
Funcionabilidad y estabilidad de los diques de control de erosión torrencial construidos entre 1992 y 2004 en la cuenca del río Yacambú, estado Lara, Venezuela

Performance and stability of torrent control dams built between 1992 and 2004 in the Yacambú upper basin, Lara state, Venezuela

Francisco Rivas* y Edgar Hernández**

Recibido: 08-02-2013

Aceptado: 14-06-2013

Resumen

La cuenca del río Yacambú se localiza al sur de la Sierra de Portuguesa en la Cordillera de los Andes en Venezuela. Allí, la Empresa Sistema Hidráulico Yacambú-Quibor C.A. (SHYQ C.A.) construyó entre 1992 y 2004 diques para estabilización de vertientes y reducción de erosión. La presente investigación tuvo el objetivo de evaluar mediante un trabajo de campo, con planillas diseñadas al efecto, la estabilidad y funcionamiento de los diques. Se identificaron 32 diques de consolidación, 1 dique de retención de sedimentos, 21 contradiques, 29 traviesas y 1 espigón para un total de 84 obras, las cuales se localizan en 4 torrentes: La Blanca, La Honda, La Escalera y La Negra. Los diques de consolidación tienen alturas generalmente de 4 m. y el dique de retención 12 m. De acuerdo a la investigación se concluye que el 70% de los 33 diques tienen buena condición, el 12% presenta daños menores. El 28% de los contradiques y 13% de las traviesas requieren mantenimiento urgente. El 87% de los 32 diques han logrado estabilizar las vertientes inestables reduciendo la erosión. Además se logró mantener el tránsito por la vía principal asegurando el traslado de la producción agropecuaria y de los materiales para la construcción de las obras del Sistema Hidráulico Yacambú.

Palabras claves: cuenca río Yacambú, torrentes, evaluación, diques

* Universidad de Los Andes. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Centro de Estudios Forestales y Ambientales de Postgrado. Grupo de Estudios en Cuencas Altas Tropicales. Mérida - Venezuela. Correo E.: vergara@ula.ve

** Universidad de Los Andes. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Escuela de Ingeniería Forestal. Mérida - Venezuela. Correo E.: luisedgar.hernandez@gmail.com

Abstract

Yacambú river basin is located south of the Sierra de Portuguesa in the Andes in Venezuela. There, the Company Yacambu-Quibor C.A. (SHYQ C.A.) built between 1992 and 2004 dams to stabilize unstable slopes and reduce erosion. This research aims to evaluate through a field with appropriate forms the stability and functionality of the dams. We identified 32 check dams, 1 sediment storage dam, 21 auxiliary dams, 29 submerged sills, and 1 spur for a total of 84 works, which are located in 4 torrents: La Blanca, La Honda, La Escalera and La Negra. The check dams have generally heights of 4 m and the sediment retention dam with 12 m. According to our research 70% of the 33 dams have good condition, 12% have minor damage. 28% of auxiliary dams and 13% of the submerge sills require urgent maintenance. 87% of the 33 dams have reached the objective of slope stabilization reducing the erosion and the sediment yield to the reservoir. In addition, an important benefit was obtained as was keep traffic on the main road ensuring the transfer of agricultural production and materials for the construction of the works of the Yacambú Hydraulic System.

Key words: Yacambú river basin, torrents, evaluation, dams.

1.- Introducción**1.1.- El problema y su justificación**

En la cuenca hidrográfica del río Yacambú ubicada en el estado Lara, la Empresa Sistema Hidráulico Yacambú-Quibor C.A. (SHYQ C.A.) construye uno de los proyectos hidráulicos de mayor trascendencia en Venezuela. Una presa de 162 m de altura en Paso Angostura generará un espejo de agua de 852 ha y un almacenamiento de 435 millones de m³ que serán transvasados a través de un túnel de 24,3 km de longitud con dos objetivos principales: por una parte, regar tierras altamente productivas en El Valle de Quibor que actualmente tienen fuertes restricciones de humedad, y por la otra, suministrar agua potable al Sistema hídrico de la ciudad de Barquisimeto (Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables-SHYQ C.A. 1990; 1998).

Para lograr estos objetivos se requiere garantizar la calidad y cantidad de agua que llegará al embalse en Paso Angostura. Por esa razón, el conocimiento y control de los procesos erosivos y el arrastre de sedimentos en la cuenca alta del río Yacambú contribuirán a asegurar la vida útil del proyecto. Además, la generación de información que ayude a la comprensión y manejo adecuado de la cuenca hidrográfica constituirán un instrumento importante para la gestión de la empresa.

El río Yacambú y sus quebradas tributarias manifiestan durante las crecidas una alta capacidad de arrastre de material sólido que produce daños a pobladores, tierras, infraestructuras y servicios. Indicativo del potencial torrencial son los nombres de quebrada Negra, asociada a la gran carga de sedimentos de ese color, o el calificativo de quebrada La Ruidosa que sugiere su torrencialidad. Por esas razones, ya en la década de 1960 el Ministerio de Agricultura y Cría construyó obras para mitigar daños por arrastres durante las crecidas, especialmente para proteger vías y puentes; acción continuada posteriormente por el Ministerio del Ambiente, lo que se evidencia en los diques que aún existen en las quebradas Urupe y La Escalera. Pero es recientemente, desde 1992, cuando la empresa SHYQ C.A., en una forma sistemática inicia formalmente la ejecución de un programa de control de torrentes, dentro de la política de disminuir los volúmenes de sedimentos que llegan y llegarán al futuro embalse en Paso Angostura, mediante la construcción de diques, contradiques y traviesas para estabilizar laderas inestables y mitigar la socavación de cauces.

Para controlar la erosión torrencial se utilizan dos tipos de diques, ya sea para consolidar laderas o para retener sedimentos. Los primeros se llaman “diques de consolidación”, los segundos “diques de retención”. Es importante conocer esta diferenciación para interpretar los resultados de la presente investigación. Los “diques de consolidación”, son obras transversales al eje de la corriente, generalmente construidas en concreto o gavión, que buscan apuntalar laderas inestables, mediante la creación de cuñas de sedimentación que producen varios efectos: brindan soporte a la

base de las vertientes, orientan la ruta de las crecidas separándola de las márgenes frágiles y elevan levemente el perfil longitudinal, creando escalones en los cuales la escorrentía pierde energía cinética y capacidad erosiva. Un segundo tipo de diques son los de retención, que como su nombre lo indica, sólo buscan retener los sedimentos. La retención puede ser “total” mediante diques cerrados, o “selectiva y temporal” por medio de diques abiertos. (SHYQ C.A.- Unidad de Prestación de Servicios Forestales, Geográficos y Ambientales), 2005. Programa para el manejo integral de los procesos erosivos y sedimentarios de la cuenca aportante al embalse Yacambú. Edo. Lara. Venezuela.

Los diques en torrentes no retienen grandes volúmenes de sedimentos, por cuanto las secciones topográficas son angostas. Pero estos diques son efectivos en la contención de laderas inestables evitando que deslicen y se conviertan en focos de erosión. En otras palabras, se consigue una disminución de material arrastrado en el cauce. Los diques de consolidación se protegen contra la socavación en su base y estribos mediante “contradiques” y “traviesas” localizadas inmediatamente aguas abajo. Los contradiques son obras transversales de poca altura. Las traviesas son obras transversales que no tienen altura de caída de la lámina de agua. Igualmente, como estrategia de control, se utilizan espolones o espigones que son estructuras de baja altura ancladas a la base de una de las vertientes de la sección del cauce para evitar la socavación lateral y las rampas que son recubrimientos con concreto o mortero con rocas para facilitar el flujo en determinadas partes del cauce, todos estos tipos de estructuras han mostrado beneficios en el control de la erosión torrencial en Europa y Japón por más de 140 años y, en tiempos más recientes, en la situación venezolana.

1.2.- Los objetivos

El presente trabajo tiene el propósito de presentar los resultados de la evaluación de las condiciones actuales, la estabilidad y funcionalidad de los diques de control de torrentes construidos entre los años 1992 y 2004 por el SHYQ C.A. en la cuenca alta del río Yacambú, lo que implicó realizar previamente un inventario detallado de las obras existentes.

1.3. - El área de estudio

La cuenca del río Yacambú, forma parte de las vertientes ubicadas en el sur de la Sierra de Portuguesa de los Andes venezolanos. Constituye un importante afluente del río Acarigua, cuyas aguas drenan hacia el río Orinoco. Tiene una extensión de 326,17 Km², de los cuales 317,18 corresponden a la superficie que no quedará cubierta por el embalse. Está localizada en la parte centro-sur del municipio Andrés Eloy Blanco del estado Lara, Venezuela, abarcando parte de las parroquias Pío Tamayo y Yacambú. La cuenca representa un 37,40 % del área total del municipio. Los linderos son: río Tocuyo por el noroeste, río Morador por el sur, río Guache por el sureste, río Acarigua por el este y río Portuguesa por el oeste (MARN - SHYQ C.A.,1998;SHYQ C.A.-Gutiérrez F. 1998). Geográficamente se localiza entre las coordenadas UTM Este 420000 y 450000 y UTM Norte 1060000 y 1080000 (figura 1).

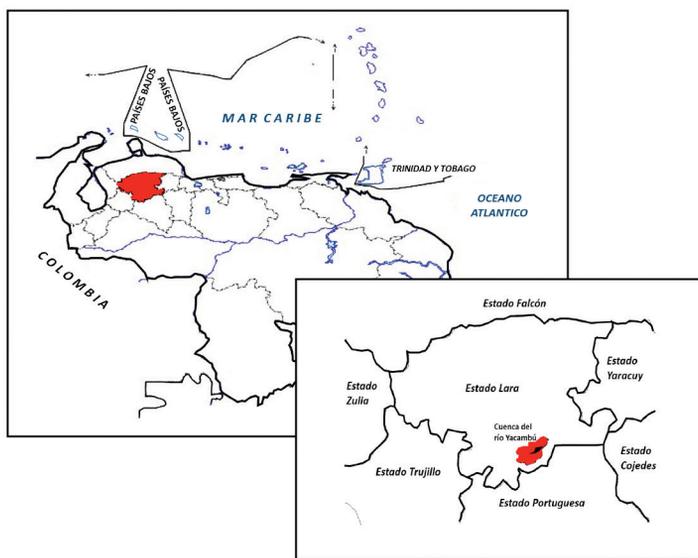


Figura 1. Localización general de la cuenca del río Yacambú, estado Lara, Venezuela.

Fuente: Elaboración propia.

La cuenca se ha dividido en 12 sectores o subcuencas, 4 de ellas localizadas en su margen derecha y las ocho restantes en la margen izquierda (tabla 1), (SHYQ C.A.- Unidad de Prestación de Servicios Forestales, Geográficos y Ambientales, 2005).

Tabla 1. Subcuencas en las dos vertientes del río Yacambú

Subcuenca o sector Vertiente derecha	Área (Km ²)	Subcuenca o sector Vertiente izquierda	Área (Km ²)
Las Quebraditas	29.28	Caspito-El Bajío	44.61
Los Palmares-Sabana Redonda	35.79	La Puente	26.76
Agua Blanca	21.47	Urupe	37.46
El Chorro-Cerro Blanco	31.15	Quebrada Negra	18.33
		Quebrada Blanca	18.72
		La Gran Parada	6.67
		La Escalera	18.16
		Quebrada Honda	38.01

Fuente: Elaboración propia.

Los diques, contradiques y traviesas se han construido en las nacientes de las subcuencas quebrada Negra, quebrada Blanca, La Escalera y quebrada Honda, ubicadas en la vertiente izquierda del río Yacambú, en zonas con relieve abrupto, filitas carbonosas muy inestables y erosividad mayor de 8.000 MJ (megajoules) /ha/mm/año, lo que ciertamente le confiere a estos terrenos una alta torrencialidad. En las quebradas mencionadas ocurre una alternancia entre tramos estables e inestables. Los tramos estables tienen rocas duras consolidadas, principalmente filitas silíceas, formando diques naturales con caídas de agua y gargantas (Ingenieros De Santis C.A., 1991; 1995; 2001).

Los trechos inestables discurren con gradientes mayores de 10%, sobre filitas carbonosas o depósitos de material poco consolidado, muy susceptibles a la socavación de fondo y lateral, que a su vez produce inestabilidad en las vertientes, deslizamientos y genera material sólido al río. También se localizan tramos de deposición natural donde se almacenan temporalmente volúmenes significativos de material sólido, que luego alimentan paulatinamente con sedimento fino el transporte de sólidos hacia aguas abajo. Las diferentes situaciones descritas permiten comprender la compleja dinámica torrencial de la cuenca hidrográfica del río Yacambú, facilitando el diseño de una estrategia adecuada para el control de la erosión y sedimentación.

2.- Metodología y materiales

Para lograr los objetivos se realizó una revisión detallada en el campo, recolectándose datos de cada dique. Se utilizaron un conjunto

de planillas, tomando como referencia el trabajo desarrollado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, (FAO, 1981) con la finalidad de sistematizar la información sobre localización, objetivos, dimensiones, daños sufridos por cada dique, funcionalidad y efectos logrados (tablas 2, 3, 4, 5, 6 y 7). Las variables señaladas se fijaron en función de la opinión de grupos de expertos y revisión de literatura sobre valoración de daños en obras de control de torrentes. Igualmente, se revisaron fotografías aéreas, mapas, planos y se realizaron entrevistas y reuniones con el personal técnico del SHYQ C.A quienes habían participado en la construcción de los diques. La información sobre estabilidad de las laderas, previa a la construcción de los diques, fue obtenida en entrevistas a personas conocedoras de la situación inicial y por revisión de proyectos. Los diques se numeraron siguiendo la nomenclatura sugerida por el SHYQ C.A., de aguas arriba hacia aguas abajo, con los códigos D_1 , D_2 , D_3 , D_n .

Tabla 2. Localización y cronología

Quebrada o río		Tributario a:	
Tipo de obra		Código SHYQCA	
UTM Norte		Altitud	
UTM Este			
Fecha de inicio		Fecha finalización	
Edad		Emp. Constructora	
Ing. Inspector		Ing. Residente	
Costo Bs.			
Fecha mantenimiento (s)		Propósito	
Costo Bs.			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. Objetivos perseguidos (entrevistar y/o documentar)

Objetivos (de la obra específica y del sistema de obras)	
Situación inicial de inestabilidad de laderas	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4. Dimensiones. Fotos N° (___)

Materiales de construcción		Ancho de cauce		Espesor en la base	
Socavación actual		Altura de caída actual		Base menor de la sección de flujo	
Espesor en la corona		Altura de la sección de flujo		Longitud de las alas	
Base mayor de la sección de flujo		Profundidad de fundamento		Longitud entre el dique y el contradique	
Inclinación paramento aguas abajo		Inclinación paramento aguas arriba			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5. Daños a la estabilidad Fotos N° (___) (Ver clave de código)

Causas	ELEMENTOS					
	Fundamento	Cuerpo (incluyendo paramento aguas abajo)	Sección de flujo	Alas	Estribos	Total de puntos
Socavación de fondo						
Socavación lateral						
Asentamiento diferencial						
Daños por choques e impactos súbitos						
Desgaste progresivo por fricción y oxidación						
Total de puntos						
Conclusión:						

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6. Funcionabilidad en cuanto a retención

Función	Altura	Pendiente de compensación	Longitud de la cola	Ancho medio	Volumen retenido actual
Retención directa (dique de retención)					
Retención por dique de consolidación					

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7. Funcionabilidad en cuanto a estabilización de vertientes

Función	Área estabilizada			Volumen estabilizado actual	Estabilización total o parcial
	Largo	Ancho	Espesor medio		
Estabilización por diques de consolidación o traviesas.					

Fuente: Elaboración propia.

La evaluación de las estructuras se realizó en el campo, vía la cuantificación de porcentajes de daños observados en los diferentes componentes de las estructuras, la medición en centímetros o metros de elementos indicadores del deterioro, e igualmente se establecieron escalas de puntuaciones de daños observados al estado general de las obras. En las tablas 8 y 9 se muestran el conjunto de valores diseñados para el proceso de evaluación.

Tabla 8. Información general

Tipo de obra						
Tipo	Dique	Contradique	Traviesas	Espolón	Rampa	
Código	D	CD	T	E	R	
Material de construcción						
Tipo	Concreto ciclópeo	Concreto armado	Mampostería hidráulica	Mampostería gavionada	Madera	Otro
Código	CC	CA	MH	MG	M	O
Altura del dique						
Tipo	Bajo	Medio	Alto			
Código	< 2 m	2 – 10m	> 10m			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9. Sobre daños a la estabilidad

Profundidad media de socavación de fondo actual (m)				
Dimensión	0m	0 – 0.5 m	0.5 – 1m	> 1.1m
Código	0	1	2	3
Profundidad media de socavación lateral (m)				
Dimensión	0m	0 – 0.5m	0.5 – 1 m	> 1.1m
Código	0	1	2	3
Asentamiento diferencial (número de grietas /m²)				
Dimensión	No existen grietas	1 – 2	3 – 4	> 4
Código	0	1	2	3
Área dañada (%) por choque e impactos súbitos, malla oxidada o removida en la sección de flujo				
Dimensión	0	1 – 10	11 – 30	> 30.1 (%)
Código	0	1	2	3
Área dañada (%) por choque e impactos súbitos, malla oxidada o removida en las alas				
Dimensión	0	1 – 10	11 – 30	> 30.1 (%)
Código	0	1	2	3
Área dañada (%) por desgaste progresivo en el cuerpo del dique				
Dimensión	0	1 – 10	11 – 30	> 30.1 (%)
Código	0	1	2	3
Área dañada (%) por desgaste progresivo en la sección de flujo				
Dimensión	0	1 – 10	11 – 30	> 30.1 (%)
Código	0	1	2	3
Estado general de la obra				
Condición	Muy buena	Buena	Regular	Mala
Daños	Sin daños	Daños leves	Destrucción parcial	Destrucción total
Puntuación	0	1 – 6	7 – 12	> 13
Código	0	1	2	3

Fuente: Elaboración propia.

3.- Resultados y discusión

3.1- Inventario de obras y su localización

Se identificaron 33 diques, 21 contradiques, 29 traviesas y 1 espigón, lo que suma 84 obras localizadas en las subcuencas y torrentes indicados en la tabla 10. Se concluye que ha existido un esfuerzo significativo en la construcción de obras de control de torrentes, siendo una de las cuencas hidrográficas en Venezuela que tiene más obras de este tipo. Se han ejecutado obras en 9 torrentes, correspondientes a 4 subcuencas. La mayoría de las obras (83%) se localizan en los torrentes quebrada Blanca, nacientes de quebrada Honda y quebrada La Negra.

Tabla 10. Número de diques, contradiques y traviesas construidas por SHYQ C.A. en la cuenca del río Yacambú

Subcuenca	Torrente	Diques	Contradiques	Traviesas	Espigones	Total
Quebrada Negra	Q. El Amparo	1	1	-	-	2
	Q. Negra	1	-	-	-	1
Quebrada Blanca	Q. Blanca	12	5	4	-	21
La Escalera	Q. La Concha	2	2	2	-	6
	Q. La Negra	5	3	13	1	22
	Q. La Escalera	1	1	-	-	2
Quebrada Honda	Q. Las Morochas	3	2	-	-	5
	Q. Las Rosas	2	1	2	-	5
	Nacientes Q. Honda	6	6	8	-	20
Total		33	21	29	1	84

Fuente: Elaboración propia.

3.2. Análisis por subcuencas

3.2.1.- Subcuenca quebrada Negra

Es una unidad hidrográfica que tiene características distintivas en toda la cuenca del río Yacambú. Casi toda su área está cubierta por bosque natural y por bosque en recuperación, después de ser decretada como área del Parque Nacional Yacambú en 1962. Se trata de un caso interesante, donde se demuestra la utilidad de una figura legal de protección en la recuperación del ecosistema boscoso y su influencia en el mejoramiento del régimen hidrológico. Sus crecidas son de color negro por la alta concentración de sedimentos provenientes de las filitas carbonosas que cubren buena parte del sector medio. La alta inestabilidad geológica produce abundante material sólido en el cauce con tramos largos de deposición temporal. Recibe la escorrentía de quebrada Blanca en la cota 780 msnm, siendo esta última una corriente hídrica que en su sector superior manifiesta crecidas con pocos sedimentos. Para el presente estudio, las quebradas Blanca y Negra son tratadas como unidades hidrológicas separadas, ya que la cola del futuro embalse llegará a la

confluencia de ellas y las separará. En la subcuenca quebrada Negra existen solamente 2 diques, uno en el torrente El Amparo y el otro en el cauce de la propia quebrada Negra.

Torrente: El Amparo

•**Dique 1 (QN/QEAD₁)**

El dique QN/QEAD₁ está localizado en un pequeño torrente, afluente de quebrada Negra, llamado por los lugareños como quebrada El Amparo. Allí se construyó, en el año 2002, un dique de consolidación con su respectivo contradique. Las obras tenían el propósito de estabilizar una ladera inestable que amenazaba directamente la calzada de la vía Sanare-La Gran Parada, en el sitio denominado “La Pantalla”. Este dique se localiza en las coordenadas UTM Este 435216 y UTM Norte 1073489, a 1709 msnm. El material de construcción es de gaviones (malla Macaferri), con estribos y sección de flujo en mampostería hidráulica. La altura del dique es de 2,00 m, tiene una sección trapezoidal compuesta. El dique en general se encuentra en buen estado. No presenta grietas, no existen losas partidas, ni la malla metálica está rota. Tampoco existen erosiones laterales en sus estribos, los resultados de la evaluación de daños indican un desgaste progresivo “leve” por fricción y oxidación en la sección de flujo. El dique QN/QEAD₁ es de consolidación y ha cumplido sus objetivos con mucha efectividad. Es evidente la recuperación en la estabilidad y el cubrimiento vegetal de la ladera, que ya no tiene la criticidad previa, indicada por los concedores del área. Este dique ha permitido que la carretera mantenga el tránsito permanente, lo cual es de alto valor estratégico para las actividades de construcción del túnel de trasvase y para la vida económica de las comunidades conectadas por esta vía. No es un dique de alta impacto que permita disminuir significativamente el volumen de arrastre hacia el futuro embalse.

Torrente: quebrada Negra

•**Dique 1 (QND₁)**

Esta obra es el único dique de retención construido en la cuenca del río Yacambú; su objetivo principal era promover una cuña larga

de sedimentación aprovechando una garganta de estribos rocosos sólidos. Además, logró elevar el nivel base de la quebrada y proyectar su influencia hacia agua arriba. Se encuentra ubicado en el cauce de quebrada Negra en un sitio aguas arriba de la confluencia con quebrada La Canoa y aguas abajo de la confluencia del pequeño torrente El Amparo con quebrada Negra, en la cota 1536 msnm. Es el dique más alto que actualmente existe para control de torrente en la cuenca del río Yacambú. Las coordenadas de su localización son UTM Este 435577 y UTM Norte 1072610. Tiene 10,00 m de altura de caída, con funciones específicas de retención de sedimentos. Fue construido en mampostería hidráulica en el año 2002. El dique tiene el paramento exterior escalonado y sección de flujo compuesta. Los muros laterales construidos aguas arriba, con el fin de evitar erosiones en los estribos, significaron un elevado volumen de obra, y por consiguiente aumentaron el costo de ejecución. Este dique de retención cumple una función muy importante y ha sido efectivo, ha retenido unos 8.000 m³ de material sólido, con una cola de sedimentación de aproximadamente 150,00 m de largo. Tiene el paramento aguas abajo escalonado. El dique se encuentra en buen estado, sin grietas ni erosiones laterales en sus estribos pero la traviesa está totalmente socavada; afortunadamente, existe un dique natural rocoso que lo protege; debe ser inspeccionado anualmente, el resultado de la evaluación indica que no se observó ningún tipo de daño a los elementos del dique. Los sitios de los diques QN/QEAD₁ y QND₁ no tienen accesibilidad directa por carretera. Se ha tratado de mantener así, para evitar riesgos de invasión, ya que se trata de un Parque Nacional. En cuanto a la funcionalidad y efectos logrados, se puede establecer que, el dique en la quebrada El Amparo ha cumplido el objetivo perseguido y además ha asegurado la transitabilidad por ese sitio crítico de la vía Sanare - La Gran Parada. Ha demostrado la utilidad práctica de este tipo de obra, en la estabilización de movimientos en masa que afectan carreteras, pero no es un dique de alta significación, en términos de disminuir el material sólido hacia el futuro embalse.

3.2.2.- *Subcuenca quebrada Blanca*

Aquí se inició en el año 1992 la construcción de diques en el sector medio - superior del cauce principal, constituyéndose en el modelo original para observar el comportamiento de las obras y luego, ejecutar otras en torrentes vecinos. Actualmente, es el torrente con mayor longitud de tratamiento con diques en toda la cuenca del río Yacambú. En el cauce principal de quebrada Blanca se han construido hasta el presente 12 diques de consolidación, 5 contradiques y 4 traviesas. Los diques son 10 de mampostería hidráulica y 2 de mampostería gavionada.

•Dique 0 (QBD₀)

Fue construido en mampostería hidráulica en el sitio de coordenadas UTM Este 436100 y UTM Norte 1073901, a una altitud de 1640 msnm. Tenía el propósito de estabilizar un deslizamiento y desviar el flujo hacia la margen izquierda, para evitar su impacto en un área inestable. El dique tiene actualmente una socavación de 0,50 m y no tiene profundidad de fundamento, presenta daño fuerte (calificación 3) en el cuerpo, sección de flujo y alas. Tiene daños moderados (calificación 2) en el fundamento y estribos. El espesor en la corona es de 1,20 m. El resultado indica que este dique se encuentra casi totalmente destruido. El deslizamiento vecino aún no se ha estabilizado, ya que el dique falló por su flanco derecho. Actualmente, parte de la estructura del dique destruido desvía el flujo hacia la zona fallada ubicada en la margen izquierda de la quebrada. Esta situación obliga al curso del torrente a desplazarse por una estrecha sección, socavando la base del deslizamiento. Por otra parte, en la zona basal inferior (aguas abajo) presenta un pequeño proceso de socavación que no es conveniente para la estabilización de la masa.

•Dique 1 (QBD₁)

El dique 1 está localizado en las coordenadas UTM Este 436127 y UTM Norte 1073897 a una altitud de 1627 msnm. Fue construido en mampostería hidráulica con el propósito de brindar estabilidad a un deslizamiento presente en dicho sitio. Tiene una altura de caída

de 5,50 m y espesor en la corona de 0,80 m. La sección de flujo es trapezoidal con 14,00 m en su base mayor, 12,00 m en su base menor y 1,00 m de altura. El ala derecha tiene una longitud de 3,20 m y la izquierda de 6,00 m. La inclinación en el paramento aguas abajo es escalonada y vertical aguas arriba. Es un dique con sólo daños leves (calificación 1) producidos por impactos súbitos y por desgaste en el paramento aguas abajo del cuerpo y la sección de flujo. La estructura de protección al dique presenta daños que deben ser corregidos. Es una obra de protección ubicada muy cerca del dique principal. La cuña de azolvamiento del dique tiene una longitud de 60,00 m y una pendiente de compensación de 9%. El ancho medio de esa cuña es de 20,00 m.

•Dique 2 (QBD₂)

El dique 2 se localiza en la coordenada UTM Este 436195 y UTM Norte 1073881 a una altitud de 1.600 msnm. El dique tiene 5,00 m de altura con 0,90 m de espesor en la corona. Está construido en mampostería hidráulica. La sección de flujo es trapezoidal, con una base menor de 11,70 m y base mayor de 14,0 m. La sección de flujo tiene una altura de 1,00 m. El ala derecha tiene 20,00 m de longitud y la izquierda 11,00 m. Existe una obra de protección escalonada adosada al cuerpo del dique. El dique tiene problemas calificados como leves (calificación 1), vinculados con asentamiento diferencial en el cuerpo y desgaste en el paramento aguas abajo del cuerpo. Esta obra ha generado un azolvamiento de 83 m de longitud y 30 m de ancho con una pendiente de compensación del 6%.

•Dique 3 (QBD₃)

Se localiza en la coordenada UTM Este 436562 y UTM Norte 1073719, a una altitud de 1.580 msnm. Su altura de caída actual es de 2,50 m con un espesor en la corona de 1,00 m. La sección de flujo es trapezoidal con 1,00 m de altura, base menor de 12,00 m y base mayor de 15,00 m. El ala derecha tiene una longitud de 2,40 m y el ala izquierda 6,00 m. El dique presenta asentamiento diferencial leve (calificación 1) en su cuerpo. La protección construida aguas abajo tiene pequeños daños por impacto y desprendimiento de rocas. Es un dique que está orientado adecuadamente, de acuerdo al

eje de regulación. La pendiente de compensación detrás del dique es de 5%, con una cola de longitud de 85,00 m y un ancho medio de 25,00 m.

•Dique 4 (QBD₄)

Se ubica en la coordenada UTM Este 436562 y UTM Norte 1073719 a una altitud de 1.535 msnm. Fue construido en mampostería hidráulica y tiene una altura de 6,50 m. La corona tiene un espesor de 1,40 m. La sección de flujo es trapezoidal con una base menor de 11,80 m, una altura de la sección de flujo de 1,00 m y 13,50 m en la base mayor. La obra de protección adosada al cuerpo del dique es escalonada y está socavada con 1,00 m de profundidad. El dique presenta daños leves (calificación 1) en su cuerpo por desgaste progresivo por fricción y oxidación. Esta obra ha generado un pequeño volumen de sedimentación que tiene una cola de 74,00 m y 25,00 m de ancho. La pendiente de compensación es 1%.

•Dique 5 (QBD₅)

El dique QBD₅ se ubica en la coordenada UTM Este 436876 y UTM Norte 1073620, a una altitud de 1.524 msnm. Tiene 6,00 m de altura y 1,00 m de ancho de espesor en la corona. Se detecta una socavación actual de 1,00 m en su fundamento. La sección de flujo es trapezoidal al igual que los otros diques, con una altura de 1,00 m, una base menor de 11,00 m y una base mayor de 13,50 m. El ala derecha tiene una longitud de 4,00 m al igual que el ala izquierda. Este dique tiene el paramento aguas abajo escalonado y vertical aguas arriba. No tiene ninguna obra de protección aguas abajo. La evaluación de daños al dique, indica una calificación de daños leves (calificación 1), en el fundamento, cuerpo y sección de flujo. Se observa desgaste por fricción en los escalones del paramento aguas abajo. La pendiente de compensación es de 3% con una longitud de 60.00 m y 30.00 m de ancho.

•Dique 6 (QBD₆)

Se localiza en las coordenadas UTM Este 437242 y UTM Norte 1073648, a una altitud de 1.454 msnm. Fue construido en mampostería hidráulica con una altura de 4,50 m y un espesor de

corona de 1,00 m. La sección de flujo es doble trapezoidal con una base menor de 5,80 m y una base mayor de 9,00 m, la altura de la sección de flujo es 1,00 m. El paramento aguas abajo es escalonado y vertical aguas arriba. El ala derecha posee una longitud de 9,50 m y la izquierda de 6,00 m. Tiene un contradique localizado 11,00 m aguas abajo. Este dique no presenta problemas en su estabilidad según la escala de evaluación. Ha generado una cola de sedimentación de 20,00 m de largo con una pendiente de compensación de 1%.

• **Dique 7 (QBD₇)**

El dique QBD₇ se encuentra a una altitud de 1.422 msnm, en las coordenadas UTM Este 437393 y UTM Norte 1073535. Es un dique de consolidación construido en mampostería de gavión, con una altura de 4,00 m y 1,00 m de espesor en la corona. Tiene una traviesa localizada 14,00 m aguas abajo. En la inspección no se detectó la presencia de problemas de estabilidad de acuerdo a la escala de valoración aplicada, por lo que no requiere acciones de mantenimiento en este momento.

• **Dique 8 (QBD₈)**

Se localiza en las coordenadas UTM Este 437474 y UTM Norte 1073418 a una altitud de 1.420 msnm. El dique sufrió volcamiento; su contradique y traviesa eran de gavión y fueron destruidos en su totalidad. La evaluación indica una situación de daños fuertes (calificación 3).

• **Dique 9 (QBD₉)**

Este dique se localiza a 1.400 msnm en la coordenada UTM Este 437570 y UTM Norte 1073374. Fue construido en mampostería hidráulica, con 4,50 m de altura y 1,10 m de espesor de corona. El paramento aguas abajo es escalonado y vertical aguas arriba. La sección de flujo es doble trapezoidal o compuesta de 1,00 m de alto con la base mayor de 9,00 m y la menor de 5,00 m. Las alas tienen 3,50 m a la derecha y 6,00 m a la izquierda. El dique posee un contradique y una traviesa en mampostería hidráulica. El contradique está ubicado a 10,00 m aguas abajo del dique. En general, el dique se encuentra en buenas condiciones, sólo con daños leves asociados

al desgaste en el paramento aguas abajo, debido a la acción de la lámina vertiente (calificación 1).

La pendiente de compensación es de 2% generando una cola de sedimentación de 50,00 m que empalma con el dique 8, lo que indica un escalonamiento óptimo. El ancho medio de la cuña de azolvamiento es de 35,00 m.

•Dique 10 (QBD₁₀)

Se localiza a una altitud de 1.382 msnm en las coordenadas UTM Este 437653 y UTM Norte 1073360. Tiene 3,00 m de altura y fue construido en mampostería hidráulica. El paramento aguas abajo es escalonado y vertical aguas arriba. La sección de flujo es doble trapezoidal o compuesta con 1,00 m de altura. Tiene 5,00 m en la base menor y 9,00 m en la base mayor. La longitud de las alas a la derecha es 7,00 m y 8,00 m, a la izquierda. La evaluación indica que presenta daños leves (calificación 1), en el cuerpo por asentamiento diferencial, y sección de flujo del dique por desgaste progresivo por fricción y oxidación. Posee un contradique y una travesía con problemas menores de asentamiento y desgaste. La cola de sedimentación es de 46,00 m con un ancho medio de 30,00 m y una pendiente de compensación de 1%.

•Dique 11 (QBD₁₁)

El último dique localizado en el sentido aguas abajo en quebrada Blanca, es el codificado como (QBD₁₁). Está ubicado a una altitud de 1.380 msnm, con las coordenadas UTM Este 437759 y UTM Norte 1073277. Es un dique de consolidación bajo de 3,50 m de altura de caída, construido en mampostería hidráulica. El paramento aguas abajo es escalonado y vertical aguas arriba. La sección de flujo es trapezoidal compuesta. Este dique presenta daños leves (calificación 1) por desgaste en el paramento aguas abajo del cuerpo, asociado a la caída de la lámina vertiente. Tiene un sólo contradique situado a 6,00 m de separación. La cola de sedimentación es pequeña, sólo de 32,00 m con un ancho medio de 15,00 m y 2% de pendiente de compensación.

En conclusión, en quebrada Blanca existen 12 diques de consolidación, 5 contradiques y 4 traviesas para un total de 21 obras. Diez diques son de mampostería hidráulica y dos gavionada. Todos perseguían el objetivo de estabilizar laderas inestables que presentaban movimientos de masa. La estrategia de control fue la colocación selectiva de diques, localizándolos en sitios donde ocurrían movimientos en masa que se deberían estabilizar, mediante cuñas de sedimentación. Esta estrategia de resolver el problema de la inestabilidad de las laderas consiguió los objetivos deseados. Las obras han funcionado adecuadamente para estabilizar los tramos tratados. Además, su ejecución sirvió para adquirir experiencia en diseño y construcción de diques y para perfeccionar el diseño de diques en otras subcuencas vecinas. Diez de los 12 diques construidos están funcionando adecuadamente pero el D_0 y D_8 colapsaron, y se encuentran con daños fuertes.

En cuanto a los efectos logrados, vale la pena resaltar que los diques D_1 , D_2 y D_3 perseguían el objetivo de consolidar las vertientes inestables que existían en ese tramo. Se constató que efectivamente, casi todos los procesos de movimientos en masa fueron detenidos, a excepción del deslizamiento aguas arriba de los diques D_1 y D_2 . Este deslizamiento se encuentra relativamente estabilizado, pero podría reactivarse por un evento lluvioso extraordinario o por una crecida excepcional que socave la base del mismo. Los diques D_4 , D_5 , y D_6 tenían el objetivo de controlar focos de erosión localizados en la margen derecha, aguas arriba de los sitios en que se construyeron. Arriba del D_5 existía un sitio con erosión que se medía periódicamente. El tramo tratado ahora es estable, adicionalmente se ha logrado proteger la vía Sanare-La Gran Parada. Los 5 diques ejecutados aguas abajo del puente en la vía Sanare-La Gran Parada han cumplido su objetivo de estabilización, excepto el D_8 que se encuentra totalmente dañado. En la tabla 11, se muestra el resumen de los diferentes valores obtenidos en la evaluación de los daños, en los diques de las subcuencas quebrada La Negra y Blanca. Se destaca que en la quebrada Blanca existen dos diques, el dique QBD_0 y el QBD_8 con daños fuertes nivel 3, de acuerdo a la escala de valoración diseñada.

Tabla 11. Resumen con resultados de la evaluación de daños en los diques de las subcuencas quebrada Negra y Blanca

Descripción	ELEMENTOS				
	Fundamento	Cuerpo (incluyendo paramento aguas abajo)	Sección de flujo	Alas	Estribos
Subcuenca quebrada Negra					
Torrente: El Amparo					
<i>Dique (QN/QEAD₁)</i>	0	0	1	0	0
Torrente: quebrada Negra					
<i>Dique (QND₁)</i>	0	0	0	0	0
Subcuenca quebrada Blanca					
<i>Dique (QBD₀)</i>	2	3	3	3	2
<i>Dique (QBD₁)</i>	0	1	1	0	0
<i>Dique (QBD₂)</i>	0	1	0	0	0
<i>Dique (QBD₃)</i>	0	1	0	0	0
<i>Dique (QBD₄)</i>	0	1	0	0	0
<i>Dique (QBD₅)</i>	0	1	1	0	0
<i>Dique (QBD₆)</i>	0	0	0	0	0
<i>Dique (QBD₇)</i>	0	0	0	0	0
<i>Dique (QBD₈)</i>	3	3	3	3	3
<i>Dique (QBD₉)</i>	0	1	0	0	0
<i>Dique (QBD₁₀)</i>	0	1	0	0	0
<i>Dique (QBD₁₁)</i>	0	1	0	0	0

Fuente: Elaboración propia.

3.2.3.- Subcuenca quebrada La Escalera

La subcuenca quebrada La Escalera drena actualmente a la quebrada Honda, pero en el futuro desaguará por separado directamente al embalse. Tiene en su parte superior un drenaje dendrítico, siendo las dos ramas principales, al Este, la quebrada La Concha y al Oeste, quebrada La Negra. Cuando ellas se unen, a una altitud de 950 msnm, forman la quebrada La Escalera. La zona de recepción del torrente y toda la margen derecha pertenece al Parque Nacional Yacambú. Se encuentra cubierta con bosque con

diferentes condiciones de intervención. Las vertientes son inestables por lo que durante los aguaceros se arrastran grandes volúmenes de sedimentos. Es una de las zonas más críticas, desde el punto de vista geológico y geomorfológico.

Torrente: Quebrada La Concha

El tratamiento aplicado en La Concha ha sido de 2 diques de consolidación, 2 contradiques y 2 traviesas para un total de 6 obras.

• **Dique 1 (QE/QCD₁)**

El dique (QE/QCD₁) fue construido en mampostería de gaviones el año 1999 y concluido en el 2000. Se ubica a una altitud de 1.500 msnm, en las coordenadas UTM Norte 1076501 y UTM Este 441487. Su propósito principal fue la consolidación de un movimiento en masa localizado en la margen derecha. Tiene 4,00 m de altura de caída y 1,50 de profundidad del fundamento. La altura de la sección de flujo es de 0,80 m. La sección de flujo es compuesta, con una base menor de 4,50 y una base mayor de 8,50. El paramento aguas abajo es vertical y aguas arriba, escalonado. El espesor en la base es de 6,00 m. El cuerpo central del dique tiene un ancho de 18,00 m, el ala derecha una longitud de 10,50 m y la izquierda 8,80 m. Entre el dique y su próximo contradique existe una distancia de 7,00 m. Es una obra que presenta daños fuertes (calificación 3), por choques en la sección de flujo y en el ala derecha por desborde de la quebrada durante crecidas al momento en que se construía. La malla en un sector del cuerpo del dique está oxidada a punto de romperse. El dique presenta daños leves (calificación 1) por asentamiento diferencial y desgaste progresivo por fricción y oxidación. El asentamiento diferencial ha sido atenuado por los gaviones que son estructuras flexibles para solventar las diferencias en el asentamiento. El dique está protegido por un contradique y 2 traviesas. Ha estabilizado en la ladera un sector con un largo de 100,00 m y un ancho de 6,00 m. La pendiente de compensación de la cola de sedimentación es 5% y 70,00 m de longitud con ancho medio de 20,00 m. El volumen retenido estimado es 4.900 m³. El dique se encuentra orientado adecuadamente, de acuerdo al eje de

regulación. El contradique 1 tiene problemas en el ala derecha, debido a desborde de una crecida. La malla está oxidada. Tiene problemas de asentamiento. La traviesa 1 está destruida por los daños asociados a crecidas fuertes. Se localiza a 4,00 m aguas abajo del contradique 1. Fue ejecutada originalmente en mampostería gavionada y se reconstruyó en mampostería hidráulica. Existe una segunda traviesa de 1,00 m de altura, (o mejor llamar contradique) sin fundación, localizada a 21,00 m aguas abajo de la traviesa 1, tiene la malla en buen estado. Es una traviesa que no tiene ningún efecto sobre la consolidación de las tres estructuras localizadas aguas arriba. El reconocimiento de campo efectuado permitió concluir que el tramo influenciado por los efectos del dique QE/QCD₁ muestra estabilidad, habiéndose reducido la amenaza de transporte de sólidos, pero ciertamente, se trata de un sector geomorfológicamente muy activo.

• Dique 2 (QE/QCD₂)

El dique 2 se localiza a 1.339 msnm en la coordenada UTM Norte 1075685 y UTM Este 441553; fue construido en mampostería gavionada y se terminó en el año 2001. El propósito de este dique al igual que el anterior, fue estabilizar deslizamientos, que en este sitio existía a ambos lados del cauce. El dique tiene una altura de caída de 5,00 m. La altura de la sección de flujo es de 0,80 m. La sección de flujo es trapezoidal doble o compuesta con una base menor de 7,00 m y una base mayor de 10,80 m. El paramento aguas abajo es vertical y aguas arriba, escalonado. El ala derecha tiene una longitud de 6,00 m y la izquierda de 7,00 m. Entre el dique y su contradique existe una distancia de 8,00 m. Es un dique que tiene problemas de socavación en el fundamento presentando daños a nivel moderado (calificación 2). El resto de los elementos no presentan problemas en su estabilidad. Una parte del sector se encuentra estabilizado. El área que se ha logrado controlar en la vertiente es pequeña, estimando una superficie de 400 m². La pendiente de compensación es 5% con una cola de 20,00 m de longitud y un ancho medio de 17,00 m. El volumen retenido estimado es de 350 m³. Los diques no presentan grietas, ni losas partidas, ni mallas metálicas rotas,

ni erosiones laterales en sus estribos. Las obras se encuentran operando de manera efectiva. Existe un contradique que tiene socavación de 1,00 m. Amerita ser demolido y construido con una altura mayor que permita la refundación del dique principal. El tratamiento aplicado en la quebrada La Concha corresponde a diques construidos de manera aislada. Tienen, en general, poca profundidad de fundación con el agravante de existir una intensa actividad hidráulica de socavación. Los contradiques no tienen fundamento adecuado por lo que requieren acciones de mantenimiento.

Torrente: La Negra

Se construyeron 5 diques aislados junto con 5 contradiques, 9 traviesas y 1 espigón, con el propósito de consolidar las vertientes inestables debido a socavación de tipo lateral. La información recabada de los 4 primeros diques ubicados en la parte superior de este torrente se utilizó para diseñar la planilla de evaluación del estudio.

• **Diques 1 al 4 (QE/QLND₁) al (QE/QLND₄)**

El dique QE/QLND₁ tiene 4,00 m de altura, es de gavión y está en buen estado. Posee una traviesa y un contradique, construidos originalmente junto con el dique en el año 1992. Posteriormente, en el año 1997 fueron reemplazados por 2 traviesas. Han requerido continuo mantenimiento. El dique QE/QLND₂ fue construido en 1992 en gavión con disposición de las hiladas con escalonamiento hacia abajo. Tiene 4,00 m de altura, posee un contradique de 2,00 m de altura y 5 traviesas. El dique 2 podría contribuir a la salida del curso del torrente en una crecida excepcional, lo que produciría erosión intensa aguas abajo. El dique QE/QLND₃ también de gavión, posee menos laterales de protección tanto aguas arriba como aguas abajo en ambos estribos. El dique 3 se encuentra en la peor situación. Este dique requiere mantenimiento en su sección de flujo (vertedero) y en la parte central de la obra, ya que parte de la malla del gavión se ha roto, con todo que fue revestida con lajas de roca con mortero de cemento. Tiene 2 traviesas que, igualmente, requieren de

mantenimiento. Entre el dique QE/QLND₂ y QE/QLND₃, existe un espolón de gavión que se ha doblado (son estructuras flexibles que soportan estas deformaciones) pero, sigue funcionando bien. El dique QE/QLND₄ tiene 4,00 m de altura con unos laterales, posee un contradique y 3 traviesas aguas abajo, todos en buenas condiciones. En todas las obras se ha empleado como material de construcción mampostería hidráulica (roca con mortero de cemento) y mampostería de roca gavionada (comúnmente llamado gavión). Todos los diques cumplen una función de contención en sitios donde se ubicaba un movimiento de masa, generalmente de tipo deslizamiento, originado por socavación lateral principalmente. En cuanto a la arquitectura de los diques de gavión, a partir del año 1998 se cambió su diseño colocado el escalonamiento, gradas de las hiladas de cajas, hacia el paramento aguas arriba, dejando el paramento exterior (aguas abajo) recto. Esta situación es más favorable al evitar el roce y choque del material de arrastre (rocas, troncos, etc.) sobre la malla del gavión, evitando de esta forma su desgaste y posterior rotura. Sin embargo, las obras ya existentes con la configuración inicial de 1992, es decir, con escalonamiento hacia abajo, requieren de continuo mantenimiento. De forma acertada se recubren con lajas de roca unidas con mortero de cemento de hasta 20 a 30 cm de espesor en algunos casos, pero con el tiempo estas también colapsan.

- **Dique 5 (QE/QLND₅)**

El dique 5 fue construido en el año 1998 en el torrente La Negra. Se localiza a una altitud de 1.126 msnm, en las coordenadas UTM Norte 1074741 y UTM Este 441572. El objetivo fue estabilizar deslizamientos en ambas márgenes del sitio en referencia. Lo refuerza 1 contradique y 1 traviesa de gavión, en ambos casos de sección simple. Tiene una altura de caída de 4,00 m sin profundidad del fundamento. La altura de la sección de flujo es de 1,00 m. La sección es trapezoidal compuesta. La base menor de la sección de flujo inferior tiene 4,30 m y la mayor de 4,90 m. La sección trapezoidal superior mide 8,00 y 8,80 m. El paramento aguas abajo es vertical y aguas arriba es escalonado. Las

dimensiones del ala derecha son de 6,80 de longitud la izquierda de 6,00 m. La distancia entre el dique y el contradique es 5,00 m. El ala derecha sobresale del terreno natural, posiblemente por una sobreestimación de la altura en relación a la cota natural de terreno.

El dique presenta daños leves (calificación 1) en la sección de flujo ocasionados por choques e impactos. El resto de los elementos no presentan ningún daño. Existe el riesgo que una crecida mayor de desborde por esta margen. Existe un contradique de gavión, en ambos casos de sección simple. El contradique no está alineado con el eje de la corriente, tampoco guarda paralelismo con el dique principal. La traviesa se encuentra destruida por volcamiento. En general, se ha logrado estabilizar un área pequeña en la margen derecha. La pendiente de compensación es 4% con una cola de 17,00 m de longitud y un ancho medio de 7,00 m.

Torrente: Quebrada La Escalera

El torrente quebrada La Escalera se forma por la confluencia de los torrentes La Concha y La Negra. Pocos metros aguas abajo de su confluencia, se ha construido un dique de consolidación.

• **Dique 1 (QED₁)**

El dique QED₁ se localiza a una altitud de 1.001 msnm y coordenadas UTM Norte 1074521 y UTM Este 441966. Fue construido entre los años 2001 - 2002, lo que indica que ha estado en funcionamiento durante los últimos 3 años. El objetivo fue estabilizar deslizamientos en ambas márgenes de las laderas adyacentes al sitio de construcción. Es un dique de 4,00 m de altura de caída, el cual se construyó en mampostería hidráulica. La altura de la sección de flujo es 0,80 m con una sección de flujo trapezoidal doble o compuesta que tiene una base menor de 6,00 m y la base mayor de 9,40 m. El paramento aguas abajo es escalonado y aguas arriba es vertical. El ala derecha tiene una longitud de 18,00 m y la izquierda de 10,90 m. La distancia entre el dique y el contradique es 10,00 m. El dique tiene problemas

graves en su estabilidad, el fundamento tiene bastante socavación, ocurre asentamiento diferencial en el cuerpo del dique. La sección de flujo está dañada por choques e impactos, las alas también se encuentran deterioradas. Todo lo anterior indica que se trata de una obra en estabilidad riesgosa. Los valores resultantes de la evaluación de daños dieron como resultado una medición fuerte (calificación 3) en todos los elementos del dique: fundamento, cuerpo, sección de flujo, alas y estribos. El contradique está en buenas condiciones. El área que se ha logrado estabilizar en la vertiente es pequeña. La pendiente de compensación es 5% con una cola de 23,00 m de longitud y un ancho medio de 13,00 m. En conclusión, en la subcuenca La Escalera, que incluye, quebrada La Concha y La Negra, existen 8 diques, 7 contradiques, 15 traviesas y un espolón. El objetivo de estas obras fue estabilizar sitios geomorfológicamente muy activos. En cuanto a funcionalidad y efectos logrados a la presente fecha, especialmente en quebrada La Concha, se ha logrado la estabilización con efectividad, según fue observado en el terreno.

3.2.4.- Subcuenca quebrada Honda

Esta subcuenca tiene el tributario más caudaloso que llega al río Yacambú con un comportamiento de río torrencial por su caudal y carga de sedimentos. Está localizada en el extremo oriental de la cuenca, con la mayor pluviosidad y erosividad y con mucha inestabilidad geológica. El control de torrentes de la empresa (SHYQ C.A.), se ha orientado en los últimos años, hacia las nacientes de quebrada Honda, habiéndose construido 11 diques de consolidación, 9 contradiques y 9 traviesas en 3 tributarios: Las Morochas, Las Rosas y las nacientes de quebrada Honda.

Torrente: Las Morochas

En su cauce principal se han construido 3 diques de consolidación en mampostería hidráulica, cada uno de ellos con un contradique, excepto el D₂ que no lo tiene.

• **Dique 1 (LH/LMD₁)**

El dique tiene el código LH/LMD₁ y se ubica en las coordenadas UTM Norte 445150 y UTM Este 1077268 a una altitud de 1.052

msnm. Se justificó porque la margen izquierda del torrente tenía problemas con deslizamientos. Se construyó en el año 2002, en mampostería hidráulica. El dique LH/LMD₁ perseguía el propósito de consolidar vertientes inestables que existían en ese tramo y mitigar daños por sedimentación en el cruce con la vía La Escalera - Plan del Nuezal, tramo que ahora presenta una estabilización evidente en un área de 2.000 m² en cada margen. La altura de caída es de 3,00 m con un fundamento de 1,00 m. El espesor en la corona es de 1,00 m. La sección de flujo es de tipo trapezoidal compuesta. El trapecio inferior tiene 3,80 m en la base menor y 4,90 en la base superior. El trapecio superior tiene dimensiones de 5,90 y 6,90 m, respectivamente. La altura total de la sección de flujo es de 1,00 m. El ala derecha es 4,40 m y la izquierda 0,50 m que conecta directamente con un estribo rocoso. El paramento aguas arriba, al igual que el dique anterior, es vertical y aguas abajo, escalonado. A 11,00 m aguas abajo de este dique, está construido un contradique que tiene las funciones de protección contra la socavación de fondo. La evaluación del dique, indica que la obra sólo tiene problemas moderados (calificación 2) en el cuerpo, vinculados al desgaste progresivo en el paramento aguas abajo, asociado al impacto de las rocas en los momentos de crecidas sobre el paramento escalonado. El primer escalón tiene daño en un 25%. El escalón correspondiente a la fundación presenta daños en un 75%, lo que sugiere que sea incorporado en un futuro plan de mantenimiento de las obras. El dique se encuentra en buen estado, sólo con daños leves. Tiene buena orientación de acuerdo al eje de regulación y no presenta problemas de socavación ni de asentamiento. La pendiente de compensación de 2% y una cola de 105,00 m. Se estima un volumen retenido de 2.200 m³. En cuanto a las vertientes se observa que hay un control del deslizamiento de la margen izquierda, la cual se encuentra ya estabilizada, en una superficie estimada de 3.100 m². La estabilización tiene efectos directos sobre una superficie mayor en toda la vertiente. El dique posee un contradique de sección de flujo trapezoidal compuesta con una altura de caída de 1,00 m. El tirante tiene 1,00 m. El paramento aguas arriba es vertical y aguas abajo es escalonado.

No presenta ningún problema en cuanto a su estabilidad actual y está cumpliendo adecuadamente la función de reforzar el fondo del cauce para evitar socavación del dique principal.

• **Dique 2 (LH/LMD₂)**

El dique LH/LMD₂ cuyo código es LH/LMD₂ se localiza en las coordenadas UTM Norte 1077135 y en las coordenadas UTM Este 445515 a una altitud de 1.022 msnm. Su objetivo principal era la estabilización de la vertiente en la margen izquierda, que estaba en situación de inestabilidad en una longitud aproximada de 100,00 m, y la protección de la carretera hacia La Escalera y el Plan del Nuezal. Actualmente el deslizamiento se encuentra consolidado, inclusive con un efecto favorable sobre una superficie mayor. Fue construido en mampostería hidráulica el año 2002. Tiene una altura de caída de 6,00 m con una profundidad del fundamento de 1,00 m. El espesor en la corona es de 1,00 m. La sección de flujo es de tipo trapezoidal compuesta, siendo la base menor de 4,00 m que abre hasta 5,00 con una altura de la sección de flujo de 0,50 m. La sección trapezoidal superior tiene una base menor de 7,00 m y una base mayor de 8,00 m, con una altura de la sección de flujo de 0,50 m. La longitud del ala izquierda es 3,60 m y del ala derecha 10,00 m. El paramento aguas arriba es vertical y aguas abajo es escalonado. No tiene contradique, ya que existe un tramo rocoso inmediatamente aguas abajo. La estabilidad actual del dique, aplicando la planilla diseñada, indican que el dique presenta daños leves (calificación 1) en su cuerpo por desgaste progresivo por fricción y oxidación, asociado a la fricción y con impacto sobre los escalones del paramento aguas abajo. Como se observa, el dique no tiene problemas de socavación ni de fondo ni lateral. Tampoco presenta problemas de asentamiento. Se encuentra orientado según el eje de regulación; en general, el dique está en buenas condiciones. Es un dique de consolidación que ha generado una pendiente de compensación de 2% y una cola de sedimentación de 208,00 m. El volumen estimado retenido directamente por el dique es de 6.000 m³. Este dique que tiene una función de consolidación, ha logrado estabilizar en forma directa en cada margen un área de 2.000 m² que ha contribuido

a consolidar las vertientes en un 100%, las cuales se encuentran recuperadas por vegetación secundaria. Se ha logrado también la protección de la vía.

• **Dique 3 (LH/LMD₃)**

En la cercanía de la confluencia de quebrada Las Morochas con quebrada Las Rosas existe un pequeño tributario llamado "Jacinto". En este torrente fue construido un pequeño dique de consolidación de 3,00 m de altura en mampostería hidráulica que tuvo el propósito de estabilizar un deslizamiento pequeño en la margen derecha. Esta obra se encuentra en buenas condiciones de estabilidad y funcionalidad y ha contribuido a consolidar a la pequeña ladera frágil, presentando ningún daño (calificación 0).

Torrente: Las Rosas

En este torrente tributario a quebrada Honda, se han construido 2 diques de consolidación, 1 contradique y 1 traviesa.

• **Dique 1 (LH/QLRD₁)**

El dique un LH/QLRD₁ se localiza en las coordenadas UTM Este 446016 y UTM Norte 1078105, a una altitud de 1.183 msnm construido en mampostería gavionada. Tiene una altura de caída de 6,00 m con un fundamento de 1,00 m. La corona es de 1,00 m. La sección de flujo es de tipo trapezoidal compuesta. El trapecio inferior es de 8,00 m en la base menor y 9,00 en la superior. Las dimensiones del trapecio superior son de 11,00 y 12,00 m respectivamente. La altura total de la sección de flujo es de 1,00 m. El ala derecha presenta una longitud de 10,00 m y la izquierda de 8,00 m. El paramento aguas arriba es escalonado y aguas abajo vertical, lo que disminuye los daños por la caída de la lámina vertiente en los escalones del paramento. A 18,00 m aguas abajo, existe un contradique cuyas funciones son de protección contra la socavación de fondo. El dique presenta una buena orientación de acuerdo al eje de regulación. El dique no presenta ningún daño que comprometa su estabilidad (calificación del daño 0). La pendiente de compensación de 4% generada durante las primeras crecidas después de su terminación ha creado

una cola de azolvamiento de longitud de 60,00 m. El volumen retenido hasta el momento es aproximadamente 1.800 m³, pero es conveniente destacar que aún falta por azolver 1,00 m de la altura del dique. Se empieza a detectar la estabilización de dos pequeños deslizamientos en la margen izquierda con estabilidad parcial en un 80%. Se han construido en el año 2002 un contradique y una traviesa de mampostería gavionada con el propósito de proteger el dique LH/QLRD₁. El primero está localizado a una separación de 18,00 m del dique principal. Tiene una altura de 2,00 m con sección trapezoidal compuesta. No tiene ningún daño y está cumpliendo adecuadamente las funciones de proteger al dique principal contra la socavación de fondo. La traviesa tiene 1,00 m de caída y 2,00 m de espesor en la corona. La sección de flujo es trapezoidal simple con base de 7,20 y 8,10 m, respectivamente. La altura de la sección de flujo es de 0,50 m. El paramento aguas arriba es un cuerpo de 2,00 m de ancho y aguas abajo es vertical. No tiene ningún daño y cumple adecuadamente las funciones de protección a la socavación.

• **Dique 2 (LH/QLRD₂)**

Está ubicado en las coordenadas UTM Este 445642 y UTM Norte 1077132, a una altitud de 1.026 msnm. Fue construido en mampostería hidráulica con el propósito de estabilizar la vertiente en la margen izquierda que presentaba desplazamientos e inestabilidad. Posee una altura de caída de 2,00 m. El espesor en la corona es de 1,00 m. La sección de flujo es trapezoidal doble, teniendo la sección trapezoidal inferior 4,00 m en la base inferior y 4,90 m en la superior. El trapecio superior tiene 5,80 m y 6,80 m en sus dos bases respectivamente. El ala izquierda tiene una longitud de 4,00 m y la derecha 9,00 m. La inclinación del paramento aguas arriba es vertical y escalonada, aguas abajo. Este dique tiene una condición de fuerte desgaste progresivo en el cuerpo, en el paramento aguas abajo (calificación 3). Se observó una socavación de fondo en el fundamento, daños leves (calificación 1) aunque el dique se construyó sobre unos afloramientos rocosos. Ha creado un pequeño volumen de azolvamiento de 400 m³; las rocas dominantes tienen un diámetro medio entre 10 y 30 cm. La pendiente de compensación es de 3%

con una pequeña cola de sedimentación de 27,00 m. El dique ha estabilizado 600 m² en la margen izquierda lo que representa un 80% del área inestable con invasión de vegetación nativa. Pero aún persiste un sector pequeño inestable en la parte superior del deslizamiento.

Torrente: Nacientes quebrada Honda

Este torrente es el drenaje superior de la subcuenca quebrada Honda. En cada uno de los sitios donde se construyeron los diques existían problemas de desestabilización de vertientes. En el torrente quebrada Honda se construyeron 6 diques de consolidación, 6 contradiques y 8 traviesas para un total de 20 obras. Fueron construidos en gaviones utilizando malla Macafferri, entre los años 2001 a 2003.

• **Dique 1 (LH/QHD₁)**

El dique LH/QHD₁ se ubica en las coordenadas UTM Este 447691 y UTM Norte 1078532, a una altitud de 1.328 msnm. Fue construido en el año 2001. Tiene un contradique de protección. El objetivo era controlar el proceso erosivo existente en las inmediaciones del sitio de construcción de la obra. El dique fue construido en mampostería gavionada y, al igual que los otros diques de este torrente; tiene una altura de caída de 4,00 m, el paramento aguas abajo es vertical y aguas arriba es escalonado, sección que le brinda una mayor protección al dique contra la socavación producida por la lámina vertiente. La sección de flujo es trapezoidal compuesta. La altura de la sección de flujo es 1,00 m. La profundidad del fundamento es de 1,00 m. La distancia entre el dique y el contradique es 14,00 m. El dique no presenta daños (calificación 0) en ninguna de las partes que lo conforman. Existe una traviesa, destruida parcialmente por una crecida, pero fue reconstruida utilizando mampostería hidráulica en la zona afectada. El dique se encuentra colmatado, con una pendiente de azolvamiento del 3%.

• **Dique 2 (LH/QHD₂)**

El dique LH/QHD₂ se ubica en las coordenadas UTM Este 447736 y UTM Norte 1078473, a una altitud de 1.316 msnm. Fue

construido en el año 2001. Tiene un contradique y 2 traviesas de protección. Es de mampostería gavionada y al igual que los otros diques de este torrente, tiene una altura de caída de 4,00 m, el paramento aguas abajo es vertical y aguas arriba es escalonado, sección que le brinda una mayor protección al dique contra la socavación producida por la lámina vertiente. La sección de flujo es trapezoidal compuesta. La altura de la sección de flujo es 1,00 m.

El dique no presenta daños (calificación 0) en ningún elemento que conforma la estructura del dique. Se encuentra colmatado con una pendiente de azolvamiento del 3%.

• **Dique 3 (LH/QHD₃)**

El dique LH/QHD₃ se ubica en las coordenadas UTM Este 447752 y UTM Norte 1078442, a una altitud de 1.296 msnm. Fue construido en el año 2002. Tiene un contradique y 2 traviesas de protección. El dique fue construido en mampostería gavionada y al igual que los otros diques de este torrente, tiene una altura de caída de 4,00 m, el paramento aguas abajo es vertical y aguas arriba es escalonado, sección que le brinda una mayor protección al dique contra la socavación producida por la lámina vertiente. La sección de flujo es trapezoidal compuesta. La altura de la sección de flujo es 1,00 m. El dique tiene socavación de fondo de 0,50 m en el fundamento originando una valoración leve (calificación 1) en esta parte del dique. El contradique y las 2 traviesas, estas últimas, con una altitud de 1,00 m tienen acentuado proceso erosivo de fondo y se encuentran con las losas partidas en la sección de flujo. La segunda traviesa no tiene fundación. El dique se encuentra colmatado, con una pendiente de azolvamiento del 3%.

• **Dique 4 (LH/QHD₄)**

El dique LH/QHD₄ se ubica en las coordenadas UTM Este 447851 y UTM Norte 1078289, a una altitud de 1.240 msnm. Fue construido en el año 2002. Tiene un contradique y 2 traviesas de protección. Dique en gavión con una altura de caída de 4,00 m. El paramento aguas abajo es vertical y aguas arriba escalonado. La

sección de flujo es trapezoidal compuesta. La altura de la sección de flujo es 1,00 m. Se estimó la profundidad del fundamento es de 1,00 m. Las observaciones de campo determinaron que el dique en general no tiene daño, excepto una leve socavación en el fundamento (calificación 1). El dique se encuentra colmatado, con una pendiente de azolvamiento del 3%.

• **Dique 5 (LH/QHD₅)**

El dique LH/QHD₅ se ubica en las coordenadas UTM Este 447923 y UTM Norte 1078214, a una altitud de 1.218 msnm, inmediatamente aguas arriba de la carretera. Es un dique de mampostería gavionada, con una altura de caída de 4,00 m, el paramento aguas abajo es vertical y aguas arriba escalonado. La sección de flujo es trapezoidal compuesta. La altura de la sección de flujo es 1,0 m. La profundidad del fundamento es de 1,00 m. Tiene un contradique y una traviesa. El dique se encuentra en buen estado y no presenta daños. La estructura está en buenas condiciones. No se observan procesos de socavación ni laterales ni de fondo, no presenta ningún daño en ninguna parte del dique. El dique fue colmatado en el primer año de vida. Tiene una pendiente de azolvamiento del 3%.

• **Dique 6 (LH/QHD₆)**

El dique LH/QHD₆ se localiza en las coordenadas UTM Este 447925 y UTM Norte 1078155, a una altitud de 1.206 msnm, aguas abajo de la carretera. Es un dique de mampostería gavionada utilizando malla Macafferri construido en el año 2003, con una altura de caída de 4,00 m. El paramento aguas abajo es vertical y aguas arriba escalonado. La sección de flujo es trapezoidal compuesta. La altura de la sección de flujo es 1,00 m. La profundidad del fundamento se estimó en 1,00 m. no tiene traviesa por cuanto aguas abajo existe un sector rocoso. No presenta ningún tipo de daños y la estructura está en muy buenas condiciones (calificación 0). No se observan procesos de socavación ni laterales ni de fondo y la malla se encuentra en buen estado. No presenta grietas, losas partidas, mallas metálicas rotas o erosiones laterales en sus estribos. Con relación a la

funcionalidad de los diques, estos cumplen adecuadamente el objetivo como obra de consolidación. El propósito fundamental de este tipo de obra ha sido la consolidación de laderas frágiles más que la retención de material sólido de arrastre.

En la tabla 12 se muestra el resumen de los daños evaluados en los diques de las subcuencas La Escalera y La Honda.

Tabla 12. Resumen evaluación de daños en los diques de las subcuencas quebrada La Escalera y Honda.

Descripción	ELEMENTOS				
	Fundamento	Cuerpo (incluyendo paramento aguas abajo)	Sección de flujo	Alas	Estribos
Subcuenca quebrada La Escalera					
Torrente: La Concha					
<i>Dique 1 (QE/QCD₁)</i>	0	1	3	0	0
<i>Dique 2 (QE/QCD₂)</i>	2	0	0	0	0
Torrente: La Negra					
<i>Diques 1 al 4 (QE/QLND₁) al (QE/QLND₄)</i>	0	0	0	0	0
<i>Dique 5 (QE/QLND₅)</i>	1	0	1	0	0
Torrente: La Escalera					
<i>Dique 1 (QED₁)</i>	2	3	3	3	0
Torrente: Las Morochas					
<i>Dique 1 (LH/LMD₁)</i>	0	2	0	0	0
<i>Dique 2 (LH/LMD₂)</i>	0	1	0	0	0
<i>Dique (LH/LMD₃)</i>	0	0	0	0	0
Torrente: Las Rosas					
<i>Dique 1 (LH/QLRD₁)</i>	0	0	0	0	0
<i>Dique 2 (LH/QLRD₂)</i>	1	3	0	0	0
Subcuenca quebrada Honda					
Torrente: Nacientes quebrada Honda					
<i>Dique 1 (LH/QHD₁)</i>	0	0	0	0	0
<i>Dique 2 (LH/QHD₂)</i>	0	0	0	0	0
<i>Dique 3 (LH/QHD₃)</i>	1	0	0	0	0
<i>Dique 4 (LH/QHD₄)</i>	1	0	0	0	0
<i>Dique 5 (LH/QHD₅)</i>	0	0	0	0	0
<i>Dique 6 (LH/QHD₆)</i>	0	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones generales

1. Se han construido 84 obras de control de torrentes, siendo 32 diques de consolidación, 1 dique de retención de sedimentos, 21 contradiques, 29 traviesas y 1 espigón. Se han ejecutado obras en 9 torrentes, correspondientes a 4 subcuencas. La mayoría están ubicadas en quebrada Blanca, nacientes de quebrada Honda y quebrada La Negra, donde se localiza el 83% de ellas. En las dos últimas subcuencas ocurren procesos torrenciales muy intensos. La quebrada Blanca es el torrente donde existe tratamiento con mayor número de diques.
2. El programa ha perseguido, principalmente, el objetivo de consolidar laderas inestables, impedir el aporte de material sólido al cauce y proteger vías, como es el caso del dique en el torrente El Amparo. Ha dominado un objetivo evidente de consolidación de laderas inestables, es decir, "diques de consolidación" con altura generalmente de 4,00 m. El dique localizado en quebrada Negra en la cota 1.536 msnm es el único que tiene función directa de retención de sedimentos.
3. En cuanto a funcionalidad y efectos logrados se concluye que el 87% de los 32 diques de consolidación lograron estabilizar sitios de movimientos en masa. Estos lugares, antes de la construcción de las obras, eran laderas inestables que hubiesen aumentado el volumen de sedimentos transportables aguas abajo hacia el río Yacambú. Ha sido un logro significativo en términos del control de erosión y sedimentación. La mayoría de los diques han logrado el propósito de estabilizar sitios muy inestables y evitar socavación de cauces en los tramos tratados.
4. Varios diques han protegido tramos de vías contribuyendo al mantenimiento del tránsito, lo que es indispensable para las operaciones de construcción de la empresa Sistema Hidráulico Yacambú Quibor C.A., y para el desarrollo económico de las comunidades asentadas en la cuenca, facilitando el intercambio comercial y el desarrollo ecoturístico del área.
5. Es necesario resaltar la necesidad de fortalecer el programa de mantenimiento y de reconstrucción de algunas de las obras dañadas por los impactos de las fuertes crecidas torrenciales.

La condición actual de los 33 diques construidos indica que el 70% se encuentra en buenas condiciones y 12% presenta daños menores. Son las obras de protección a los diques, las que requieren mantenimiento prioritariamente, porque 28% de los contradiques y 13% de las traviesas tiene problemas en la sección de flujo, en el fundamento o en el cuerpo. Es necesario resaltar que, todas estas obras están sujetas a los impactos de fuertes crecidas con arrastre de sedimentos, por lo que un programa anual de mantenimiento con presupuesto asignado es siempre necesario.

Agradecimiento

Los autores expresan su agradecimiento a la Empresa Sistema Hidráulico Yacambú - Quíbor C.A. (SHYQ C.A.), por aportar los recursos para la realización de este trabajo. Al Ministerio del Ambiente y de Los Recursos Naturales (MARN) Mérida en la persona del Ing. Ramón Prieto (+) por sus ideas y apoyo. A la Unidad de Prestación de Servicios Forestales, Geográficos y Agropecuarios de la Universidad de Los Andes (UFORGA-ULA), por su valiosa colaboración prestada.

Referencias bibliográficas

- Ingenieros De Santis C.A. 1991. **Estudio geológico – geomorfológico y de vulnerabilidad de la cuenca del río Yacambú, estado Lara.** Barquisimeto. Caracas. 568 p.
- Ingenieros De Santi C.A. 1995. **Informe preliminar sobre problemas de inestabilidad que afectan negativamente algunos tramos carreteros dentro de la cuenca de Yacambú, Municipio Andrés Eloy Blanco, Estado Lara.** Caracas. 102 p.
- Ingenieros De Santis, C.A. 2001. **Seguimiento de los procesos sedimentarios erosivos de las Quebradas Negra, Honda y Escalera, Cuenca del río Yacambú, Municipio Andrés Eloy Blanco, Estado Lara. Informe final de las Mediciones del año 2001.** Sistema Hidráulico Yacambú-Quíbor, C.A. Caracas. 80 p.

- Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables- Sistema Hidráulico Yacambu-Quibor C.A.) 1990. *Diagnóstico general de la cuenca aportante al Embalse Yacambú. Barquisimeto*. Venezuela. 80 p.
- Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables- Sistema Hidráulico Yacambu-Quibor C.A.). 1998. *Plan de Conservación de la Cuenca del Río Yacambú. Diciembre 1998. Barquisimeto*. Venezuela. 140 p.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 1981. **Conservation Guide 6. Torrent Control Terminology**. Roma. 120 p.
- Sistema Hidráulico Yacambu-Quibor C.A – Unidad de Prestación de Servicios Forestales Agropecuarios y Ambientales 2005. *Programa para el manejo integral de los procesos erosivos y sedimentarios de la cuenca aportante al embalse Yacambú. Edo. Lara*. Universidad de Los Andes. Mérida. Venezuela. 350 p.
- Sistema Hidráulico Yacambu-Quibor C. A. Gutiérrez F. 1998. *Estudio para el control de torrentes en las quebradas afluentes de la cuenca de Quebrada Honda*. SHYQCA. Barquisimeto. Venezuela. 80 p.

