
Particularidades geomorfológicas

de la cuenca del río Yacambú,
municipio Andrés Eloy Blanco,
estado Lara, Venezuela

Geomorphological characteristics of the Yacambú River basin,
Andrés Eloy Blanco Municipality, Lara State, Venezuela

Carlos Ferrer Oropeza^(*)

Marbella Dugarte^(*)

Rubén I. Ayala Omaña¹

Alejandro Delgadillo Santander²

¹ Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Escuela de Geografía

² Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales

Instituto de Geografía y Conservación de Recursos Naturales

Mérida, Venezuela

ayalaru@gmail.com; geobeat@gmail.com

Delgadillo: <https://orcid.org/0000-0002-0633-7363>

Resumen

El proyecto Yacambú-Quíbor, cuyas obras (túnel de trasvase y presa) se iniciaron a mediados de la década de 1970, fue diseñado para llevar las aguas de la cuenca del río Yacambú al valle de Quíbor, que presenta fuertes limitaciones de humedad, pero con tierras altamente productivas. El propósito de este trabajo fue actualizar la información geomorfológica básica del área, discutir y analizar algunos aspectos de inestabilidad de las subcuencas de las quebradas Negra y Blanca y de las laderas que rodean al futuro embalse, así como estimar los volúmenes potenciales de acarreo y la capacidad de movilización de sedimentos durante eventos extraordinarios. Se identificaron áreas consideradas críticas, entre las que destacan: sección inferior de la quebrada Blanca, en especial las laderas correspondientes al sector Sabana Larga, los deslizamientos de El Portal de Entrada y Cerro Blanco; además de la situación extremadamente sensible de las subcuencas la Escalera y Honda.

PALABRAS CLAVE: Proyecto Yacambú-Quíbor; movimientos de masa; potencial de acarreo; capacidad de movilización; inestabilidad de laderas.

Abstract

The Yacambú-Quíbor project, began in 1970's (transfer tunnel and dam), had the purpose to bring the waters of the Yacambú river basin to the valley of Quíbor. This valley has strong humidity limitations, but with highly productive lands. Update the basic geomorphological information of the area, discuss and analyze some aspects of instability of the sub-basins of the Negra and Blanca streams and the slopes that surround the future reservoir, as well as to estimate the potential volumes of transport and the sediment mobilization capacity during extreme events is the main focus of this paper. As a result, those areas considered critical were identified, among which are: the lower section of the Blanca stream, especially the slopes corresponding to the Sabana Larga sector, El Portal de Entrada and Cerro Blanco landslides; as well as the extremely sensitive situation of La Escalera and Honda sub-basins.

KEY WORDS: Yacambú-Quíbor Project, mass movements, transport potential, mobilization capacity, slope instability.

1. Introducción

La cuenca del río Yacambú hasta el futuro sitio de presa, ocupa una extensión aproximada de 326 km² y se encuentra ubicada (FIGURA 1) al sureste del estado Lara, en el municipio Andrés Eloy Blanco. Este sistema fluvial constituye un importante afluente del río Acarigua. El proyecto Yacambú-Quíbor, cuyas obras se iniciaron entre los años 1975-1977, consiste en una presa construida en el sitio de paso Angostura y un túnel de trasvase de 24,3 km de longitud. Dicha presa de una altura

de 162 m (FIGURA 2), generará un embalse que cubrirá aproximadamente unas 852 ha y tendrá una capacidad de almacenamiento aproximada de 435 millones de m³ de agua que será conducida a través del túnel de trasvase (FIGURAS 3A y 3B), con la finalidad de irrigar las tierras altamente productivas, pero con fuertes limitaciones de humedad, ubicadas en el valle de Quíbor.

Entre las investigaciones elaboradas previamente para esta cuenca de drenaje destaca el informe realizado por la empresa Ingenieros De Santis C.A.

FIGURA 1. Localización relativa de la cuenca del río Yacambú en el municipio Andrés Eloy Blanco del estado Lara (en color verde). También se observa: 1) el área del futuro embalse; 2) el trazado del túnel de trasvase en líneas segmentadas; 3) el valle de Quíbor ubicado en el municipio Jiménez (en color naranja); así como 4) la ciudad de Barquisimeto y otros centros poblados (en color rojo). Modificado de Unidad de Prestación de Servicios y Proyectos Forestales, Geográficos y Ambientales de la Universidad de Los Andes (UFORGA-ULA, 2005)

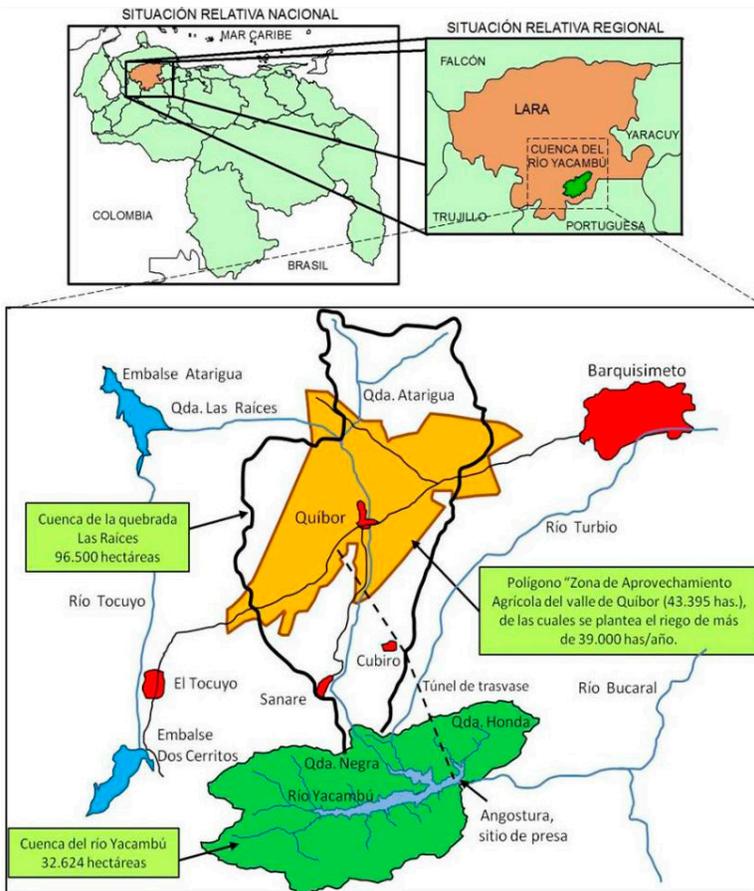
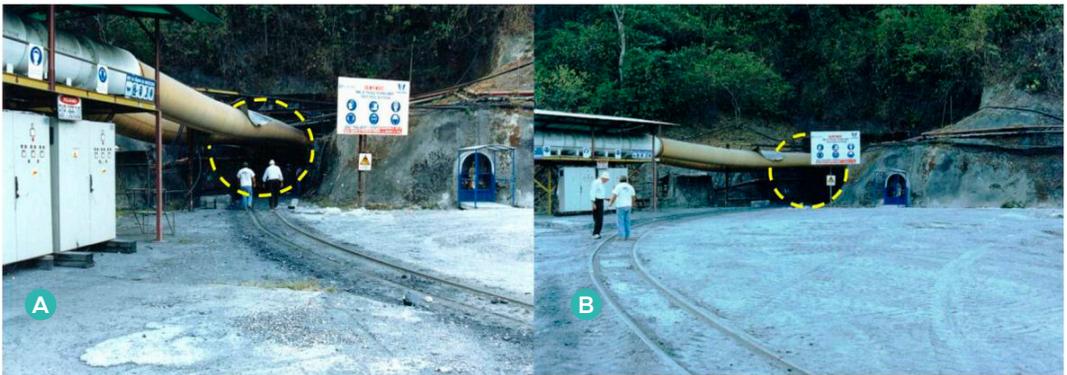


FIGURA 2. Sitio de presa en Paso Angostura. Con la flecha de color amarillo se señala la presa ingeniero 'José María Ochoa Pile'. Fotografía tomada por C. Ferrer (2005)



FIGURA 3. (A y B) Inicio del túnel de trasvase Yacambú-Quíbor: 'Frente Portal de Entrada' indicado con las líneas segmentadas de color amarillo. Fotografía tomada por C. Ferrer (2005)



(1991), trabajo este que a su vez evaluó una serie de estudios llevados a cabo hasta esa fecha. Posteriormente, esta empresa realiza una evaluación geológica, geomorfológica y de vulnerabilidad en las subcuencas de las quebradas Honda y la Escalera (Ingenieros De Santis C.A., 1995), además del análisis detallado de seguimiento a los procesos geomorfológicos que allí operan (Ingenieros De Santis C.A., 2001); así como campañas de monitoreo de aquellos procesos considerados activos y que

constituyen la mayor amenaza para las obras de infraestructura allí construidas. En este sentido, la labor de dicha empresa en cuanto a la calidad y utilidad del material producido y el alcance de sus estudios es realmente encomiable.

El presente estudio forma parte de un trabajo más amplio elaborado para la empresa Sistema Hidráulico Yacambú-Quíbor, C.A. (SHYQ, C.A), por la Unidad de Prestación de Servicios y Proyectos Forestales, Geográficos, Agropecuarios y Ambienta-

les de la Universidad de Los Andes (UFORGA-ULA) en el año 2005; y por Ferrer y Dugarte (2005). Una parte de la información presentada en este artículo fue tratada por Ferrer y Dugarte (2007) en el IX Congreso Geológico Venezolano.

En una primera etapa, el objetivo fundamental fue actualizar el análisis geomorfológico llevado a cabo por Ingenieros De Santis C.A. (1991). La segunda etapa del estudio se enfocó en el análisis a detalle de aquellas áreas que presentaban mayor inestabilidad en las subcuencas de estudio y en la estimación de los volúmenes potenciales de acarreo¹ en conjunto con la capacidad de movilización¹ de sedimentos.

En el documento síntesis de investigaciones previas (periodo 1990-2002) realizado para la cuenca en estudio por el SHYQ, C.A. (2003), se plasma un inventario de la información generada en el área, que resultó ser especialmente útil a nivel referencial. Estos trabajos están relacionados con el desarrollo agrícola de la zona, conservación de la cuenca del río Yacambú, abastecimiento urbano, construcción de las obras de regulación y trasvase.

2. Materiales y métodos

El método geomorfológico aplicado se basó en la identificación y delimitación de las geoformas mediante la interpretación de fotografías aéreas de las siguientes misiones: **a)** misión 020249 a escala 1: 25.000, año 1967; **b)** misión 0202140 a escala 1: 35.000, año 1987; **c)** misión 0202146 a escala 1: 50.000, año 1990; haciendo énfasis en los trabajos de campo. Para el análisis de la cuenca del río Yacambú se utilizó la cartografía existente a nivel semi-detallado (1: 25.000), la cual cubre la totalidad del área, y cartografía detallada (1: 10.000) centrada en las subcuencas de las quebradas Negra y Blanca, así como de las laderas que rodean al futuro embalse, que incluyen las

microcuencas y subcuencas del área de estudio como sistemas integrados.

En este sentido, para analizar los problemas de las áreas de mayor inestabilidad en la cuenca del río Yacambú, se referenciaron los procesos y sus formas resultantes en las subcuencas (FIGURA 4) de las siguientes quebradas: Negra (N° 24) y Blanca (N° 25), sección entre el sitio de la presa en Paso Angostura y una de las colas al centro-oeste del futuro embalse (subcuenca de la quebrada Negra Bajo N° 4), las subcuencas de las quebradas Corozal (N° 15) y Urupe (N° 16), la Escalera (N° 22), Honda (N° 2), Agua Blanca (N° 13), además del sector Cerro Blanco conformado por las microcuencas de las quebradas: Piedra de Amolar (N° 14), la Ruidosa (N° 18), Cerro Blanco (N° 19) y Sin Nombre (N° 20). El área y la pendiente media de cada una de las 25 subcuencas localizadas en la cuenca del río Yacambú hasta el sitio de presa se pueden ver en la TABLA 1.

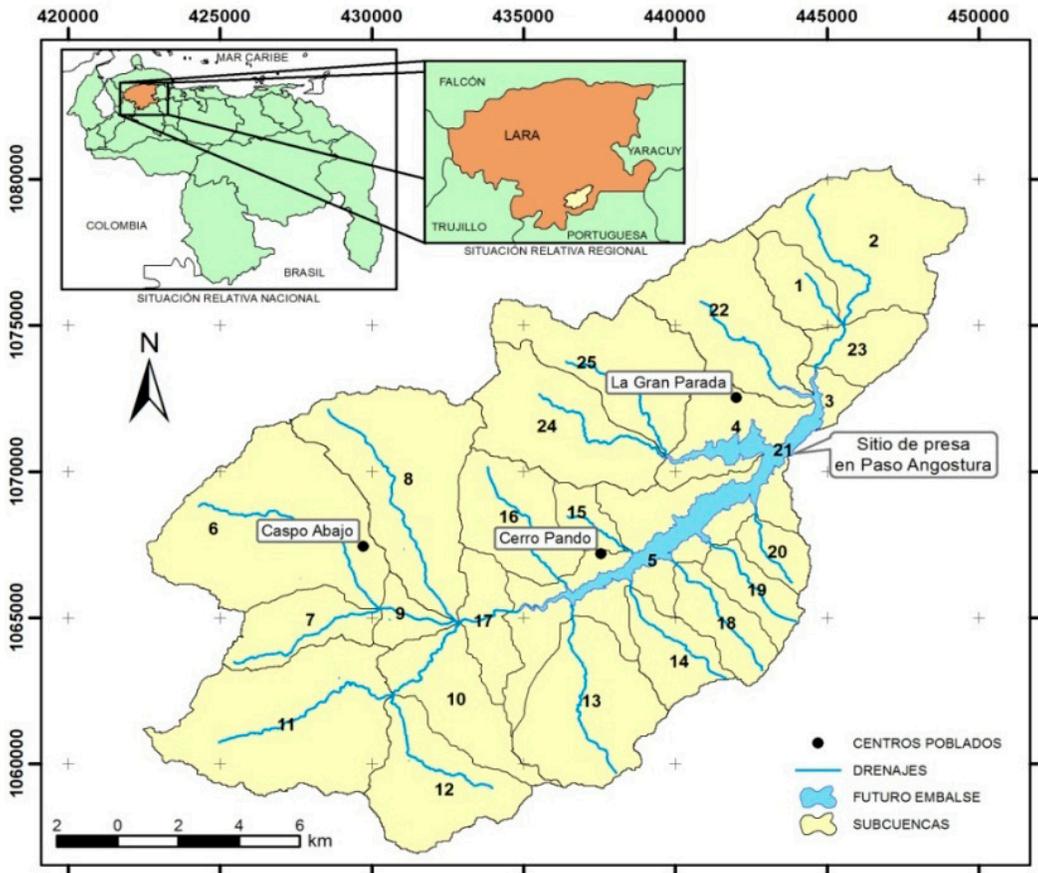
Aquellas áreas propensas a ser afectadas por problemas de erosión relacionados con movimientos de masa se jerarquizaron como activas o potenciales de aporte de sedimentos al futuro embalse, siguiendo los procesos rutinarios en este tipo de trabajos, haciendo especial hincapié en las relaciones litología-estructura y procesos.

En el diseño de las leyendas aplicadas en los mapas y planos (Ferrer y Dugarte, 2005), se trató de utilizar la simbología de más amplio uso; sin embargo, no existe en la cartografía geomorfológica un sistema universalmente aceptado, en contraste por ejemplo, con los mapas de suelos y geológicos.

Una limitante de la técnica geomorfológica aquí utilizada: “*evaluación directa o experta [es que] la calidad depende de la experiencia y criterios del profesional*” (González de Vallejo *et al.*, 2002: 661), así como del uso del razonamiento por analogía (Soeters y Van Westen, 1996). Trabajos con estas características siempre implican un cierto

FIGURA 4. Localización de las diferentes subcuencas que conforman la cuenca del río Yacambú. 1) subcuenca Sin Nombre (SN); 2) quebrada Honda; 3) confluencia de las quebradas la Escalera-Honda; 4) quebrada Negra bajo; 5) río Yacambú; 6) quebrada Caspito; 7) quebrada el Bajío; 8) quebrada la Puente; 9) quebrada Caspito bajo; 10) río las Quebraditas bajo; 11) río las Quebraditas; 12) Sin nombre; 13) quebrada Agua Blanca; 14) quebrada Piedra de Amolar; 15) quebrada Corozal; 16) quebrada Urupe; 17) río Yacambú alto; 18) quebrada la Ruidosa; 19) quebrada Cerro Blanco; 20) Sin nombre (SN); 21) río Yacambú bajo; 22) quebrada la Escalera; 23) quebrada Honda bajo; 24) quebrada Negra; 25) quebrada Blanca.

FUENTE: UFORGA-ULA Y SISTEMA HIDRÁULICO YACAMBÚ-QUIBOR C.A. (2005)



grado de subjetividad, especialmente en la fase de fotointerpretación (Dunoyer y Van Westen, 1994), que en este caso se incrementó más por el hecho de no contar con una secuencia temporal de fotografías aéreas de buena calidad, anteriores a 1991 y el difícil acceso a fotografías posteriores a dicho año. Este hecho aunado a la ausencia de información histórica que facilitara la precisión de las condiciones de estabilidad/inestabilidad, el

seguimiento (monitoreo) de aquellos movimientos de masa más críticos y las mismas limitaciones del material base, dificultó el análisis de la evolución de aquellos procesos más severos.

Estos problemas fueron reducidos con un intenso trabajo de campo, a pesar de la inaccesibilidad a muchas de las áreas y de la densa cobertura vegetal en algunos sectores. Todo ello no se traduce necesariamente en una pérdida

TABLA 1. Superficies en hectáreas y valores de pendiente media en porcentaje, para cada una de las 25 subcuencas que conforman la cuenca del río Yacambú

| Subcuenca No. | Nombre | Superficie (ha) | Pendiente (%) |
|---------------|----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| 1 | Sin Nombre (SN) | 592 | 43 |
| 2 | Quebrada Honda | 2.065 | 47 |
| 3 | Confluencia Escalera-Honda | 456 | 53 |
| 4 | Quebrada Negra bajo | 1.222 | 40 |
| 5 | Río Yacambú | 2.795 | 34 |
| 6 | Quebrada Caspito | 3.263 | 36 |
| 7 | Quebrada El Bajío | 871 | 56 |
| 8 | Quebrada la Puente | 2.709 | 43 |
| 9 | Quebrada Caspito bajo | 335 | 56 |
| 10 | Río las Quebraditas bajo | 1.245 | 38 |
| 11 | Río las Quebraditas | 2.940 | 36 |
| 12 | Sin Nombre (SN) | 1.540 | 40 |
| 13 | Quebrada Agua Blanca | 1.969 | 37 |
| 14 | Quebrada Piedra de Amolar | 710 | 38 |
| 15 | Quebrada Corozal | 378 | 29 |
| 16 | Quebrada Urupe | 1.225 | 34 |
| 17 | Río Yacambú alto | 680 | 39 |
| 18 | Quebrada la Ruidosa | 707 | 34 |
| 19 | Quebrada Cerro Blanco | 533 | 31 |
| 20 | Sin Nombre (SN) | 384 | 39 |
| 21 | Río Yacambú bajo | 21 | 50 |
| 22 | Quebrada la Escalera | 1.814 | 40 |
| 23 | Quebrada Honda bajo | 684 | 40 |
| 24 | Quebrada Negra | 1.721 | 34 |
| 25 | Quebrada Blanca | 1.765 | 33 |
| | | $\Sigma = 32.624$ ha ó 326,4 km ² \approx 326 km ² | |

notable de exactitud y una disminución de la objetividad, pues en este tipo de trabajo es muy importante la discusión crítica, la verificación y la capacidad de coincidir en las observaciones con otros investigadores.

En el transcurso del levantamiento se hizo hincapié en la correcta diferenciación entre aquellos movimientos de masa activos de los inactivos e incluso latentes, en aquellas áreas propensas a ser desplazadas; sin que en ningún momento la información generada pueda ser considerada un

'instrumento predictivo'. Por otro lado, como se mencionó anteriormente, para facilitar el trabajo se identificaron y delimitaron cartográficamente 25 subcuencas como parte de la cuenca del río Yacambú de la ya mostrada **FIGURA 4**.

La caracterización de los procesos erosivos se realizó mediante el análisis de sus mecanismos y de la elaboración de un inventario de movimientos de masa, cuyas características fueron cuidadosamente cartografiadas en los mapas que acompañan el trabajo de Ferrer y Dugarte (2005).

A los efectos de este artículo se muestra el mapa de inventario de movimientos de masa (FIGURA 5) de las subcuencas de las quebradas Negra, Blanca y Negro bajo (por considerarse un área especialmente sensible).

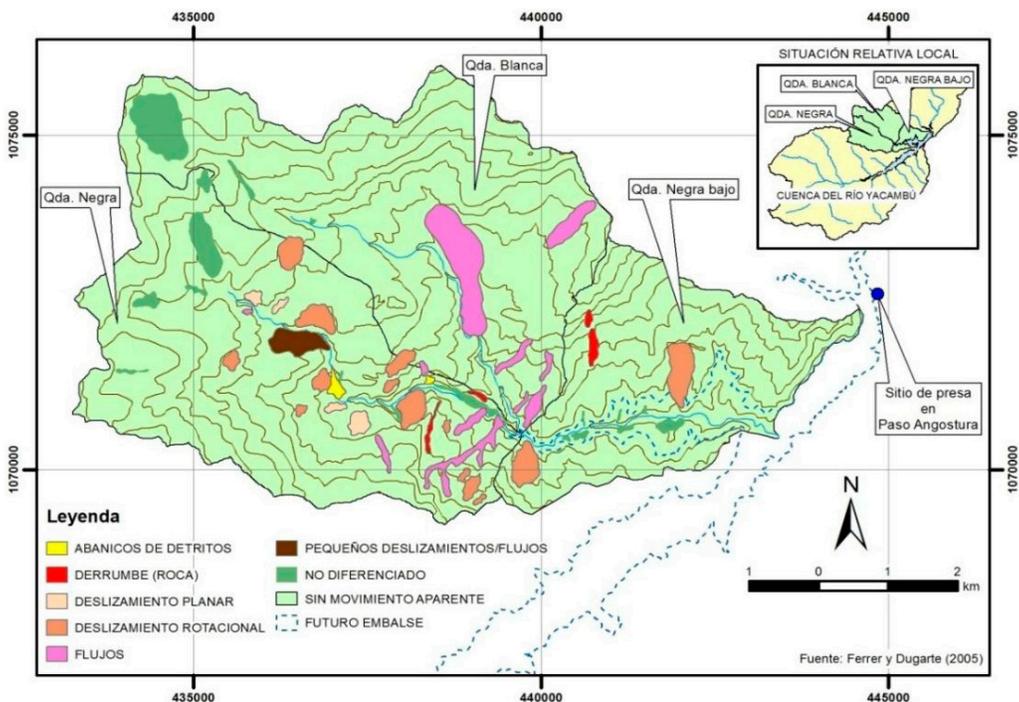
Como aspecto importante del análisis de inestabilidad geomorfológica se prestó especial atención a la litología predominante y a la disposición de las estructuras; es decir, la orientación favorable o desfavorable de los planos de debilidad o discontinuidad de las rocas (planos de foliación y de diaclasamiento), el estado de actividad de los movimientos de masa (activos, inactivos, latentes), el potencial de represamientos (presencia de valles de ahogamiento), entre otros.

En resumen, con el objeto de establecer la base para definir las áreas críticas, propensas a la ocu-

rrencia de procesos geomorfológicos, se estableció una estrecha relación entre la ocurrencia de los diversos movimientos de masa y las siguientes condiciones: litología (en especial la alternancia entre rocas blandas y duras) y la disposición estructural. Esto permitió la definición de zonas litomórficas. De especial valor para definir los sectores críticos resultaron los datos geológicos contenidos en el trabajo de Ingenieros De Santis C.A. (1991) donde se señala, entre otros aspectos, que el rumbo de los planos de foliación (planos de discontinuidad) se orienta preferencialmente en dirección NE, E - O, y NO, con una fuerte preferencia de buzamiento hacia el NO y SO.

Para las estimaciones de los ‘volúmenes potenciales de acarreo’ de materiales (sedimentos) al futuro embalse, que pudiera tener lugar ante

FIGURA 5. Mapa de inventario de movimientos de masa en las subcuencas de las quebradas Negra, Blanca y Negra bajo. Para los rasgos geomorfológicos de los movimientos de ladera se emplearon los colores sugeridos por el Programa Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (PMA: GCA, 2007); con la excepción de las últimas tres categorías correspondientes a pequeños deslizamientos/flujos, movimientos no diferenciados y sin movimiento aparente



la eventualidad de lluvias extremas o fuertes fluctuaciones del nivel freático (en este caso, sin considerar el detonante sísmico) se aplicó el método de más amplio uso, que consiste en la multiplicación del área que cubren los depósitos de materiales desplazados, por un promedio aproximado del espesor de los mismos. A partir de los planos topográficos resulta relativamente sencillo medir el área de los depósitos, si se parte de la premisa de que los límites han sido trazados con exactitud en el plano geomorfológico. Las estimaciones de los espesores son mucho más limitadas y menos precisas. Existen dos dificultades: a) aquellos movimientos de masa recientes abundantes en el área de estudio, muy ocasionalmente han sido suficientemente desecados para permitir observar la base de los mismos; de forma similar se desconocen los detalles topográficos previos, y b) para acumulaciones más antiguas que han sufrido procesos erosivos importantes, los volúmenes de denudación son considerables; por lo tanto, se incurre en un error de la estimación del verdadero espesor de tales depósitos.

Con la finalidad de contar con datos lo más objetivos posibles, se identificaron en torrentes y laderas con movimientos de masa activos, los siguientes elementos: fuentes de aporte de sedimentos y tramos de cauces con sedimentos en tránsito; además se realizaron estimaciones de acumulaciones potenciales (potencial de acarreo) y volúmenes reales de depositación (capacidad de movilización). También se hizo una diferenciación entre los torrentes que cortan roca (donde predominan los procesos de excavación) y aquellos en los que predominan los procesos de transporte y sedimentación (donde el relleno de los cauces alcanza valores importantes). Como síntesis se presenta una estimación volumétrica (TABLAS 3 y 4, presentados más adelante) de los sedimentos disponibles para ser desplazados (potencial de acarreo), y de aquellos que efectivamente son movilizados

al futuro vaso frente a la ocurrencia de eventos extremos de precipitación y crecidas (capacidad de movilización), que amenacen la seguridad de las obras de la presa. Del análisis de los sectores críticos se sugieren las áreas a ser monitoreadas.

3. Breve descripción de las condiciones físicas y socioeconómicas del área y otras características del proyecto Yacambú-Quíbor

El área seleccionada se corresponde con la cuenca del río Yacambú, la cual limita por el norte con la cuenca del río Turbio, al oeste y noroeste con la cuenca del río Tocuyo, al este y noreste con la cuenca del río Bucaral, mientras que al sur limita con el curso fluvial del Guache. El Yacambú, en conjunto con el Bucaral, se constituyen en dos importantes drenes del río Acarigua que más tarde vierte sus aguas en el río Portuguesa y este a su vez lo hace en el Apure: sistema fluvial que desemboca por su margen izquierda en la sección media del Orinoco en la vertiente hidrográfica del océano Atlántico.

En la cuenca objeto de análisis se lleva a cabo uno de los proyectos hidráulicos de gran trascendencia para la región centro-occidental de Venezuela con el cual se busca: a) trasvasar el agua desde el río Yacambú con un caudal aproximado de 6,0 m³/s para regar el valle dequíbor en la cuenca del río Tocuyo (vertiente hidrográfica del mar Caribe), y b) contribuir con el suministro de agua de unos 3,0 m³/s para el consumo urbano de las ciudades de Barquisimeto, Cabudare y sectores aledaños (Coronel y González, 2015).

El proyecto Yacambú-Quíbor consta de los siguientes componentes: a) obras de regulación para controlar el caudal del río Yacambú, donde destaca la presa Ingeniero José María Ochoa Pile (de 162 metros de altura, siendo la más alta de

Venezuela y que se puede observar en la figura 2); **b)** obras de trasvase, entre ellas el ya mencionado túnel con un recorrido de 24,3 km; **c)** sistema de riego del valle de Quíbor; **d)** obras de aducción hacia Barquisimeto y planta de potabilización, y **e)** conservación de la cuenca del río Yacambú que abarca el Parque Nacional Yacambú y la Zona

Protectora del mismo nombre (MARNR, 1979; Delgado 2015).

En la TABLA 2 se muestran las diferentes estaciones de medición de precipitación del antiguo Ministerio del Ambiente, localizadas tanto en la cuenca del río Yacambú, como en el valle de Quíbor y en su área de influencia.

TABLA 2. Estaciones de medición de precipitación de la cuenca del río Yacambú, valle de Quíbor y su área de influencia inmediata

| Nombre de la Estación | Latitud (m) | Longitud (m) | Serial | Precipitación media en mm. Período 1969-2007* |
|--------------------------|-------------|--------------|--------|-----------------------------------------------|
| Agua Negra | 444.071,53 | 1.084.675,17 | 1220 | 1.047,2 |
| Las Tablas | 445.384,44 | 1.086.700,28 | 1221 | 962,5 |
| El Zancudo | 440.898,32 | 1.081.516,64 | 1222 | 1.322,2 |
| Quíbor | 431.207,97 | 1.096.613,99 | 2204 | 506,6 |
| Río Claro | 461.935,06 | 1.096.661,10 | 2205 | 1.105,4 |
| Maporal | 478.926,64 | 1.095.449,54 | 2208 | 1.291,8 |
| San Miguel | 443.260,27 | 1.091.955,50 | 2215 | 575,4 |
| Miracuy | 438.128,07 | 1.064.444,51 | 2219 | 2.130,0 |
| Cruz Machadera | 451.785,49 | 1.089.916,21 | 2221 | 1.793,2 |
| Cubiro | 435.964,36 | 1.082.384,84 | 2225 | 960,8 |
| Capilla Bucaral | 458.906,86 | 1.084.686,37 | 2226 | 1.777,2 |
| Caspito | 427.375,18 | 1.067.842,27 | 2231 | 1.617,9 |
| Parque Yacambú | 436.740,85 | 1.073.230,85 | 2232 | 2.084,3 |
| La Cruz | 445.554,13 | 1.077.823,91 | 2233 | 2.347,7 |
| Sanare | 427.971,99 | 1.077.024,59 | 2234 | 830,4 |
| Riecito | 460.192,39 | 1.090.336,11 | 2237 | 1.545,5 |
| Agua Blanca | 489.242,36 | 1.068.602,64 | 2239 | 1.431,3 |
| Guarico | 413.438,06 | 1.064.093,97 | 2245 | 1.065,5 |
| Hacienda Camburito | 464.946,88 | 1.061.307,99 | 2246 | 1.900,1 |
| Hacienda Guache | 459.958,19 | 1.042.087,11 | 2253 | 1.654,6 |
| Potreritos | 420.830,62 | 1.027.650,94 | 2260 | 2.105,6 |
| Acarigua - Aeropuerto | 474.394,72 | 1.059.365,53 | 2264 | 1.511,0 |
| Ospino | 450.272,44 | 1.027.940,07 | 2265 | 1.578,6 |
| Ospino La Estación | 446.474,35 | 1.039.124,42 | 2266 | 1.863,1 |
| Piritu | 476.544,94 | 1.036.483,89 | 2267 | 1.484,4 |
| El Tocuyo - Dos Cerritos | 411.487,99 | 1.077.275,23 | 2268 | 601,6 |
| Colonia Turen | 488.589,09 | 1.024.009,66 | 2277 | 1.485,1 |
| Las Cumbres | 464518,08 | 1.091.068,77 | 2287 | 1.873,0 |
| Las Delicias | 465.275,09 | 1.086.399,73 | 2288 | 2.305,3 |

*Tomado del: Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial (CIDIAT, 1999). Las estaciones Paso Angostura (serial 2227, período de registro 1969-1992, para una media anual de 1.983,1 mm) y la Escalera (serial 2236, con registros de 1970-1983 y promedio de 2.189,8 mm) no fueron consideradas por presentar gran cantidad de datos faltantes en relación con el período empleado por el CIDIAT (1999) de 1969-2007, para estimar las lluvias medias anuales

En la **FIGURA 6** se aprecia la distribución espacial de las lluvias del área a través de las isoyetas medias anuales elaboradas por Delgadillo y Moreno (2009), y en el que se consideró el promedio de las precipitaciones de 1969 al 2007. En este contexto se aprecia que las láminas de lluvias pueden superar los 2.000 mm anuales en la cuenca del río Yacambú, con valores máximos de 2.347,3 mm en la estación La Cruz (serial 2233), constituyéndose de esta forma en una zona muy húmeda incluso perhúmeda. En contraste, se observa la isoyeta de 500 mm cercana a la estación de Quíbor (serial 2204), propio de un clima semiárido (**FIGURA 7**).

Barrientos (1990) señala que en los diferentes histogramas de precipitación para las estaciones pluviográficas: Miracuy (2219), Paso Angostura (2227), Caspito (2231), Parque Yacambú (2232), la Cruz (2233) y la Escalera (2236), periodo 1969-

1992, se presentan dos periodos bien marcados: uno lluvioso y extendido de abril a diciembre y otro seco, de enero a marzo. Ambos periodos se encuentran influenciados en gran medida por la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), con un importante efecto a nivel local de la orografía en la generación de las precipitaciones, en el sentido de que los mayores volúmenes de lluvia se concentran hacia las zonas más altas.

Para la estación la Cruz (2233), que presenta el máximo orográfico de precipitación en la cuenca del Yacambú, Delgadillo y Moreno (2009) elaboraron un análisis de frecuencias de lluvias extremas ajustando los registros de profundidades máximas a la distribución de Gumbel tipo I para distintas duraciones. En este sentido, las precipitaciones centenarias de 1 hora pueden alcanzar láminas de 66,0 mm; correspondiente a lluvias muy fuertes

FIGURA 6. Isoyetas medias anuales (periodo 1969-2007) para las cuencas de los ríos Yacambú (divisoria en color verde), Acarigua (divisoria en color rojo). También se indica la estación hidrométrica puente Acarigua (0005) sobre el río Acarigua con el triángulo de color negro.

FUENTE: DELGADILLO Y MORENO (2009)

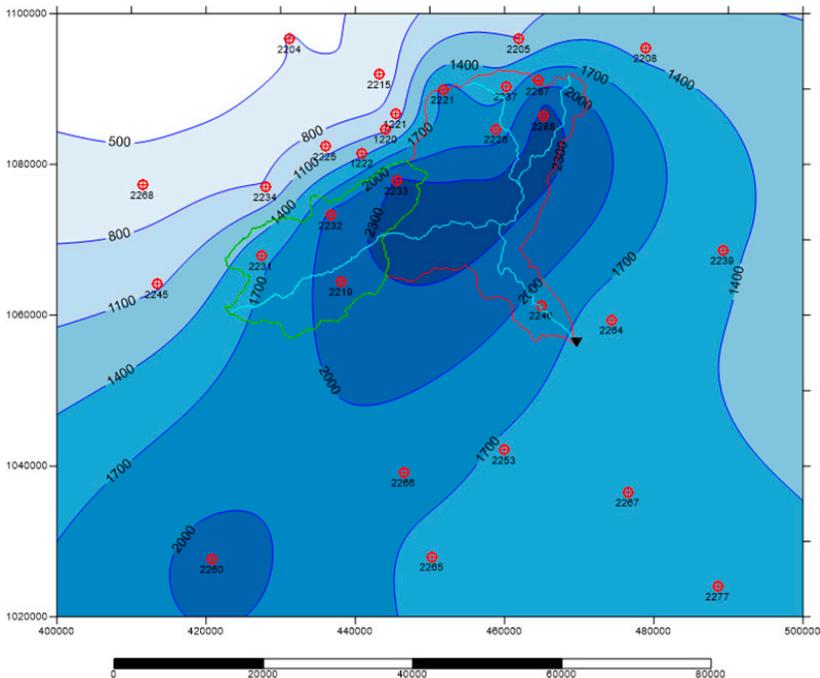


FIGURA 7. Vista panorámica del valle de Quíbor. Se trata de una zona con características semiáridas donde las precipitaciones promedio anuales son al menos cuatro veces menores, a las caídas en la cuenca del río Yacambú. Fotografía tomada por M. Dugarte (2005)



de 50 - 90 mm/h (Porta *et al.*, 2003), valores estos que aumentan considerablemente para lluvias con duraciones superiores a los 60 minutos en la estación la Cruz y con profundidades importantes de: 139,4 mm (en 3 horas); 189,2 mm (en 6 horas); 219,1 mm (en 9 horas); 244,6 mm (en 12 horas) y 271,4 (en 24 horas) en 100 años de periodo de retorno, lo cual permite tener una idea de las altas magnitudes que pueden alcanzar las lluvias máximas del área.

En la citada FIGURA 6 se observa adicionalmente la cuenca del río Acarigua hasta la estación hidrométrica Puente Acarigua (serial 0005), en la cual se registró un caudal promedio anual de 32,5 m³/s, en el periodo 1951-1989 considerando un área de 970 km², con un módulo de escorrentía superficial de 33,5 l/s/km² (Córdova y González, 2015), el cual puede ser considerado como una alta productividad hídrica. Estos autores calculan un caudal promedio de 14 m³/s para el río Yacambú en el sitio de la presa José María Ochoa Pile, lugar en el que Delgadillo y Moreno (2009) estiman una crecida cincuentenaria y centenaria de 1.881,8 m³/s y 2.712,0 m³/s, a partir de la aplicación del método de corrección o estimación por efecto de área con los datos de caudales máximos del río Acarigua

en la estación Puente Acarigua ajustados a una distribución log-Gumbel.

Por otra parte y desde el punto de vista hidrogeológico, la cuenca del valle de Quíbor actúa “como una unidad hidráulica independiente dentro de las nacientes de la cuenca del río Tocuyo, pues no hay fugas subterráneas ni superficiales desde el valle”... “El área de aluvión es de unos 250 km², con profundidades máximas de 230 m” (Coronel y González, 2015: 148). Por otra parte, los citados autores señalan que en este valle existe un acuífero inferior confinado (acuífero de Quíbor) y otro superior más somero denominado acuífero de Palo Negro, que pueden almacenar entre ambos hasta 1.000.000.000 de m³. Ello permite tener una idea del alto potencial hidrogeológico de la zona, una vez se consolide el proceso de recarga de las aguas trasvasadas por el sistema Yacambú-Quíbor.

Tal como fue señalado en párrafos precedentes, gran parte de la cuenca alta del río Yacambú en su margen izquierda se encuentra protegida tanto por el Parque Nacional Yacambú (creado en 1962) como por la zona protectora del mismo nombre, lo cual ha redundado en parte, en la conservación de las aguas que alimentarán el futuro embalse José María Ochoa Pile. En este contexto, UFOR-

GA (2005) señala que el bosque representa una cobertura vegetal significativa en las subcuencas de las quebradas Caspito-el Bajío (N° 6 y 7) con 63,14 %; mientras que en las quebradas Negra (N° 24) y Blanca (N° 25) ocupa un 92,56 % y un 92,54 %. Por el contrario, casi no existe bosque en el sector La Gran Parada (quebrada Negra bajo N° 4) con 25,02 %; las Quebraditas (N° 11) con 23,79 % y Agua Blanca (N° 13) con 35,58 %, lo que sugiere acciones de prevención, monitoreo y recuperación de la cobertura boscosa para estas áreas.

El acelerado deterioro de la cuenca del Yacambú debido a la intervención humana, se evidencia en el uso agrícola sin prácticas de conservación de suelos. Así se tiene que en el año 2004 las subcuencas con porcentajes significativos de cultivos fueron: quebrada Honda (N° 2), Urupe (N° 16) y la Puente (N° 8) con 57,60 %; 65,34 % y 50,54 % respectivamente; mientras que las subcuencas Agua Blanca (N° 13) y río las Quebraditas (N° 11) presentaron un 57,52 % y 42,23 % (UFORGA, 2005). Entre los años 2000 y 2008, el parque Nacional Yacambú, que se ubica en buena parte del área de la cuenca objeto de estudio, *“experimentó la pérdida de 508,51 has de la superficie ocupada por coberturas naturales y la ganancia de 475,29 has, dedicadas a las actividades agrícolas, áreas que de acuerdo al mapa de cambio y estabilidad se distribuyen espacialmente en los alrededores de las vías de acceso, ubicadas en los límites del parque.”* (Molina y Albarrán, 2012: 36).

4. Geología y geomorfología de la cuenca del río Yacambú

En esta cuenca aflora la Formación Villanueva (Cretácico Superior), la cual consta de una secuencia de rocas de bajo grado de metamorfismo, entre las que se tienen filitas silíceas, filitas calcáreas, filitas carbonosas, cuarcitas metamórficas y meta-areniscas, como litología predominante (Ingenieros De Santis, C.A., 1991). En general, para

toda la cuenca la alternancia entre rocas blandas (filitas carbonosas) y duras (cuarcitas metamórficas, meta-areniscas, filitas silíceas y calcáreas) determina en buena medida el comportamiento de los diferentes sectores. Ferrer y Dugarte (2005) mencionan que, en aquellas áreas donde afloran mayoritariamente las filitas carbonosas, el comportamiento tiende a ser más plástico, produciendo materiales de texturas finas y relieves suaves con bajas pendientes; estas zonas generan respuestas relacionadas con flujos y sobre todo con reptación progresiva. Mientras que las áreas en las que afloran predominantemente las rocas duras, exhiben relieves abruptos y accidentados con pendientes fuertes; los movimientos de masa típicos en tales sectores son los derrumbes de roca (caídas de roca, según la clasificación de Varnes, 1978), los flujos, y los deslizamientos planares y rotacionales; allí existe una comprobada correlación entre la disposición estructural de las capas y la distribución de las discontinuidades (planos de foliación y de fracturación) que explica los mecanismos que promueven los movimientos gravitacionales. La estrecha relación existente entre los diferentes tipos de movimientos de masa y las condiciones geomecánicas (características litológicas-estructurales) en estas áreas, permite definir las como unidades litomórficas.

Ferrer y Dugarte (2005) agregan que, en líneas generales, las filitas silíceas y cuarcitas tienden a romperse a lo largo de planos de debilidad pre-existent, de allí que exista una mayor concentración de fallas (superficies de ruptura) de tipo planar y en cuña, así como la generación de materiales con textura gruesa, predominando en algunas secciones la acumulación de bloques y cantos.

Las trazas de las capas se expresan con nitidez en la topografía. El rumbo predominante de los planos de foliación es NE con direcciones de buzamiento hacia el NO, pero el rumbo de las capas puede orientarse también en dirección EO, hasta

NO, con direcciones de buzamiento hacia el N y SO respectivamente, excepto en las quebradas Caspito (N° 6) y el Bajío (N° 7).

Toda esta región se encuentra controlada por la Zona de Fallas de Boconó, que se localiza al norte del área de estudio y es sísmicamente activa; allí se deben esperar aceleraciones sísmicas importantes. En el reporte de Ingenieros De Santis C.A. (1991) hay una buena descripción sobre la sismicidad del área entre los años 1983-1991. No se cuenta con evidencias de los posibles efectos dejados por el terremoto de El Tocuyo en 1950 (03 de agosto; magnitud $M_s = 6,3$), sismo considerado como uno de los más destructivos del siglo XX en Venezuela. Es importante señalar que como efecto cosísmico de este terremoto, en el cercano poblado de Guarico (a pocos kilómetros al suroeste del área de estudio) se produjo un deslizamiento que alcanzó dimensiones considerables (Singer y Montes, 1980). El epicentro de este evento fue ubicado por Choy *et al.* (2003) en un área comprendida entre Boconó y Carache.

Contrastan las diferencias entre las formas de relieve situadas al norte y al sur del río Yacambú, mientras que en el primero el relieve es menos accidentado, en el segundo predominan las formas abruptas (valles angostos, gargantas y filas pronunciadas). Sin embargo, aunque hacia el norte del río Yacambú existe una mayor proporción de filitas carbonosas, no todos los relieves allí son suaves y redondeados, también se observan valles angostos, gargantas, formas agrestes y relieves abruptos, pues las filitas carbonosas se intercalan con rocas más resistentes, como son las filitas calcáreas, filitas silíceas, cuarcitas metamórficas, meta-areniscas e incluso calizas, que favorecen la formación de relieves escarpados en algunos lugares. De hecho, como elemento importante, en la fisiografía de la cuenca destaca una serie de valles con secciones angostas o cañones (FIGURA 8), y gargantas (FIGURAS 9A y 9B), que parecen estar asociadas a procesos de

disolución kárstica, posiblemente controlada por los planos de fracturas (diaclasas). Catorce de estas angosturas fueron identificadas en toda el área de estudio por Ferrer y Dugarte (2005), destacando las que se encuentran en las quebradas Negra y Blanca; adicionalmente, Ingenieros De Santis, C.A. (1991) ya habían reportado la presencia de este tipo de angosturas en las quebradas la Escalera (N° 22) y la Puente (N° 8) denominada la Fuente por estos autores.

Hay que resaltar la importancia que tienen estas formas de relieve, bien sea para la retención de volúmenes considerables de material grueso antes de las 'angosturas', caso de la sección de sedimentación de la quebrada Negra (FIGURAS 10A y 10B) o como acelerador del tránsito de partículas finas a medida que se incrementan las velocidades de las corrientes a lo largo de las gargantas, ya que los valores de pendiente de estas son mayores y sus secciones hidráulicas son reducidas (FIGURAS 9A y 9B).

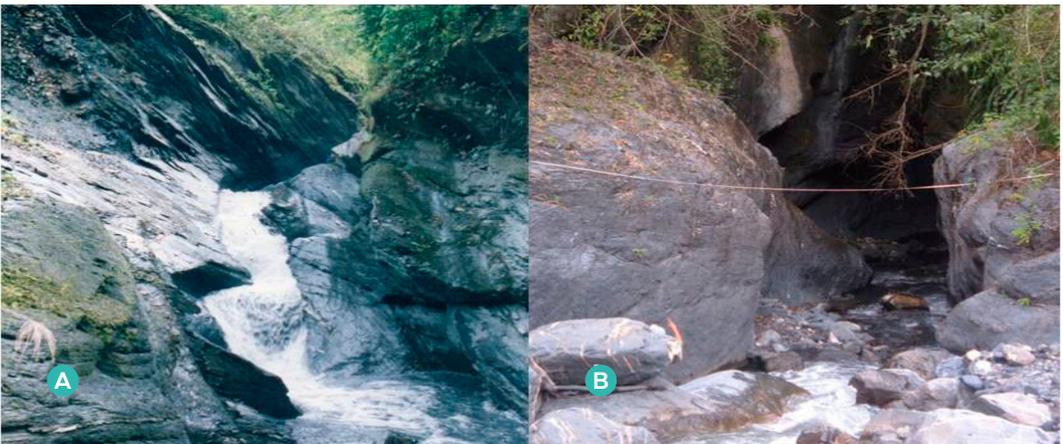
Es por ello que no debería ser subestimada la importancia que estas 'angosturas' tienen como reguladores de los picos de crecidas; de hecho, Ferrer y Dugarte (2005) reportan que estas singularidades topográficas pueden llegar a regular los impactos de dichas crecientes hasta en un 75 % de la superficie drenada de la cuenca.

La cuenca del río Yacambú posee una forma ligeramente alargada en sentido NE-SO, (reflejo del control estructural) lo que pudiera tener un especial significado en su respuesta hidrológica. Esto conlleva una connotación especial, ya que en su reporte, Ingenieros De Santis, C.A. (1991: 54) señalan que: "en 1981 se registraron hasta 3.066 mm de precipitación, es decir, 1.000 mm más que el promedio; sin embargo, parece no haber ocurrido fenómenos catastróficos ya que no se refleja en el paisaje". No obstante, algunos eventos que podrían traducirse como extremos de acuerdo al concepto de Starkel² (1976), fueron detectados

FIGURA 8. Cañón ubicado en la subcuenca de la quebrada Blanca (No. 25) y delimitado con líneas segmentadas de color amarillo. También se observa la cobertura vegetal, asociada en este caso con un bosque denso no intervenido en condición natural. Fotografía tomada por C. Ferrer, 2005



FIGURA 9. A) Garganta en filitas silíceas, ubicada en la quebrada Negra (No. 24) al final de la sección de sedimentación. Fotografía tomada por C. Ferrer, 2005. B) Garganta rocosa localizada en la misma quebrada. Fotografía cortesía de UFORGA-ULA (2005)



mediante evidencias de campo: **a)** En la quebrada Blanca (N° 25), vía laguna el Blanquito, se localizaron grandes bloques (megaclastos de hasta 8 m de diámetro), relacionados con un abanico de detritos cuyos materiales parecen provenir de un derrumbe (caída) de rocas (**FIGURA 11**); **b)**

en el sitio de confluencia de la quebrada Blanca con la quebrada Negra (**FIGURAS 12A y 12B**) fueron localizados los mayores megaclastos (8 - 14 m de diámetro), estos bloques sub-redondeados y con evidencias de imbricación fueron, sin duda, transportados por agua; **c)** finalmente un evento

FIGURA 10. Zona de acumulación de sedimentos gruesos de quebrada Negra (No. 24): A) muy próxima a la confluencia con quebrada Blanca (No. 25) y, B) cerca de la zona de depositación (futura plazoleta de sedimentación). Fotografías tomadas por C. Ferrer, 2005



FIGURA 11. Megaclasto en la quebrada Blanca (No. 25). Sección inferior de un flujo de detritos. Fotografía tomada por C. Ferrer, 2005



FIGURA 12. A) Megaclastos de unos 8 m, hasta 14 m de diámetro aproximadamente; B) en la sección inferior de la quebrada Blanca, en la confluencia con quebrada Negra. Fotografías tomadas por C. Ferrer, 2005



extraordinario de crecida, ocurrido en octubre de 2004, permitió estimar un caudal máximo de 600 - 700 m³/s; donde la profundidad o altura del agua casi superó la estructura del puente el Triunfo N° 1 (Ferrer y Dugarte, 2005).

5. Sectores de inestabilidad crítica y procesos erosivos predominantes: estimación del potencial de acarreo. Subcuencas críticas y taludes que bordean el futuro embalse

Entre el 35 y 40% del área analizada en las subcuencas de las quebradas Negra y Blanca (N° 24 y 25 respectivamente) se corresponde con terrenos de inestabilidad elevada (sectores de movimientos de masa activos), mientras que el 20 - 25% presenta un alto potencial de desplazamiento. En esta evaluación, los dos sectores considerados críticos se localizan específicamente en la ladera izquierda de la sección inferior de la quebrada Blanca (sector Sabana Larga) y la zona de entrada al túnel de trasvase, donde se ubica el deslizamiento reseñado aquí como: 'El Portal de Entrada', el cual deforma una sección considerable de la vía de acceso del mismo nombre. El material desplazado por este movimiento de masa tiende a formar una lengüeta alargada cuyo rumbo varía de N 22° O a N-S, al acomodarse a dos capas de material más resistente que contribuyen a controlar la dirección de la masa deslizada. Este depósito alcanza una superficie de 749.000 m², por lo que una estimación preliminar, con profundidades promedio de 4 a 5 m daría un volumen de 3.000.000 a 4.000.000 m³ aproximadamente. Se trata de un movimiento muy activo, cuyas tasas de desplazamiento y deformación, además de ser perfectamente visibles en el campo, han obligado a cambiar el trazado de la carretera y adaptarla a las continuas deformaciones (Ferrer y Dugarte, 2005).

En lo que respecta a las laderas que bordean el área del futuro embalse, se consideran áreas críticas, por sus especiales condiciones de inestabilidad, a las vertientes de la subcuenca de la quebrada Urupe (N° 16). En este sector, la base de la secuencia estratigráfica comienza con filitas calcáreas a veces muy carbonosas, blandas a medianamente duras, posteriormente la secuencia se hace silíceas y se mantiene hacia el tope, con litologías no calcáreas; pero las filitas carbonosas o grafitosas se derrumban con facilidad, por lo que presenta una dinámica muy agresiva tal y como ha sido señalado en el estudio de Ingenieros De Santis, C.A. (1991).

Según estimaciones realizadas por Barrios *et al.* (2005), a partir de la aplicación de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) y empleando un mapa de cobertura de la tierra del año 2004: la tasa de erosión media de tipo laminar y en surcos para las subcuencas Corozal (N° 15) y Urupe (N° 16) y el río Yacambú, en este caso en la subcuenca denominada como (N° 5), en su margen izquierda (FIGURA 4), resultó ser de 122,3 t/ha.año para una muy alta erosión comprendida entre 100 - 200 t/ha.año.

En la TABLA 3 se muestran los resultados de las estimaciones de volúmenes potenciales de acarreo de materiales a ser desplazados por movimientos de masa para las subcuencas de las quebradas Negra y Blanca (N° 24 y 25); además del sector comprendido entre la subcuenca Negra bajo (N° 4) y el sitio de presa, el cual constituye la cola centro-oeste del embalse.

En estos sectores se estimó un volumen de 31.692.200 m³. De este gran total se considera que menos del 8,09 % (2.566.000 m³ aproximadamente) pudiera ser movilizado en el caso de presentarse un evento extremo de precipitación o ante la ocurrencia de fuertes fluctuaciones del nivel freático generado a partir de la dinámica del embalse. Estas estimaciones se han planteado sin

tomar en cuenta ninguna medida de protección o corrección y como se mencionó anteriormente, para fines de este estudio no fue considerado un posible detonante sísmico.

Para el caso de las áreas ubicadas entre el sitio de presa (Paso Angostura) hasta otra de las colas del futuro embalse (al sur-oeste) en el propio río Yacambú, se estimó un potencial total de acarreo del orden de 35.635.135 m³ (TABLA 4).

La intensa intervención de carácter antropogénico y lo frágil del material, debido a la alternan-

cia de rocas blandas y al grado de fracturación y meteorización, hace recomendable instrumentar medidas de control de la actividad agrícola en uno de los sectores geomorfológicamente más activos: quebrada Urupe (Nº 16). Esta subcuenca tiene un potencial de acarreo al embalse del orden del 15 - 20% (18,6% para ser más específicos) de toda la sección analizada, y se estima adicionalmente una capacidad total de movilización aproximada por eventos de tipo hidrometeorológico, para las subcuencas de la TABLA 4, de unos 2.104.625 m³.

TABLA 3. Estimación de volúmenes potenciales de acarreo para las subcuencas de las quebradas Negra, Blanca y Negra bajo

| Subcuenca | Potencial de acarreo (m ³) | Capacidad de movilización en m ³ | Observaciones |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Subcuenca de la quebrada Blanca (No. 25, Figura 3) | 17.523.250 m ³ | 1.350.000 - 1.750.000 m ³ | Destaca aquí la extensa área ocupada por la zona de deslizamientos de Sabana Larga |
| Subcuenca de la quebrada Negra (No. 24, figura 3), antes de su confluencia con la quebrada Blanca | 11.668.950 m ³ | 500.000 - 650.000 m ³ | La sección de sedimentación (futura plazoleta) puede contribuir al entrapamiento de una cantidad significativa de materiales |
| Sector comprendido entre la cola del futuro embalse, confluencia de las quebradas Negra y Blanca (subcuenca quebrada Negra bajo No. 4, figura 3) hasta el sitio de presa | 2.500.000 m ³ | 100.000 - 166.000 m ³ | Se incluyen varios deslizamientos; el más importante de ellos, el deslizamiento de: El Portal de Entrada |
| Σ = | 31.692.200 m ³ | | |

TABLA 4. Estimación de volúmenes potenciales de acarreo para el área a ser cubierta por el futuro embalse. Subcuencas de las quebradas Corozal, Piedra de Amolar, la Ruidosa, Cerro Blanco y Urupe

| Subcuenca | Potencial de acarreo (m ³) | Capacidad de movilización en m ³ (eventos extremos) | Observaciones |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Subcuenca de la quebrada Corozal (No. 15) | 18.000.000 m ³ | 50.000 m ³ | La sección inferior, podría presentar procesos de flujos de detritos. Esta área pudiera considerarse crítica, ya que quedará sumergida |
| Subcuencas: Piedra de Amolar (No. 14), La Ruidosa (No. 18); Cerro Blanco (No. 19) y Sin Nombre (No. 20) | 11.000.000 m ³ | 454. 625 m ³ | La existencia de una estructura geológica favorable a la retención de sedimentos, disminuye notablemente las posibilidades de un ingreso violento de sedimentos al embalse |
| Subcuenca de la quebrada Urupe (No. 16) | 6.635.135 m ³ | 1.200.000 - 1.600.000 m ³ | Constituye en el 20 - 25% del total de esta área del futuro embalse |
| Σ = | 35.635.135 m ³ | | |

Por otra parte, en el trabajo presentado por Ingenieros De Santis, C.A. (1995), se reporta una estimación de la capacidad de movilización (estimación potencial según estos autores) de 666.350 m³ (82,75 % del total) para la quebrada la Escalera (N° 22), mientras que la quebrada Honda (N° 2) aportaría 138.800 m³ para un total estimado en este sistema de 805.150 m³.

De igual manera, la mayor tasa de erosión laminar y en surcos para el año 2004 se produce, según Barrios *et al.* (2005), en el área conformada por las subcuencas de las quebradas: Honda (N° 2), Honda bajo (N° 23), SN (N°1), confluencia de la Escalera-Honda (N° 3), con un total de 269,9 t/ha.año, lo cual se corresponde con la categoría de: muy alta erosión (200 - 300 t/ha.año) y, a su vez, representa un 200% más que la tasa media de erosión para toda la cuenca del Yacambú (130,95 t/ha.año) en el citado 2004.

En lo referente a las microcuencas: Piedra de Amolar (N° 14), la Ruidosa (N°18), Cerro Blanco (N° 19) y Sin Nombre (N°20) “*se observa el mayor aumento en la tasa de erosión, de 70,4 t/ha.año en 1990, a 256,0 t/ha.año, en 2004*” (Barrios *et al.*, 2005: 30). Para las subcuencas Negra y Blanca, en este último año, se presentan tasas de erosión de materiales finos de: 17,0 t/ha.año y 28,3 t/ha.año, que incluyen categorías de erosión moderadas a muy débiles, reflejo de la buena cobertura vegetal que existe en la parte media-alta de estos subsistemas hidrológicos.

6. Discusión y conclusiones

Tal y como fue explicado en los procedimientos metodológicos, el análisis de las formas con base en la relación entre los procesos y los factores que influyen la inestabilidad (respuesta y comportamiento diferencial de la litología, y el papel clave de la estructura geológica) determinan la repuesta de los macizos rocosos en un sistema

altamente complejo, como es el caso de la cuenca del río Yacambú. Del resultado de la evaluación geomorfológica es necesario señalar lo siguiente:

- 1) Uno de los objetivos del levantamiento geomorfológico fue definir aquellos sectores críticos con alta potencialidad de inestabilidad en sus laderas. Entre estos destacan: la quebrada Negra (N° 24), la sección inferior de la quebrada Blanca (N° 25), en especial las laderas que se corresponden con el sector Sabana Larga; el deslizamiento de El Portal de Entrada, además de la situación extremadamente sensible que presenta la subcuenca la Escalera (N° 22), y aquellos taludes que bordean el área del futuro embalse, en conjunto con las subcuencas de las quebradas Urupe (N° 16), Corozal (N° 15) y el deslizamiento de Cerro Blanco, así como la quebrada Honda (N° 2).

Las unidades de filitas carbonosas y en menor medida filitas calcáreas alcanzan mayor extensión al norte del área de estudio: quebradas Negra (N° 24), Blanca (N° 25), la Escalera (N° 22) y Caspito (N° 6); las tres primeras con incidencia directa en el futuro embalse (FIGURA 4).

Los movimientos de masa más frecuentes y más extendidos se corresponden con derrumbes de rocas (caídas de rocas, según la clasificación de Varnes, 1978). Muchos de los fragmentos que caen, al tapizar el fondo de los cauces generan entrampamientos naturales, lo que contribuye a disminuir el transporte de materiales de textura fina. En líneas generales, los macizos rocosos donde predominan las filitas carbonosas evolucionan siguiendo un comportamiento plástico, lo que se traduce en la ocurrencia de flujos de distintos tipos (de lodo y de detritos). Este último tipo de proceso permite el transporte de bloques de gran tamaño (FIGURA 13) y puede ser considerado entre los más peligrosos, problemáticos y de más difícil manejo. Otros movimientos de masa

FIGURA 13. Flujo de detritos muy cerca de la confluencia de la quebrada Blanca con la quebrada Negra. Fotografía tomada por C. Ferrer, 2005



menos frecuentes son los deslizamientos rotacionales, planares y en cuña.

- 2) Aunque la cuenca del río Yacambú hasta antes del sitio de confluencia con las quebradas Negra y Blanca exhibe una forma ligeramente alargada (lo cual delata la existencia de un control estructural) que sugiere que, a su vez, los impactos de eventos torrenciales extremos pueden ser menos pronunciados y más graduales, a nivel de las subcuencas si se han encontrado evidencias de campo que reflejan la ocurrencia de eventos de magnitud considerable (FIGURAS 11 y 13), como es el caso de la quebrada Blanca vía laguna el Blanquito donde se hallaron megaclastos de hasta 8 m de diámetro que, sin duda, fueron transportados por agua o en todo caso por flujos; además del sitio de confluencia de la quebrada Blanca con la quebrada Negra donde se hallaron bloques de 8 a 14 m de diámetro (FIGURA 12A y 12B). En todo caso, dichas evidencias son dispersas

y muy localizadas, ya que en general, como fue mencionado con anterioridad, la cuenca muestra una particularidad topográfica asociada a la presencia de angosturas (cañones y gargantas) que se distribuyen a lo largo de esta, las cuales están estrechamente asociadas a la presencia de filitas calcáreas y filitas silíceas, y parecen estar jugando un papel primordial como reguladoras de los picos de crecidas al retener aguas arriba de ellas, importantes volúmenes de sedimentos de textura gruesa y disminuir la velocidad de los flujos al actuar como verdaderas trampas naturales de los materiales en tránsito. En contraparte, aguas abajo y a lo largo de las gargantas, la velocidad de las corrientes se incrementa provocando procesos de excavación que cortan las rocas de los lechos fluviales. La alta pedregosidad presente en los cauces de los principales drenes, también contribuye al entrapamiento natural de los materiales en tránsito disminu-

yendo así la velocidad de los flujos. Todo ello, conjuntamente con la ya mencionada morfología ligeramente alargada de la cuenca del río Yacambú, la cual juega un rol fundamental en la respuesta hidrológica de este sistema fluvial, aspecto que se corresponde con lo reportado por Ingenieros De Santis, C.A. (1991), en el sentido de que a nivel de toda la cuenca, la misma no parece haber sido afectada por fenómenos extremos como los definidos por Starkel (1976).

Los efectos principales de la acción erosiva correspondiente al sistema fluvial del Yacambú, se relacionan con eventos de baja magnitud y alta frecuencia de ocurrencia. La ausencia de un régimen típicamente torrencial indica que las abundantes precipitaciones se distribuyen de una forma relativamente uniforme a lo largo del año, especialmente entre los meses de abril a diciembre, con un máximo de lluvias en el mes de junio, tal como lo refleja el estudio elaborado por Barrientos (1990).

- 3) El factor antrópico constituye el elemento de mayor perturbación en el equilibrio de las variables. Una conclusión preocupante es que los problemas de inestabilidad se han venido agravando desde el año 1991, particularmente en sitios críticos tales como: la cuenca de la quebrada Urupe (N°16), donde ha habido un notable incremento del poblamiento; además de las quebradas la Escalera (N°23) y Negra (N°25), y el sitio de La Gran Parada, lugares estos donde se observa una desordenada ocupación del espacio. La construcción de carreteras sin una planificación adecuada ha generado impactos negativos. En apenas quince años (desde 1990 a 2004), la merma del recurso hídrico fue dramática; esta situación parece mucho más grave que el incremento en el aporte de sedimentos y debe ser investigada en detalle.

- 4) Otro de los aspectos considerados en este trabajo lo constituyen los volúmenes de acarreo hacia el futuro embalse. Para las subcuencas de las quebradas Negra (N° 25), Blanca (N° 24) y Negra bajo (N° 4) se realizó una estimación de acumulación potencial de 31.692.200 m³, mientras que en la sección comprendida entre el sitio de Paso Angostura y la cola del futuro embalse localizada al suroeste de la presa (que incluye las subcuencas Coroza, Urupe y el sector Cerro Blanco) este valor alcanzó los 35.635.135 m³ (Ferrer y Dugarte, 2005). En el trabajo elaborado por Ingenieros De Santis, C.A. (1995) se reporta una estimación de capacidad de movilización (acumulación potencial según estos autores) de 805.250 m³ para las subcuencas de las quebradas Honda (N°2) y la Escalera (N°22). Es importante subrayar que esta capacidad de movilización se estimó sin considerar ningún tipo de medidas de control o la instrumentación de programas de conservación.

Dos sitios específicos sobre los cuales se tiene especial preocupación y que han sido sugeridos para la instrumentación de medidas de monitoreo son: a) el sector Sabana Larga en la quebrada Blanca (N°24), caracterizado por una serie de movimientos de masa que pudieran afectar a una de las colas del futuro embalse, y el deslizamiento de El Portal de Entrada en el túnel de trasvase; b) las secciones inferiores del deslizamiento activo de Cerro Blanco, ubicado en la subcuenca homónima en la vertiente derecha del río Yacambú; este movimiento de masa no parece constituir una grave amenaza debido a la barrera natural conformada *“por la serie de colinas alargadas que se sitúan en su sección inferior. En caso de contar con una cobertura aerofotográfica actualizada sería interesante hacerle un seguimiento”* (Ferrer y Dugarte, 2005: 33); y finalmente c) la zona de deslizamientos localizados en los sitios de: Chamiza, Volcancito

y Corozaal (entre las subcuencas Urupe y Corozaal, cerca del caserío Cerro Pando, ver figura 4), donde las secciones inferiores de los mismos recibirán el impacto de las aguas del embalse.

Una de las conclusiones más importantes del estudio realizado por UFORGA-ULA (2005) es que la vida útil de la obra se mantendrá dentro de los parámetros de diseño, no obstante, los niveles estimados de sedimentación del futuro embalse. También es cierto que la tasa actual de aporte de sedimentos implicará en el futuro mayores riesgos para la operación y mantenimiento del sistema hidráulico.

A pesar de que el *“avance total del proyecto Yacambú-Quíbor fue estimado en un 80 % para el año 2010 por el Ministerio del Poder Popular para el Ambiente”* (Delgado, 2015: 796), los enormes retrasos en el llenado del embalse y, en general, en la ejecución de la obra (desde el año 1975 cuando se inició su construcción hasta la actualidad), se han atribuido entre muchos otros aspectos a: **a)** problemas de estabilidad asociados con la presencia de la falla de Boconó, sísmicamente activa, y su incidencia en la construcción del túnel de trasvase; **b)** el difícil acceso al sitio de obra y, **c)** a lo complicado que ha resultado la reubicación de las familias que se emplazan en el área de inundación del futuro embalse. Todo ello aunado a la situación actual de deterioro, vandalismo e inadecuada gestión de los recursos financieros que está sufriendo todo el sistema hidráulico, debido a la complicada situación económica que se vive hoy en día en Venezuela, hechos reportados recientemente en los diarios de circulación regional por Boscán (2016); Gómez (2019); Rodríguez (2020); Uzcátegui (2020 a y b) y Bautista (2020 a y b).

Vista la importancia de este proyecto estratégico para la región centro occidental de Venezuela, donde el riego directo al valle de Quíbor (en lo que pudiera considerarse como el futuro granero para el país) y el abastecimiento urbano de la ciudad

de Barquisimeto, representan los dos principales propósitos; se hace necesario retomar esta importante obra en la que se requiere voluntad y estabilidad política, inversiones, acuerdos entre los distintos actores sociales, instituciones sólidas y mucha gestión en cuanto a la administración estratégica, promoción, coordinación, ejecución, control y supervisión de esta importante obra.

Dentro de las principales recomendaciones se hace necesario llevar a cabo, entre muchos otros aspectos: **a)** estudios geotécnicos a nivel de detalle en el interior del túnel; **b)** aun cuando la presa esté paralizada y sin necesidad de crear alarmismos innecesarios, se requieren proyectos de ingeniería estructural (de diagnóstico e instrumentación) para evaluar el estado actual de esta importante obra civil construida para contener las aguas del embalse; adicionalmente, **c)** luce prudente sugerir la elaboración de estudios de sismicidad histórica e instrumental en la cuenca del río Yacambú y en su área de influencia, además se deben realizar, **d)** análisis de frecuencias de lluvias extremas a partir de mediciones más recientes y estudios geológico-geomorfológicos e hidrológicos-hidráulicos detallados y actualizados en cada una de las subcuencas que aportaran sus aguas y sedimentos al futuro embalse.

Finalmente, es importante señalar que la toma de fotografías aéreas constituye una tarea de obligada prioridad; ello es imprescindible como instrumento para la evaluación de los futuros cambios a que será sometida la cuenca del río Yacambú. Además se recomienda: la instrumentación de un programa de monitoreo y la implementación de medidas correctivas y de conservación en las áreas señaladas como críticas.

7. Agradecimientos

Los autores desean testimoniar su agradecimiento a la profesora María T. de Bravo, coordinadora

en su momento de la Unidad de Prestación de Servicios y Proyectos Forestales, Geográficos, Agropecuarios y Ambientales (UFORGA-ULA), por el apoyo y el respaldo prestado para la elaboración del Informe Final del Proyecto financiado por la Empresa Sistema Hidráulico Yacambú-Quibor C.A. (SHYQ C.A.), y que sirvió de base para la elaboración de este artículo. Un reconocimiento a los profesores e ingenieros forestales Edgar Hernández, Francisco Rivas y Raúl Vidal por el gran compañerismo demostrado durante las difíciles labores de campo.

El texto se vio beneficiado por las oportunas sugerencias de las profesoras Ada Moreno y María A. Ramírez. Le agradecemos también a la Sra. Norca Fernández de Rivero secretaria ejecutiva de UFORGA por permitir el acceso a los cinco volúmenes inéditos del “Programa para el manejo integral de los procesos erosivos y sedimentarios de la cuenca aportante al embalse Yacambú”. Un especial agradecimiento al profesor Robert Márquez, quien gentilmente elaboró la traducción al idioma inglés del resumen que acompaña este artículo.

8. Notas

Los profesores Carlos Ferrer Oropeza (†) y Marbella Dugarte Balza (†) fallecen en febrero de 2018 y marzo de 2019 respectivamente; pero desde finales de 2012 y principios de 2013 venían trabajando en este artículo con Ayala y Delgadillo. Sin embargo, aun cuando no se culminó en el tiempo previsto, el interés por publicarlo siempre estuvo presente,

ya que recogía parte de los resultados derivados del ‘Proyecto de Geología y Geomorfología de la cuenca del río Yacambú’ (Ferrer y Dugarte, 2005; y Unidad de Prestación de Servicios y Proyectos Forestales, Geográficos y Ambientales (UFORGA, 2005) de la Universidad de Los Andes. La versión que se presenta en esta ocasión es un tributo a los colegas Ferrer y Dugarte.

1. Para efectos de este estudio, se entiende como potencial de acarreo al volumen de sedimentos, sobre la superficie de la cuenca, que está potencialmente disponible para ser transportado. Mientras que el término capacidad de movilización se refiere al volumen de sedimentos que realmente puede ser movilizado.
2. Starkel (1976: 205 y 206) define y discute la diferencia entre los términos: “eventos normales” y “eventos extremos”, desde el punto de vista meteorológico-geomorfológico. Para el primero de ellos establece las siguientes consideraciones: **a)** la frecuencia es anual; **b)** por lo general no presentan grandes intensidades de precipitación (aunque esto variará de acuerdo con las condiciones climáticas de cada zona); **c)** el evento se adapta a las condiciones de equilibrio (clímax) del sistema; **d)** por lo general no rompe el equilibrio de las vertientes; **e)** las lluvias torrenciales rara vez cubren toda la superficie de la cuenca afectada y su incidencia local es tal, que incluso en los años con valores de precipitaciones mínimas se revalúan los efectos de las lluvias locales. En contraste un “evento extremo”, es en primer lugar el resultado de una cantidad o intensidad de precipitación rara vez experimentadas; segundo, se consideran en términos de sus causas meteorológicas o por sus efectos geomorfológicos, los cuales pueden ser estudiados y comparados con otros eventos mediante análisis de frecuencias; y tercero, en este tipo de eventos se produce la formación-creación de nuevos relieves y la aceleración de los procesos erosivos.

9. Referencias citadas

- BARRIENTOS, P. 1990. *Climatología de la cuenca del río Yacambú*. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables (MARNR). Informe Técnico. División de Información e Investigación y Conservación de Agua, Suelo y Vegetación. Departamento de Hidrología. Barquisimeto, Venezuela. Informe Técnico. + ANEXOS. (Inédito).
- BARRIOS, A.; JEGAT, J.; QUIÑONEZ, E.; MÉNDEZ, G. y L. URRIBARRÍ. 2005. *Erosión y sedimentación por subcuencas*. Programa para el manejo integral de los procesos erosivos y sedimentarios de la cuenca aportante al embalse Yacambú. Unidad de Prestación de Servicios y Proyectos Forestales, Geográficos, Agropecuarios y Ambientales (UFORGA) y Sistema Hidráulico Yacambú - Quíbor C.A. (SHYQ, C.A). Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela. Capítulo 5. (Inédito).
- BAUTISTA, J. 2020a. "#RETACITOS #22Nov". EL IMPULSO.com 22/Nob/2020. Disponible en: <https://www.elimpulso.com/2020/11/22/retacitos-22nov/>. [Consulta: febrero, 2021].
- BAUTISTA, J. 2020b. "#RETACITOS #29Nov". EL IMPULSO.com 29/Nob/2020. Disponible en: <https://www.elimpulso.com/2020/11/29/retacitos-29nov/>. [Consulta: febrero, 2021].
- BOSCÁN, H. 2016. "En ruinas quedó el proyecto Yacambú - Quíbor". EL IMPULSO.com 16/Feb/2016. Disponible en: <https://www.elimpulso.com/2016/02/16/en-ruinas-queda-el-proyecto-yacambu-quiabor/>. [Consulta: febrero, 2021].
- CENTRO INTERAMERICANO DE DESARROLLO E INVESTIGACIÓN AMBIENTAL Y TERRITORIAL (CIDIAT) y SISTEMA HIDRÁULICO YACAMBÚ - QUÍBOR C.A. (SHYQ, C.A). 1999. *Operación del embalse Yacambú para diferentes escenarios de demandas de riego y urbana incluido el análisis de las cargas residuales en el Portal de Salida*. Universidad de Los Andes (ULA). Mérida, Venezuela. Informe Técnico. 116 p. + ANEXOS. (Inédito).
- CHOY, J.; PALME, C. y M. MORANDI. 2003. "Implicaciones tectónicas del Terremoto de El Tocuyo, del 3 de agosto de 1950, Venezuela". *Revista Geográfica Venezolana*, 44(2): 207-217.
- CÓRDOVA, J. y M. GONZÁLEZ. 2015. "La geografía del agua". En: A. GABALDÓN; A. ROSALES; E. BUROZ; J. CORDOVA; G. UZCATEGUÍ y L. ISKANDAR (Eds.), *El Agua en Venezuela: una riqueza escasa*. pp. 103-140. Fundación Empresas Polar. Caracas, Venezuela.
- CORONEL, A. y M. GONZÁLEZ. 2015. "Las aguas subterráneas". En: A. GABALDÓN; A. ROSALES; E. BUROZ; J. CORDOVA; G. UZCATEGUÍ y L. ISKANDAR (Eds.), *El Agua en Venezuela: una riqueza escasa*. pp. 143-165. Fundación Empresas Polar. Caracas, Venezuela.
- DUNOYER, M. & C. VAN WESTEN. 1994. "Assessing uncertainty in interpreting landslides from airphotos". *ITC Journal*, 3: 58-71.
- DELGADILLO A. y A. MORENO. 2009. *Estudio hidrológico preliminar de las cuencas de los ríos Yacambú y Acarigua*. Material de enseñanza de Simulación Paramétrica. Maestría en Desarrollo de los Recursos de Aguas y Tierras. Mención: Planificación y Desarrollo de los Recursos Hidráulicos. Centro Interamericano de Desarrollo Investigación Ambiental y Territorial (CIDIAT). Universidad de los Andes. Mérida, Venezuela. (Inédito).
- DELGADO, C. 2015. "Los recursos hídricos como factor de ordenación del territorio nacional". En: A. GABALDÓN; A. ROSALES; E. BUROZ; J. CORDOVA; G. UZCATEGUÍ y L. ISKANDAR (Eds.), *El Agua en Venezuela: una riqueza escasa*. pp. 771-819. Fundación Empresas Polar. Caracas, Venezuela.

- FERRER, C. y M. DUGARTE. 2005. *Geología y geomorfología de la cuenca del río Yacambú*. Programa para el manejo integral de los procesos erosivos y sedimentarios de la cuenca aportante al embalse Yacambú. Unidad de Prestación de Servicios y Proyectos Forestales, Geográficos, Agropecuarios y Ambientales (UFORGA) y Sistema Hidráulico Yacambú - Quíbor C.A. (SHYQ, C.A). Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela. Capítulo 2. (Inédito).
- FERRER, C. y M. DUGARTE. 2007. Geomorfología de la cuenca del río Yacambú (estado Lara, Venezuela): procesos erosivos/sedimentarios y definición de niveles de susceptibilidad. *IX Congreso Geológico Venezolano*. pp. 1-8. Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Facultad de Ingeniería. Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela. (21-25 de octubre), (CD - ROM. Inédito).
- GÓMEZ, R. 2019. "OFM: No se robaron el túnel porque tendrían que llevarse la montaña". *ElInformadorvenezuela.com*.03/Ago/2019. Disponible en: <https://www.elinformadorvenezuela.com/destacada/ofm-no-se-robaron-el-tunel-porque-tendrian-que-llevarse-la-montana/>. [Consulta: febrero, 2021].
- GONZÁLEZ DE VALLEJO, L; FERRER, M.; ORTUÑO, L. y C. OTEO. 2002. *Ingeniería Geológica*. Pearson Educación, S.A. - Prentice Hall. Madrid, España.
- INGENIEROS DE SANTIS, C.A. 1991. *Estudio geológico - geomorfológico y de vulnerabilidad de la cuenca del río Yacambú. Estado Lara*. Sistema Hidráulico Yacambú - Quíbor, C.A. (SHYQ, C.A). Caracas, Venezuela. Informe Técnico. (Inédito).
- INGENIEROS DE SANTIS, C.A. 1995. *Estudio geológico - geomorfológico y de vulnerabilidad de las subcuencas de las quebradas Honda y la Escalera*. Informe Técnico. Sistema Hidráulico Yacambú - Quíbor, C.A. (SHYQ, C.A). Caracas, Venezuela. Informe Técnico. 58 p. (Inédito).
- INGENIEROS DE SANTIS, C.A. 2001. *Seguimiento de los procesos sedimentarios y erosivos de las quebradas Negra, Honda y la Escalera, cuenca del río Yacambú, municipio Andrés Bello Blanco, estado Lara*. Informe Final de las Mediciones del Año 2001. Sistema Hidráulico Yacambú - Quíbor, C.A. (SHYQ, C.A). Caracas, Venezuela. Informe Técnico. (Inédito).
- MINISTERIO DEL AMBIENTE y DE LOS RECURSOS NATURALES RENOVABLES (MARNR) 1979. *Memoria y Cuenta 1978*. Despacho del Ministro. Caracas, Venezuela.
- MOLINA, G. Z. y A. ALBARRÁN, A. 2013. "Análisis multitemporal y de la estructura horizontal de la cobertura de la tierra: Parque Nacional Yacambú, estado Lara, Venezuela". *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana Venezolana*, 22(1): 25-40.
- PORTA, J.; LÓPEZ, M y C. ROQUERO. 2003. *Edafología, para agricultura y medio ambiente*. Tercera edición. Ediciones Mundi - Prensa. Madrid, España.
- PROYECTO MULTINACIONAL ANDINO: GEOCIENCIAS PARA LAS COMUNIDADES ANDINAS (PMA: GCA). 2007. *Movimientos en masa en la región Andina: Una guía para la evaluación de amenazas*. Servicio Nacional de Geología y Minería, Publicación Geológica Multinacional. Impreso en Canadá. No. 4. 404 p + 1 CD-ROM
- RODRÍGUEZ, L. 2020. "#COLUMNNA El rincón de los miércoles #15Jul". *EL IMPULSO.com* 15/Jul/2020. Disponible en: <https://www.elimpulso.com/2020/07/15/columna-el-rincon-de-los-miercoles-15jul/>. [Consulta: febrero, 2021].
- SISTEMA HIDRÁULICO YACAMBÚ - QUÍBOR, C.A. (SHYQ, C.A.). 2003. *Información generada por SHYQ, C.A. En el periodo 1990 - 2002*. Unidades de: Desarrollo Tecnológico, Información y Documentación y Comunicación Corporativa del SHYQ, C.A. (Inédito).

- SINGER, A. y L. MONTES. 1980. Sismicidad y morfogénesis en el tramo nor-oriental de la falla de Bocono: evaluación de los efectos geológicos del terremoto del año 1950. *XXX Convención Anual de ASOVAC. Acta Científica Venezolana*. 31(1): 60.
- SOETERS, R. & C. VAN WESTEN. 1996. "Slope instability recognition, analysis, and zonation". In: K. TURNER & R. L. SCHUSTER (Eds.), *Landslides: Investigation and Mitigation*. pp. 129-177. Transportation Research Board, Nat. Academy Press. Washington D.C. USA.
- STARKEK, L. 1976. "The role of extreme (catastrophic) meteorological events in contemporary evolution of slopes". En: E. DERBYSHIRE (Ed.), *Geomorphology and Climate*. pp. 203-246. John Wiley & Sons. London - New York - Sidney - Toronto.
- UNIDAD DE PRESTACIÓN DE SERVICIOS y PROYECTOS FORESTALES, GEOGRÁFICOS, AGROPECUARIOS y AMBIENTALES DE LA UNIVERSIDAD DE LOS ANDES (UFORGA-ULA) y SISTEMA HIDRÁULICO YACAMBÚ-QUÍBOR, C.A. (SHYQ, C.A). 2005. *Programa para el manejo integral de los procesos erosivos y sedimentarios de la cuenca aportante al embalse Yacambú*. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de Los Andes (ULA). Mérida, Venezuela. Informe Técnico. Vol. I al V p. Capítulos 1 al 11. (Inédito).
- UZCATEGUI, A. 2020a. "Lara en emergencia por falta de agua potable". La Prensa. Diario de Lara. 12/Mar/2020. Disponible en: <https://www.laprensalarara.com.ve/nota/14089/20/03/lara-en-emergencia-por-falta-de-agua-potable>. [Consulta: febrero, 2021].
- UZCATEGUI, A. 2020b. "Industrias buscan tabla de salvación para 2021". La Prensa. Diario de Lara. 23/Dic/2020. Disponible en: <https://www.laprensalarara.com.ve/nota/25497/2020/12/industrias-buscan-tabla-de-salvacion-para-2021>. [Consulta: febrero, 2021].
- VARNES, D. 1978. "Slope movement types and processes". En: R. L. SCHUSTER & R. J. KRIZEK (Eds.), *Landslides: Analysis and Control. Special Report 176*. pp. 11-33. Transportation Research Board. Commission on Sociotechnical Systems. National Research Council. National Academy of Sciences Washington D.C. USA.