana moderna. (García Robaina et al., 2023).

Facies Aluviales Recientes (0 m a -15 m): Unidad litoestratigráfica del periodo Cuaternario dominada por una mezcla heterogénea de gravas, arenas gruesas y una matriz lodo-arenosa. Este nivel almacena el registro litoestratigráfico de eventos de flujos de detritos de gran magnitud, entre los cuales destaca de forma directa el volumen depositado durante el desastre hidrometeorológico de la Tragedia de Vargas en diciembre de 1999 (Wieczorek et al., 2001).

Intercalaciones Marinas y Aluviales (-15 m a -40 m): Intervalo de transición dinámico donde coexisten de manera interdigitada, lentes de arenas de playa propias de la dinámica litoral y el oleaje con secuencias estratigráficas de paleoflujos torrenciales antiguos. Evidencia que el abanico ha sufrido múltiples pulsos históricos de progradación (avance del frente del río hacia el mar) seguidos de periodos de transgresión o estabilización marina. Facies proximales / Detritos gruesos (-40 m a -80 m): Franja litoestratigráfica caracterizada por la acumulación subsuperficial de depósitos proximales masivos. Está compuesta por megabloques (grandes fragmentos de roca fracturada) embebidos y compactados dentro de una matriz de lodos densos. Debido a la naturaleza porosa intergranular entre los bloques de roca limpia, este tramo confiere una alta permeabilidad hidráulica a la sección interna del acuífero del abanico.

Basamento Rocoso Metamórfico (Profundidad > 80 m): Base estructural firme de la columna que marca el término de los sedimentos sueltos y el inicio de la roca consolidada del Cretácico. Está constituida litológicamente por las unidades de la Cordillera de la Costa: el Esquisto de San Julián y el Gneiss de Peña de Mora. Geométricamente, el tope de este basamento posee un fuerte buzamiento (inclinación angular) orientado hacia el norte (rumbo al Mar Caribe), sirviendo como la rampa tectónica sobre la cual se asientan todos los depósitos aluviales cuaternarios descritos (García Robaina et al., 2023; Moncada, 2005).

Figura 3. Columna geológica del abanico aluvial.

Profundidad	Descripción Litológica
+ 4 m a 0 m	Capa Superficial / Suelo antrópico. Arenas finas y limos de marea (sueltas).
0 m a – 15 m	Facies Aluviales Recientes (Cuaternario) Gravas, arenas gruesas y matriz de lodo. Depósitos de flujos de detritos (Tragedia 1999).
– 15 a – 40 m	Intercalaciones Marinas y Aluviales. Lentes de arenas de playa mezclados con secuencias de paleoflujos torrenciales antiguos.
– 40 a – 80 m	Facies Proximales / Detritos Gruesos Grandes bloques de roca fracturada (megabloques) englobados en lodos densos. Alta permeabilidad.
Basamento	Basamento Rocoso Metamórfico (Cretácico). Esquistos de San Julián y Gneiss de Peña de Mora. Fuerte buzamiento hacia el norte.

Fuente: Diseño del autor

1.3. Introducción morfogenética

El abanico aluvial de Caraballeda es una geoforma cuaternaria cuya arquitectura depósito-sedimentaria, no es el resultado exclusivo de la escorrentía fluvial ordinaria, sino el producto de la acumulación recurrente y episódica de flujos de detritos y flujos de lodo. La evidencia geológica indica que estos procesos erosivos e hidrometeorológicos han actuado de manera continua en la Cordillera de la Costa desde el Pleistoceno tardío y el Holoceno (Schubert, 1985). En este contexto, la vertiente norte de la Serranía del Litoral, caracterizada por sus fuertes pendientes y su alta susceptibilidad a procesos de remoción en masa (Bezada, 1990), genera las condiciones para que eventos pluviales extraordinarios prograden el abanico hacia el Mar Caribe, tenemos como ejemplo las vaguadas del 15 febrero de 1951 y 15-16 de diciembre de 1999.

1.4. Evolución del Abanico de Caraballeda

Estado Primitivo Hipotético. Representa una reconstrucción hipotética de cómo fue la misma sección de la costa si no existiera el gran abanico aluvial, el cual no cubría la traza de la falla de San Sebastián, (Figura 4).

Geomorfología. El paisaje está dominado casi exclusivamente por las escarpadas pendientes de la Cordillera de la Costa. El valle principal es visible, pero en lugar de desembocar en un gran cono de sedimentos.

Figura 4. Estado primitivo Hipotético, Pre-abanico aluvial



Fuente: Diseño del autor basado en Google Earth

La Figura 4 revela la costa de Caraballeda con Abanico Aluvial (Estado Moderno / Post-Evento) Esta imagen satelital muestra la configuración de la costa sin construcciones ni habitantes. El rasgo más prominente es el gran abanico aluvial progradante que se extiende como un delta hacia el Mar Caribe. La transición de la Figura 4 a la 5 ocurre a través de cientos de miles de años de deposición continua, puntuados por eventos catastróficos de torrencialidad, como los ocurridos en el estado Vargas en dos ocasiones documentadas febrero de 1951 y diciembre de 1999. (Tabla 1).

Cuando un río que proviene de la montaña con alta carga de sedimentos sale de su cañón estrecho y entra en una zona llana, pierde repentinamente su capacidad de transporte debido a la disminución de la pendiente y la dispersión del flujo. Esto provoca la deposición masiva de material de cualquier tamaño, formando un abanico, por su forma con un abanico chino.

2. Metodología

El presente estudio se desarrolló mediante una metodología multidisciplinaria estructurada en cuatro fases fundamentales:

a) Revisión histórica y caracterización hidro-sedimentaria, a partir de registros pluviométricos y antecedentes cronológicos de deslaves en la cuenca del Río San Julián;
b) Análisis litoestratigráfico y de facies, mediante la descripción de la columna sedimentaria cuaternaria y la gradación de detritos desde la zona proximal hasta la distal;
c) Geofísica y modelado tridimensional, mediante la inversión de anomalías gravimétricas de Bouguer y la generación de un mapa isópaco georreferenciado en un entorno Sistema de Información Geográfica -SIG -Google Earth Pro) para determinar los espesores sedimentarios y la geometría del depocentro; y finalmente
d) Evaluación morfotectónica y de vulnerabilidad urbana, analizando la cobertura o «blindaje sedimentario» sobre la traza de la Falla de San Sebastián y su superposición con el desarrollo urbano e infraestructura de Caraballeda.

La metodología se estructuró en etapas metodológicas principales, adaptadas al enfoque tectono-sedimentario, geomorfológico y de gestión del riesgo que aborda la investigación.

2.1. Enfoque y tipo de investigación

Tipo de estudio: Investigación cuali-cuantitativa, con enfoque geológico, sedimentológico, morfotectónico y multi-amenaza (sismotectónica e hidrometeorológica).

Diseño: Estudio no experimental, descriptivo-explicativo y de análisis retrospectivo-histórico mediante integración de datos geofísicos, estratigráficos e imágenes de sensoramiento remoto.

2.2. Fases de la metodología

Fase 1: Recopilación documental y Análisis histórico-cronológico

a) Revisión geográfico-geológica: Recopilación de literatura previa sobre el Levantamiento de la Cordillera de la Costa, la traza de la Falla de San Sebastián y la litología del basamento metamórfico (Esquisto de San Julián y Gneiss de Peña de Mora).

b) Registro histórico de eventos: Reconstrucción cronológica de los aludes torrenciales y flujos de detritos ocurridos en los siglos XX y XXI (eventos de 1912, 1914, 1938, 1948, 1951, 1999,

2005, 2010 y 2022) mediante datos pluviométricos (ejemplo, INAMEH, estación Maiquetía) e informes técnicos históricos.

Fase 2: Caracterización estratigráfica y Análisis de facies sedimentarias.

a) Levantamiento de la columna estratigráfica: Descripción de la secuencia vertical y variaciones de facies desde el basamento rocoso hasta la superficie.

b) Nivel superficial (+4 a 0 m): Suelo antrópico y arenas finas/limos de marea.

c) Facies aluviales recientes (0 a -15 m): Heterogeneidad de gravas y matrices lodo-arenosas (registros de flujos de detritos como el de 1999).

d) Intercalaciones marinas y aluviales (-15 a -40 m): Identificación de pulsos de progradación y transgresión/estabilización marina.

e) Facies proximales / Detritos gruesos (-40 a -80 m): Caracterización de megabloques y permeabilidad hidráulica.

f) Basamento rocoso metamórfico (> 80 m): Determinación del tope del basamento y su rampa tectónica.

g) Gradación de granos: Análisis de la variación granulométrica a lo largo de perfiles longitudinales y transversales del abanico (facies proximales a distales).

Fase 3: Geofísica y Modelado del basamento (Mapa Isópaco)

a) Adquisición e Inversión gravimétrica: Uso de datos de anomalías gravimétricas de Bouguer e inversión de datos geofísicos para estimar las profundidades del basamento rocoso.

b) Generación de curvas de isoprofundidad: Construcción del mapa isópaco con equidistancia de 25 m para delimitar los dominios de espesor sedimentario (somero: 0-50 m; intermedio: 150-350 m; depocentro máximo: 350-450 m).

c) Georreferenciación y Modelado GIS: Integración y vectorización del mapa isópaco sobre imágenes satelitales de alta resolución (Google Earth Pro) para evaluar la geometría tridimensional del abanico y la cobertura sedimentaria sobre los ~1200 m de la traza de la Falla de San Sebastián.

Fase 4: Análisis morfotectónico y Evolución histórico-espacial

a) Modelado morfogenético: Comparación espacio-temporal entre el Estado Primitivo Hipotético (pre-abanico) y el Estado Moderno/Post-evento mediante imágenes satelitales y esquemas conceptuales.

b) Evaluación del Blindaje sedimentario: Análisis de cómo la progradación de depósitos hiper-concentrados enmascara la expresión superficial de la Falla de San Sebastián y atenúa sus rasgos morfotectónicos.

Fase 5: Vulnerabilidad urbana e Integración para la gestión del riesgo

a) Análisis del crecimiento urbano: Sobreposición espacial de la trama urbana (sectores Caribe, El Palmar, Los Corales) e infraestructura crítica (ejemplo, área hotelera en Punta Caraballeda) sobre los dominios de depocentro sedimentario y canales de flujo.

b) Evaluación de amenazas múltiples: Síntesis del riesgo acoplado (amplificación sísmica por respuesta de sitio vs. reactivación hidro-sedimentaria por eventos pluviales extremos) para fundamentar recomendaciones de ordenación territorial

3. Análisis y discusión de los resultados

A continuación, se presenta un análisis desglosado de la evolución sedimentológica y morfotectónica del abanico aluvial de Caraballeda estado La Guaira, Venezuela.

3.1. Contexto geodinámico y mecanismos morfogenéticos

Control tectónico: El abanico aluvial se desarrolla en la vertiente norte de la Cordillera de la Costa (Serranía del Litoral), generado por la interacción del límite entre las placas del Caribe y Suramérica y la alta energía de la cuenca de la Quebrada San Julián.

Dinámica deposicional: A escala geológica (Cuaternario), el crecimiento volumétrico y la progradación del abanico sobre el mar Caribe ocurren mediante pulsos episódicos de alta energía, dominados por aludes torrenciales, flujos de detritos (debris flows) y flujos de lodo. Eventos hidrometeorológicos extremos (como los de febrero de 1951 y diciembre de 1999) representan sus mecanismos morfogenéticos fundamentales.

3.2. Registro cronológico de eventos históricos de deslaves

A continuación, se detalla la secuencia cronológica de los eventos registrados durante los siglos XX y XXI que han moldeado, progradado y reconfigurado la morfología del abanico aluvial de Caraballeda y otros cercanos a la costa Guaireña tanto al este como al oeste:

Tabla 1. Deslaves históricos durante siglo XX y XXI.

Costa guaireña (siglo XXZ y XXI)			
Fecha	Evento	Dif. Años	Fallecidos
Feb//1912	Deslave		No hay datos
Dic//1914	Deslave	2,8	No hay datos
29/11/1938	Deslave	24,0	si
04/08/1948	Deslave	9,7	si
15/02/1951	Deslave	2,5	si
15/12/1999	Deslave	48,8	si
07/02/2005	Deslave	5,1	si
25/11/2010	Deslave	5,8	si
27/10/2022	Deslave	11,9	si

Febrero de 1912

Registro histórico: Primer gran evento documentado del siglo XX en el litoral central.

Impacto geológico: Activación generalizada de vertientes en la cuenca alta de la Quebrada San Julián, aportando un importante volumen de sedimentos coluviales al pie de monte. (Sin datos cuantitativos de fallecidos).

Diciembre de 1914.

Registro histórico: Evento recurrente a corto plazo tras un periodo de saturación previa de los suelos de la serranía.

Impacto geológico: Reexcavación de los canales de drenaje y acumulación de bloques heterométricos en la zona ápice del abanico.

29 de noviembre de 1938.

Registro histórico: Evento pluvial extraordinario con pérdidas humanas confirmadas.

Impacto geológico: Flujos de detritos que alteraron el curso principal de la Quebrada San Julián, redistribuyendo depósitos de bloques en la zona media del abanico aluvial.

04 de agosto de 1948.

Registro histórico: Deslave de magnitudes moderadas a altas con afectación de infraestructuras iniciales y cobro de vidas humanas.

Impacto geológico: Incremento del abanico distal por deposición de materiales finos e intermedios.

15 al 17 de febrero de 1951

Registro Histórico y Comportamiento Pluviométrico: El evento de febrero de 1951 constituye uno de los antecedentes hidrometeorológicos y geomorfológicos mejor documentados del litoral central venezolano con anterioridad al término del siglo XX (Röhl, 1951; Centeno Grau, 1969). El núcleo de la tormenta se concentró en las cabeceras de la Serranía del Litoral, alcanzando en el sector de Topo El Infiernito (~1750 m s. n. m.) un máximo acumulado de entre 529 mm y 530 mm de precipitación en un lapso de 60 horas. En términos de volumen sobre la superficie del terreno, esta lámina de agua representa la descarga de aproximadamente 530 l/m² (equivalente a verter casi 2,55 tambores industriales de 208 litros por cada metro cuadrado en la vertiente norte de la Cordillera de la Costa).

Impacto Geomorfológico y Sedimentológico:

Las precipitaciones prolongadas e intensas indujeron la saturación del manto residual y coluvial, desencadenando deslizamientos masivos en las cuencas altas de los ríos y quebradas locales, con especial impacto en San Julián y Camurí Chico (Bezada, 1990; Salcedo, 2000). La rápida convergencia de estos flujos hiper-concentrados hacia los cauces principales derivó en la movilización y depósito de gruesos estratos de brechas sedimentarias y conglomerados matriz-soportados (debris flows). Este aporte masivo de detritos produjo una progradación efectiva de la línea de costa en el frente costero de Caraballeda, consolidando y acentuando la morfología cónica del abanico aluvial (Schubert, 1985).

15 de diciembre de 1999, la Tragedia de Vargas.

Registro histórico: El evento morfodinámico de mayor magnitud registrado en la historia moderna de Venezuela. Según los registros pluviométricos del INAMEH y la estación meteorológica de Maiquetía (Litoral Central / La Guaira): En 24 horas (solo el día 15 de diciembre): Cayeron aproximadamente 410 mm de lluvia. Acumulado de la tormenta (entre el 14 y el 16 de diciembre): Alcanzó un récord histórico de 911 mm de lluvia acumulada en 52 horas (aprox el equivalente a todo lo que llueve en un año normal en la zona), es decir que al llevar la equivalencia con un tambor de almacenamiento industrial de 208 litros sobre cada metro cuadrado del terreno en la vertiente de la Cordillera de la Costa cayeron casi 4,5 tambores.

Impacto geológico: Un volumen estimado de millones de metros cúbicos de sedimento, rocas y vegetación descendieron violentamente por la Quebrada San Julián. Este flujo hiper-concentrado de alta densidad progradó sustancialmente la línea de costa hacia el Mar Caribe, sepultó la

urbanización Caraballeda y redefinió por completo la topografía del abanico aluvial, depositando bloques gneísicos de varios metros de diámetro.

07 de febrero de 2005

Registro histórico: Evento hidrometeorológico extremo recurrente.

Impacto geológico: Movilización de sedimentos remanentes del evento de 1999 en las cuencas altas. Evaluó la efectividad de las presas de retención de sedimentos construidas en la Quebrada San Julián.

25 de noviembre de 2010.

Registro histórico: Precipitaciones continúas asociadas a anomalías del Caribe.

Impacto geológico: Desbordamientos y flujos de lodo de menor escala que re trabajaron los depósitos preexistentes en el cuerpo del abanico.

27 de octubre de 2022.

Registro histórico: Evento más reciente documentado en la franja costera.

Impacto geológico: Activación focalizada de cárcavas y arrastre de sedimentos que reconfirmó la vulnerabilidad y la constante dinámica activa de la interfaz montaña-costa.

Figura 5. Abanico aluvial sin construcciones



Fuente: Diseño del autor basado en Google Earth.

El abanico aluvial cubre la traza de la falla de San Sebastián (Audemard, 2006; FUNVISIS, 2000). Mucho antes de la llegada de los europeos, Figura 5, las tierras litorales de Caraballeda estaban pobladas por comunidades indígenas caribes (Altez, 2002). La zona formaba parte del

territorio bajo la influencia del gran cacique Guaicamacuto, cuyos pobladores aprovechaban la proximidad al mar y los valles de las quebradas para la pesca, la recolección y la agricultura de subsistencia (Altez, 2002).

Figura 6. Abanico aluvial habitado



Fuente: Diseño del autor basado en Google Earth.

Las grandes edificaciones modernas y urbanizaciones en Caraballeda se iniciaron a mediados de los años 1940 y se aceleraron con la apertura de la autopista Caracas-La Guaira en 1953 (Fundación Arquitectura y Ciudad, 2022). Los inversionistas transformaron las antiguas haciendas de la zona en proyectos turísticos y residenciales a partir de 1955, año en que también comenzó la construcción del icónico Hotel Guaicamacuto (posteriormente Macuto Sheraton) (Fundación Arquitectura y Ciudad, 2022), Figura 6.

3.3. Estratigrafía y Geometría del Basamento (Mapa Isópaco)

- *Secuencia Estratigráfica:*
  - Superficial (+4 m a 0 m): Suelo antrópico y limos/arenas de marea.
  - Facies aluviales recientes (0 m a -15 m): Gravas y matrices lodo-arenosas correspondientes a eventos recientes (incluyendo 1999).
  - Intercalaciones marinas y aluviales (-15 m a -40 m): Lentes de arena de playa inter-digitados con paleoflujos torrenciales (pulsos de progradación y transgresión marina).
  - Facies proximales / Detritos gruesos (-40 m a -80 m): Megabloques compactados en lodos densos con alta permeabilidad hidráulica.

- Basamento metamórfico (> 80 m): Esquisto de San Julián y Gneiss de Peña de Mora (Cretácico), actuando como rampa tectónica inclinada al norte.

- *Modelado gravimétrico (Romero et al., 2006)*

La inversión de anomalías gravimétricas de Bouguer integrada en un entorno SIG muestra que el depocentro posee una geometría asimétrica:

- Periférico/Somero: 0 m a 150 m (sectores Camurí Chico y Quebrada Seca/Tanaguarena).
- Intermedio: 150 m a 350 m (áreas urbanas de Caribe, El Palmar y Los Corales).
- Depocentro máximo: 350 m a 450 m (ubicado hacia Punta Caraballeda, alineado con la desembocadura de la Quebrada San Julián e infraestructura hotelera clave).

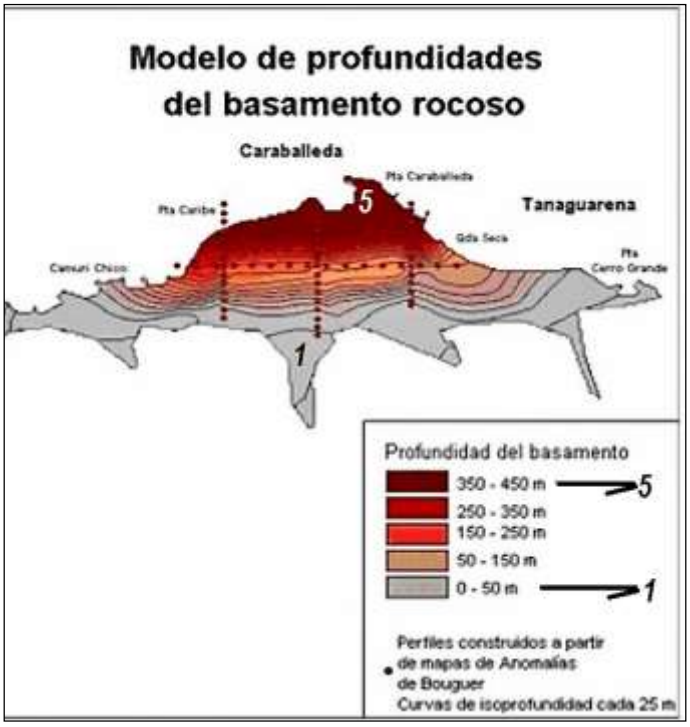
- *Blindaje Sedimentario y Riesgo Geológico*

- Enmascaramiento de la Falla de San Sebastián: La masiva acumulación sedimentaria cuaternaria ha sepultado aproximadamente 1.200 metros de la traza de la Falla de San Sebastián (principal sistema transcurrente dextral de la región). Este "blindaje" oculta su expresión morfotectónica superficial, incrementando la incertidumbre en la caracterización sísmica local.
- Vulnerabilidad Urbana: Los períodos de calma entre eventos generan una falsa sensación de estabilidad que ha propiciado la expansión urbana no regulada sobre depósitos activos. El sector enfrenta una amenaza acoplada: riesgo por amplificación sísmica (efectos de sitio por el espesor sedimentario) y reactivación hidro-sedimentaria por eventos torrenciales.

3.4. Mapa Isópaco del Abanico

El abanico aluvial de Caraballeda muestra una geometría cónica asimétrica proyectada hacia la línea de costa, delimitada al este por la Quebrada Seca y la zona de Tanaguarena, y al oeste por Camurí Chico.

Figura 7. Modelo de profundidades del basamento rocoso del abanico aluvial de Caraballeda (Estado La Guaira, Venezuela), generado a partir de curvas de isoprofundidad (equidistancia 25 m) e inversión de anomalías gravimétricas de Bouguer. La escala de colores indica la profundidad del basamento desde facies someras (0-50m) hasta la depocentral máxima (350-450 m).



Fuente: Tomado y modificado de Romero et al., 2006.

La reconstrucción geomorfológica del abanico aluvial de Caraballeda (Figura 7) evidencia una acentuada progradación costera producto de los flujos masivos de detritos. La red de muestreo dispuesta a lo largo de perfiles longitudinales y transversales permitió evaluar la gradación del tamaño de grano desde las facies proximales hasta las distales, identificando a Pta. Caraballeda como el eje de mayor acreción sedimentaria del sistema.

Figura 8. Integración del mapa isópaco de profundidad del basamento rocoso georreferenciado sobre imagen satelital de *Google Earth Pro* en el abanico aluvial de Caraballeda (Estado La Guaira). Los contornos definen los rangos de espesor sedimentario desde facies someras (0-50 m) hasta el depocentro máximo (350-450 m) en Punta Caraballeda.



Fuente: Adaptado y vectorizado a partir de Romero et al. (2006).

La georreferenciación e integración del mapa isópaco del basamento rocoso sobre imágenes satelitales de alta resolución mediante *Google Earth Pro* (Figura 8) permite analizar la geometría tridimensional de la cuenca sedimentaria y su relación espacial directa con la trama urbana e infraestructura de la comunidad de Caraballeda.

La delimitación y digitalización de los contornos de isoprofundidad (equidistancia de 25 m) agrupan el relleno sedimentario en cinco (5) dominios principales de espesor:

Dominio Periférico / Somero (0 - 50m y 50 -150m): Bordean los flancos occidental y oriental del abanico. Se restringen a los sectores de Camurí Chico al oeste, y al valle de la Quebrada Seca e inicios de Tanaguarena al este, marcando la transición progresiva hacia el basamento metamórfico que aflora de la Cordillera de la Costa.

Dominio Intermedio (150 - 250 m y 250 - 350m): Subyace a la mayor parte del casco urbano denso de Caraballeda (sectores residenciales de Caribe, El Palmar y Los Corales), mostrando una clara pendiente descendente con dirección sur-norte hacia la línea de costa.

Dominio Depocentro central Máximo (350 - 450m): Representa el eje principal de máxima acumulación de sedimentos. La proyección sobre *Google Earth* evidencia que esta cuenca máxima se ubica directamente en el sector litoral central, extendiéndose hacia Punta Caraballeda, justamente bajo la zona de mayor infraestructura turística y hotelera.

Esta distribución espacial confirma que el abanico aluvial de Caraballeda presenta una geometría del depocentro asimétrico, cuyo máximo espesor se alinea con la desembocadura del sistema hidrográfico principal, factor clave para evaluar la respuesta de sitio y los efectos de amplificación sísmica en la comunidad urbana.

Conclusiones

El abanico aluvial de Caraballeda constituye un sistema activo en continua evolución, gobernado por la interacción entre el levantamiento tectónico de la Cordillera de la Costa, la actividad de la Falla de San Sebastián y la torrencialidad eventual. Eventos catastróficos como los de febrero de 1951 y diciembre de 1999 no representan anomalías, sino mecanismos geológicos esenciales para la progradación del depósito. Por ello, la densidad urbana sobre esta unidad exige una ordenación territorial fundamentada, estrictamente, en la geología de amenazas y la zonificación de riesgos.

La masiva e iterativa acumulación de sedimentos en el frente costero actúa como un blindaje sedimentario que atenúa o enmascara la expresión superficial de la Falla de San Sebastián. Este fenómeno evidencia cómo la alta tasa de sedimentación puede invisibilizar estructuras tectónicas activas de primer orden, complicando su caracterización geofísica e incrementando la vulnerabilidad ante la amenaza sísmica local.

La construcción geomorfológica del abanico aluvial de Caraballeda responde a un proceso deposicional a largo plazo (escala cuaternaria/cientos de miles de años). Este sistema está

intrínsecamente acoplado al cambio abrupto de pendiente y al gradiente hidráulico que experimentan las cuencas al salir del relieve escarpado del Ávila e ingresar a la faja costera.

A escala geológica, la evolución del abanico es un proceso continuo, pero su crecimiento volumétrico real ocurre mediante pulsos de alta energía y corta duración (aludes torrenciales y flujos de detritos). Los prolongados períodos de quiescencia o calma relativa entre eventos generan una falsa sensación de estabilidad geomorfológica, incentivando la ocupación anárquica del espacio en zonas que corresponden al dominio dinámico natural del abanico.

La integración del mapa isòpaco sobre imágenes satelitales mediante *Google Earth Pro* confirma que la cuenca sedimentaria del abanico aluvial de Caraballeda presenta una geometría marcadamente asimétrica, orientada en sentido Sur-Norte. El eje de máxima acumulación sedimentaria (350 – 450m) se alinea directamente con el frente de progradación en Punta Caraballeda y la desembocadura de la red hidrográfica principal.

Recomendaciones

Realizar programas educativos continuos dirigidos a la comunidad local (instituciones educativas, sectores turísticos y residenciales) para concientizar sobre la ritmicidad natural de los eventos de deslave y establecer rutas de evacuación ante emergencias.

Delimitar zonas de exclusión urbana sobre las franjas de mayor dinamismo hidro-sedimentario (canales activos, conos de deyección y zonas de desborde de flujos de detritos).

Definir márgenes de protección estrictos a lo largo del cauce principal del río San Julián, impidiendo la densificación en las áreas de progradación directa.

Ejecutar perfiles geofísicos de alta resolución (sísmica de refracción, tomografía eléctrica o georradar) para mapear la traza oculta de la Falla de San Sebastián bajo la cobertura sedimentaria.

Fortalecer las instituciones oficiales mediante la incorporación y participación estratégica de profesionales de la geología, con el propósito de identificar, caracterizar y delimitar zonas susceptibles a amenazas naturales y geológicas, desarrollar mapas de peligrosidad y vulnerabilidad, y establecer estrategias efectivas de prevención, mitigación y gestión integral de riesgos.

Referencias

Altez, R. (2002). *Historia, vulnerabilidad y catástrofe en el Litoral Central venezolano*. Universidad Central de Venezuela.

Audemard, F. A., & Sant, F. (2002). *Neotectónica y geología del Cuaternario de la Cordillera de la Costa, Venezuela*. FUNVISIS.

Audemard, F. A. (2006). Tectónica activa y sismicidad del sistema de fallas de San Sebastián - El Pilar, Venezuela. *Boletín de Geología*, 28(1), 55–78.

Bezada, M. (1990). Geomorfología de la vertiente norte de la Cordillera de la Costa y su relación con los procesos de remoción en masa. *Revista Geográfica Venezolana*, 31, 45–62.

Centeno Grau, M. (1969). Estudios sismológicos y meteorológicos de Venezuela. *Boletín de la Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat*, 24, 15–88.

Fundación Arquitectura y Ciudad. (2022). *Caraballeda y su evolución urbana y arquitectónica*. https://fundaayc.com/

FUNVISIS. (2000). *Facies sedimentarias del abanico de Caraballeda y su relación con la licuación de suelos durante el sismo de Caracas de 1967*. Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas.

FUNVISIS. (2001). *Estudio de la microzonificación sísmica y vulnerabilidad por flujos hiper-concentrados en los abanicos aluviales del estado Vargas*. Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas.

García Robaina, L., Rondón, F., Crasto, N., & Schmitz, M. (2023). *Microzonas sísmicas preliminares del Estado La Guaira, en base a evaluación de Vs30, estudios gravimétricos y espesor de sedimentos*.

López, J. L., Pérez, D., & García, R. (2003). *Hydrologic and geomorphologic evaluation of the December 1999 debris-flow event in Vargas State, Venezuela*. Debris-Flow Hazards Mitigation, 685–696.

López, C., & Urbani, F. (2005). Análisis geológico-geotécnico de los flujos de detritos en el abanico aluvial de Caraballeda, estado Vargas. *Boletín de Geología*, Publicación Especial N.º 12.

Méndez, W., Pacheco, H., Cartaya, S., Marcano, A., y León, C. (2015). Caracterización hidroclimatológica y morfométrica de la cuenca del río San Julián (estado Vargas, Venezuela): aportes para la evaluación de la amenaza hidrogeomorfológica. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 24(2), 133-156.

Moncada, A. (2005). *Modelado geofísico 2.5D a partir de datos gravimétricos en el litoral central, Estado Vargas* [Trabajo especial de grado inédito, Escuela de Geología, Minas y Geofísica]. Repositorio Institucional Saber UCV. ucv.ve (Aporte: Caracterización del contacto estructural y geometría del Esquisto de San Julián y el Gneiss de Peña de Mora bajo los abanicos de La Guaira).

Rodríguez, J. A., y Córdova, J. R. (2000). *Facies Sedimentarias del Abanico de Caraballeda y su Relación con los Eventos Torrenciales de diciembre de 1999*. XVI Seminario Venezolano de Geotecnia, Caracas, Venezuela.

Romero, M., Cragno, A., Schmitz, M., & Ambrosio, R. (2006). *Modelo de profundidades del basamento rocoso del abanico aluvial de Caraballeda mediante anomalías de Bouguer*.

Röhl, E. (1951). Los deslaves del litoral central en febrero de 1951. Boletín de la Academia de Ciencias Físicas, *Matemáticas y Naturales*, 14(43), 3–28.

Salcedo, D. (2000). *Los flujos de detritos de diciembre de 1999 en el estado Vargas, Venezuela: Una comparación con eventos históricos*. En Memorias del X Congreso Venezolano de Geotecnia (pp. 45–62). Caracas: Sociedad Venezolana de Geotecnia.

Schubert, C. (1985). Procesos erosivos e hidrometeorológicos en la Cordillera de la Costa, Venezuela: Evidencias del Pleistoceno tardío y Holoceno. *Acta Científica Venezolana*, 36(2), 112–120.

Urbani, F. (2000). *Consideraciones geológicas de la catástrofe del estado Vargas de diciembre 1999*. XVI Seminario Venezolano de Geotecnia, Caracas, pp. 178-193.

Urbani, F. (2005). Nomenclatura e historia de las unidades de rocas metamórficas de la Cordillera de la Costa, Venezuela central. *Boletín de la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales*, 65(3), 21-44. (Aporte: Definición formal de la edad y litología del Complejo Ávila / Complejo Peña de Mora y Esquistos de San Julián).

Wieczorek, G. F., Murbach, D., & Larson, C. E. (2001). *Debris-flow hazards in the Cordillera de la Costa, northern Venezuela*. USGS Open-File Report 01-0141.

Declaración de conflicto de interés y originalidad

Conforme a lo estipulado en el C*ódigo de ética y buenas prácticas* publicado en ***PetroRenova Indexed, Revista Científica de la Energía***, los autores ***Chacín, Edgar y Esteves, Amarilis,*** declaran al Comité Editorial que no tienen situaciones que representen conflicto de interés real, potencial o evidente, de carácter académico, financiero, intelectual o con derechos de propiedad intelectual relacionados con el contenido del artículo: ***Evolución sedimentológica del abanico aluvial de Caraballeda, estado Vargas, Venezuela***, en relación con su publicación. De igual manera, declaran que el trabajo es original, no ha sido publicado parcial ni totalmente en otro medio de difusión, no se utilizaron ideas, formulaciones, citas o ilustraciones diversas, extraídas de distintas fuentes, sin mencionar de forma clara y estricta su origen y sin ser referenciadas debidamente en la bibliografía correspondiente. Consienten que el Comité Editorial aplique cualquier sistema de detección de plagio para verificar su originalidad.

El autor declara que, en la preparación de este manuscrito, no utilizó herramientas de inteligencia artificial generativa para la redacción de textos o interpretación de datos.

Para citar este artículo:

Chacín, E. y Esteves, A. (2026). Evolución sedimentológica del abanico aluvial de Caraballeda, estado Vargas, Venezuela. *PetroRenova Indexed, Revista Científica de la Energía*. Vol. 2, núm. 4, octubre-diciembre, 2026. https://doi.org/10.5281/zenodo. 23300005