

**XX SEMINARIO NACIONAL DE HIDRÁULICA E HIDROLOGÍA
BARRANQUILLA, COLOMBIA, 8 AL 10 DE AGOSTO DE 2012**

**APLICACIÓN DE LOS MODELOS DE SIMULACIÓN BSTEM Y
CONCEPTS PARA OPTIMIZAR Y EVALUAR DISEÑOS DE
ESTABILIZACIÓN DE BANCOS FLUVIALES**

Jorge A. Avendaño

Grupo de Investigación en Ingeniería de los Recursos Hídricos/Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola, Universidad Nacional de Colombia, Colombia, alejandro1202@gmail.com

John J. Ramírez-Avila

Geosystems Research Institute/Civil and Environmental Engineering Department, Mississippi State University, USA, jjr149@msstate.edu

Erasmus A. Rodríguez

Grupo de Investigación en Ingeniería de los Recursos Hídricos/Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola, Universidad Nacional de Colombia, Colombia, earodriguezs@unal.edu.co

RESUMEN: Los problemas causados por el exceso de sedimentos en cuerpos de agua superficial son de particular preocupación en los Estados Unidos de América y gran parte de los países Latinoamericanos. La erosión de bancos fluviales es una de las principales fuentes de sedimentos transportados en ríos y lagos. Un estudio preliminar desarrollado en la cuenca de la quebrada Town Creek en el estado de Mississippi EUA, identificó los procesos más comunes de inestabilidad y erosión de bancos en el área y cuantificó su contribución anual en hasta 28.5 Mg de sedimentos por m longitudinal de banco. El estudio además plantea que para reducir la tasa de erosión se debe dar prioridad a la atenuación de procesos geomórficos y la estabilización de tramos y tierras agrícolas adyacentes a los bancos fluviales en los nacimientos de la quebrada Town Creek y sus tributarios. El objetivo general del presente estudio fue identificar, diseñar, optimizar y evaluar un plan de estabilización de bancos fluviales para un tramo de la quebrada Yonaba, afluente de la quebrada Town Creek, mediante la aplicación de los modelos computacionales Bank Stability and Toe-Erosion Model (BSTEM) y Conservational Channel Evolution and Pollutant Transport System (CONCEPTS). Se evidenció que la contribución de sedimentos suspendidos provenientes de los bancos puede ser controlada combinando técnicas de estabilización según la zona afectada. Generalmente, la parte baja del talud que está expuesta a altos esfuerzos cortantes debe ser protegida mediante uso de materiales fuertes y durables mientras la cara del banco puede ser protegida con vegetación nativa. Finalmente, los resultados de este estudio mostraron que los modelos empleados son una herramienta útil para simultáneamente predecir efectos hidráulicos y mecánicos a que podría estar expuesto el banco en la etapa de post-estabilización.

PALABRAS CLAVE: Restauración de ríos, Erosión de bancos, Transporte de sedimentos, Modelamiento.

1 INTRODUCCIÓN

El exceso de sedimentos es uno de los principales problemas de calidad de agua en ríos, lagos y estuarios de los Estados Unidos de América (Simon et al., 2010). Los procesos de erosión de bancos fluviales pueden contribuir hasta en un 90% a la descarga total de sedimentos exportados por una cuenca hidrográfica (Simon et al., 2002). La erosión en bancos fluviales ocurre principalmente por procesos hidráulicos y por fallas gravitacionales (Ramírez Ávila, 2011). La falla de bancos generalmente se presenta por la combinación de procesos hidráulicos que erosionan la parte baja del banco y procesos geotécnicos en los cuales el banco colapsa debido a las fuerzas gravitacionales.

Estudios y planes de manejo propuestos para la quebrada Yonaba y en general para ríos y quebradas afluentes del Río Tombigbee, dan prioridad al desarrollo de labores conducentes a la estabilización de bancos fluviales y zonas ribereñas, e igualmente al establecimiento de prácticas de manejo mejoradas que reduzcan las tasas de sedimento transportados por las corrientes hídricas (ej. MDEQ, 2006, Ortega-Achury et al., 2009, Ramírez-Avila, 2011). Los diseños de estabilización deberían integrar disciplinas como geomorfología fluvial, hidrología, ecología acuática y ribereña e ingeniería hidráulica y geotécnica, garantizando así seleccionar la o las medias apropiadas de estabilización, que integren tanto los procesos físicos como biológicos típicos de los sistemas fluviales naturales (Ramírez-Ávila, 2011).

El estudio desarrollado por Ramírez-Ávila (2011) a lo largo de un segmento de la quebrada Yonaba Creek en el estado de Mississippi (EUA), la cual es tributaria de la cuenca de la quebrada Town Creek, reportó tasas de erosión anual de hasta 28.5 Mg por m longitudinal de banco fluvial. Aunque ninguna estructura civil ha sido directamente afectada por los procesos erosivos, la alta contribución de sedimentos y la acelerada degradación de los predios adyacentes al canal determinan la necesidad de diseñar y establecer un proyecto de estabilización de los bancos afectados.

El objetivo principal del presente estudio fue diseñar, optimizar y evaluar un plan de estabilización de bancos fluviales en un tramo de la quebrada Yonaba mediante la aplicación de modelos computacionales. El uso de estas herramientas ha sido considerado como una necesidad para facilitar y hacer más robusto el desarrollo de diseños de proyectos de restauración de quebradas y ríos (ej. Langendoen, 2001; Shields et al., 2003; Simon, 2008). Con el estudio se validó la aplicación de los modelos CONCEPTS (Conservational Channel Evolution and Pollutant Transport System) y BSTEM (Bank-Stability and Toe-Erosion Model) como herramientas para optimizar y diseñar proyectos de estabilización de bancos fluviales.

2 ÁREA DE ESTUDIO

El estudio se desarrolló en un tramo de 270 m de la quebrada Yonaba (Figura 1), la cual es uno de los principales tributarios de la cuenca Town Creek (TCW por sus siglas en Inglés). Localizada al noroeste del estado de Mississippi (EUA). TCW tiene un área de drenaje de 769 km², representando cerca del 50% del área de la cuenca alta y cerca del 5% del área total de la cuenca del Río Tombigbee (Ramírez-Ávila, 2011). El Río Tombigbee forma parte de una de las principales rutas de navegación comercial del sur de los Estados Unidos, siendo navegable en la mayor parte de su curso a través de esclusas. Esta ruta de navegación conecta el centro de la nación con el Golfo de México donde desemboca en la bahía de Mobile, región en la que se desarrolla un alto número de investigaciones encaminadas a buscar soluciones a los problemas de hipoxia que ocurren durante la temporada de verano y favorecidos por las altas descargas de sedimentos que reciben la bahía y el Golfo proveniente de sus tributarios (Ramírez-Avila, 2011; Powers et al., 2011).



Figura 1.- Localización de la quebrada Yonaba

3 PROCESOS, DIMENSIONES Y CARACTERÍSTICAS DE LOS MODELOS

Los modelos computacionales son herramientas útiles para verificar la estabilidad de los diseños de restauración, utilizando diferentes alternativas de configuración del canal (Langendoen et al., 2001). En esta investigación fueron empleados los programas de computo BSTEM (Bank-Stability and Toe-Erosion Model) y CONCEPTS (CONservational Channel Evolution and Pollutant Transport System) desarrollados por investigadores del US Department of Agriculture - Agricultural Research Service - National Sedimentation Laboratory (USDA-ARS-NSL),

3.1 Modelo CONCEPTS

CONCEPTS es un modelo dinámico que es capaz modelar hidráulica de canales, transporte de sedimentos y procesos morfológicos en canales (Langendoen et al., 2000). Este modelo incluye rutinas que permiten simular flujo no estable, unidimensional, transporte de sedimentos gradados y procesos de erosión de bancos fluviales.

3.1.1 Hidráulica.

CONCEPTS simula el flujo como no estable y unidimensional. El modelo calcula el caudal como función del tiempo simultáneamente en una serie de secciones transversales a lo largo del río, resolviendo las ecuaciones de Saint Venant, las cuales se basan en los principios físicos que gobiernan el flujo en canales: principios de continuidad (Ecuación 1) y conservación de momento (Ecuación 2). El modelo emplea el esquema de Preissmann para discretizar estas ecuaciones, resultando un sistema de ecuaciones que es resuelto por eliminación Gaussiana (Langendoen, 2000).

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial Q^2}{\partial x} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0$$

Donde: A = Área de flujo (m^2), B = Ancho de la lámina de agua (m), g = Aceleración de la gravedad (m/s^2), Q = Caudal (m^3/s), Q_L = Caudal lateral (m^2/s), S_f = Pendiente de la línea de energía (m/m), t = tiempo (s), x = Distancia en el canal (m), z = Elevación de la lamina de agua (m).

3.1.2 Transporte de sedimentos

Las tasas de transporte de sedimentos dependen del flujo, de la composición del lecho y de la carga de sedimentos proveniente de aguas arriba. Para modelar este proceso, la columna de agua es dividida en dos capas: una cerca del lecho donde las partículas son arrastradas y otra sobre el lecho donde las partículas viajan en suspensión. CONCEPTS emplea un balance de masas para calcular la carga total de sedimentos transportados y los ajustes del lecho debidos a deposición o resuspensión (Ecuación 3).

Donde: Q_s es la cantidad de sedimentos ($gr\ m^2$), V = Velocidad del flujo (m/s^2), $Q_{s,trans}$ = Tasa de arrastre de sedimentos ($gr\ m^2\ s^{-1}$), $Q_{s,dep}$ = Tasa de sedimentación ($gr\ m^2\ s^{-1}$), y $Q_{s,ent}$ = Tasa lateral de entrada de sedimentos ($gr\ m^2\ s^{-1}$)

3.1.3 Erosión de bancos fluviales

El modelo simula los dos procesos fundamentales: erosión fluvial y remoción en masa. La erosión hidráulica es calculada mediante el principio de exceso de esfuerzo cortante (Ecuación 4).

El exceso de esfuerzo cortante es definido como la diferencia entre el esfuerzo cortante aplicado por el flujo (τ) y el esfuerzo cortante crítico al que las partículas son desprendidas del banco (τ_c). La erodabilidad del suelo puede ser calculada mediante diferentes expresiones relacionando propiedades del suelo, o medida en campo usando el instrumento de prueba de chorro (jet test device) (Langendoen, 2000). La estabilidad del banco ante la falla en masa, depende del balance entre las fuerzas desestabilizantes y las fuerzas resistentes. CONCEPTS emplea el análisis de estabilidad planar y cantiléver usando el método del equilibrio límite para determinar el factor de seguridad en cada sección transversal (Ecuaciones 5 y 6; Langendoen, 2000).

Donde: W = Peso de la tajada, N = Fuerza normal en la base de la tajada C = Fuerza cortante en la base de la tajada, N_h = Fuerza intersticial normal horizontal entre tajadas, N_v = Fuerza hidrostática, ϕ = Angulo de fricción interna, L = Longitud de la base de la tajada, P = Fuerza debida a la presión de poros en la base de la tajada, α = Angulo de succión y β = Angulo de la superficie de falla

3.2 Modelo BSTEM

El modelo BSTEM usa las mismas rutinas que CONCEPTS para determinar los procesos geotécnicos bajo condiciones de flujo estable. Los resultados de este modelo están en términos del factor de seguridad donde valores menores de 1 indican inestabilidad, mayores de 1.3 estabilidad y entre 1 y 1.3 indican estabilidad condicional.

3.3 Información inicial requerida.

La información de entrada requerida por ambos modelos incluye: caudales y descarga de sedimentos en la condición de frontera del modelo aguas arriba, la geometría del canal, coeficientes

de rugosidad, composición del lecho y los bancos fluviales y propiedades de los suelos como: esfuerzo cortante crítico, coeficiente de erodabilidad, cohesión y ángulo de fricción interna.

4 METODOLOGIA

Ramírez-Avila (2011) presenta la evaluación y predicción de las tasas de erosión en TCW, una cuenca representativa de la Ecoregión “*Southeastern Plains*” en Mississippi. Para tal estudio fueron monitoreadas condiciones de flujo, transporte de sedimento y tasas de erosión de los bancos fluviales a lo largo de diferentes segmentos del cauce principal durante un periodo de trece meses. Ocho secciones transversales representativas de un tramo de estudio de 270 m de longitud a lo largo de la quebrada Yonaba, un cauce con bancos profundos e inestables, hizo parte del proceso de monitoreo y la aplicación del modelo CONCEPTS en TCW (Figura 2). La evaluación del modelo CONCEPTS en este tramo de la quebrada Yonaba se define en un escenario de calibración que incluye el análisis de los eventos de erosión fluvial e inestabilidad de los bancos ocurridos entre Febrero 22, 2009 y Junio 30, 2009. El escenario de validación se definió entre Julio 1, 2009 y Marzo 19, 2010. Un análisis de sensibilidad fue realizado para evaluar el efecto del cambio en la magnitud de propiedades del material del banco (el esfuerzo cortante crítico, el coeficiente de erodabilidad, el ángulo de fricción interna, la cohesión efectiva), el coeficiente de rugosidad del banco y el tiempo de retención sobre la descarga de sedimentos y la magnitud y ocurrencia de los eventos de falla del banco para el tramo estudiado. Los parámetros obtenidos después de la validación del modelo (Tabla 2) y el análisis de resultados presentados por Ramirez-Avila (2011), fueron la base inicial para evaluar y diseñar las medidas de estabilización sugeridas en este documento. Parámetros adicionales requeridos por el modelo (Ej. coeficiente de rugosidad de Manning y esfuerzo cortante crítico para los diseños de estabilización) fueron determinados siguiendo los manuales de diseños del Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos (USACE) y bajo mediciones de campo.



Figura 2.- Vista aérea de Yonaba Creek, con la localización de las secciones transversales (Fuente: Ramírez-Avila 2011)

El presente estudio incluye dos etapas en el diseño y evaluación de los procesos simulados. Inicialmente se evaluó la *condición sin proyecto*, la cual permitió identificar las tasas de erosión que podrían presentarse de no ser implementadas medidas de estabilización en la zona de estudio. Posteriormente se evaluó la *condición con proyecto* en la cual se evaluó la configuración del talud para condiciones sin y con protección de la cara del talud. El proyecto de estabilización se diseñó

aplicando técnicas de bioingeniería combinando materiales duros en la parte baja del talud y materiales flexibles en la parte alta del banco.

Tabla 1.- Propiedades físicas de los materiales de los bancos en la quebrada Yonaba (Fuente: Ramírez-Avila, 2011).

Cross section	Layer depth (m)			Tc (m)	Kd (cm ³ N ⁻¹ s ⁻¹)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Bulk density (Mg m ⁻³)	Density (kg m ⁻³)	Friction Angle (°)	Suction Angle (°)
1	0	-	4	4.2	4.1	67	14	19	1.5	2.2	31	17
	4	-	6.5	7.4	1.7	57	24	20	1.4	1.8	31	17
	6.5	-	20	0.4	5.9	71	16	13	1.5	2.3	31	15
2 (Rip-rap)	0	-	20			0	0	0	2.1	2.5	45	
Left streambank: 3,6	0	-	1	1.9	1.5	73	19	8	1.7	2.4	32	17
	1	-	2	0.5	6.1	76	12	12	1.6	2.4	27	12
	2	-	5.5	0.5	9.9	74	13	14	1.5	2.3	27	11.5
	5.5	-	20	0.4	5.9	71	16	13	1.5	2.3	31	15
Right streambank: 3,4,5,6	0	-	9	2.0	9.9	74	13	14	1.5	2.3	27	11.5
	9	-	20	0.4	5.9	71	16	13	1.5	2.3	31	15
Left streambank:4 (Levee)	0	-	3	0.1	24.1	89	5	5	1.7	2.4	30	20
	3	-	6.2	0.1	24.1	85	7	8	1.6	2.3	30	20
	6.2	-	20	0.4	5.9	71	16	13	1.5	2.3	31	15
Left streambank: 5 (Pipe outlet on levee)	0	-	1.5	0.1	24.1	89	5	5	1.7	2.4	30	20
	1.5	-	2	0.1	24.1	85	7	8	1.6	2.3	30	20
	2	-	6.2	0.1	24.1	85	7	8	1.6	2.3	15	10
	6.2	-	20	0.4	5.9	71	16	13	1.5	2.3	31	15
Left streambank:	0	-	5	0.5	9.9	74	13	14	1.5	2.3	27	11.5
	5	-	6.5	2.0	9.9	74	13	14	1.5	2.3	27	11.5
	6.5	-	20	0.4	5.9	71	16	13	1.5	2.3	31	15
Right side:	0	-	9	1.5	1.6	74	13	14	1.7	2.4	30	17
	9	-	20	0.4	5.9	71	16	13	1.5	2.3	31	15
Streambed			18.3	6.2	93.7	5.0	1.1			2.6		

5 DISEÑO, RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

5.1 Condición sin proyecto

Esta etapa del análisis es un primer paso para determinar las apropiadas medidas para controlar los procesos erosivos en el tramo de estudio. Para poder tener un diagnóstico de la situación actual, se empleó el modelo CONCEPTS para simular los procesos de falla entre Febrero de 2009 y Abril 1 de 2010. La serie de tiempo simulada del factor de seguridad (SF) mostró la ocurrencia de 3 procesos de falla gravitacional en la sección 6: Mayo 6, 2009 SF=0.762, Octubre 5, 2009 SF=0.938 y Diciembre 25, 2009 SF= 0.973 (Figura 3). Las fallas gravitacionales generalmente se presentaron después de periodos de flujos altos, los cuales se deben al incremento del peso de la cuña de falla debida a la saturación del suelo, que combinado con el rápido descenso en la presión de confinamiento y la erosión de la parte baja del talud hace que las fuerzas desestabilizantes en el banco sean mayores que las fuerzas resistentes a la falla. Las demás secciones se mantuvieron estables a excepción de la sección 3, en la cual se observó erosión hidráulica en la zona inferior del talud.

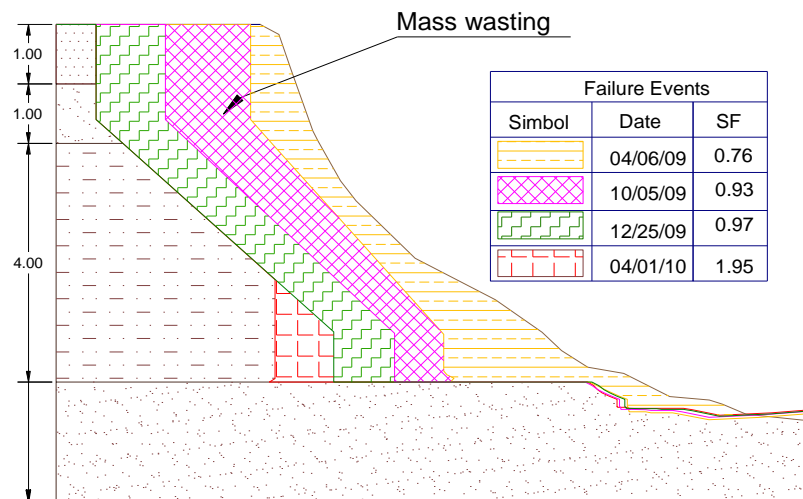


Figura 3.- Principales fallas presentadas en el banco izquierdo de la sección 6

5.2 Condición con proyecto.

El diseño propuesto para este segmento comienza redefiniendo la geometría de las secciones inestables, usando el modelo BSTEM. Diferentes configuraciones geométricas del banco fueron consideradas para determinar la condición más estable para el talud, reduciendo al máximo invadir el cauce actual de la quebrada y el predio adyacente en la parte alta del banco.

Resultados muestran que la reconstrucción del banco con un talud de 40° sería la condición de diseño que mejor se ajustaría a las especificaciones requeridas (Tabla 2). Sin embargo, esta condición no sería suficiente para garantizar unas adecuadas especificaciones de diseño para la protección de la parte baja del talud. Finalmente, se diseña el talud con una inclinación de 30° hasta una altura de 2 metros y 40° el resto del banco.

Tabla 2: Factor de seguridad para las diferentes configuraciones.

No	Escenario	SF
1	30°	2.83
2	40°	2.59
3	50°	1.17
4	30° and 40°	1.48
5	35° and 40°	2.46

Los diseños de protección del talud contemplan el relleno con material de características similares al actual, en una longitud de 30 m (15m adelante y 15m atrás) a lo largo de las secciones 3 y 6. Es necesario proteger la parte alta del banco con vegetación nativa de la zona y en la parte baja se consideran dos alternativas de protección: Rip-Rap y Root-wads (pie de la raíz). El diseño de estas dos alternativas se realizó siguiendo los documentos Sylte et al., (2000) y Brown et al., (1989) del Cuerpo de Ingenieros Estadunidense (Figura 4).

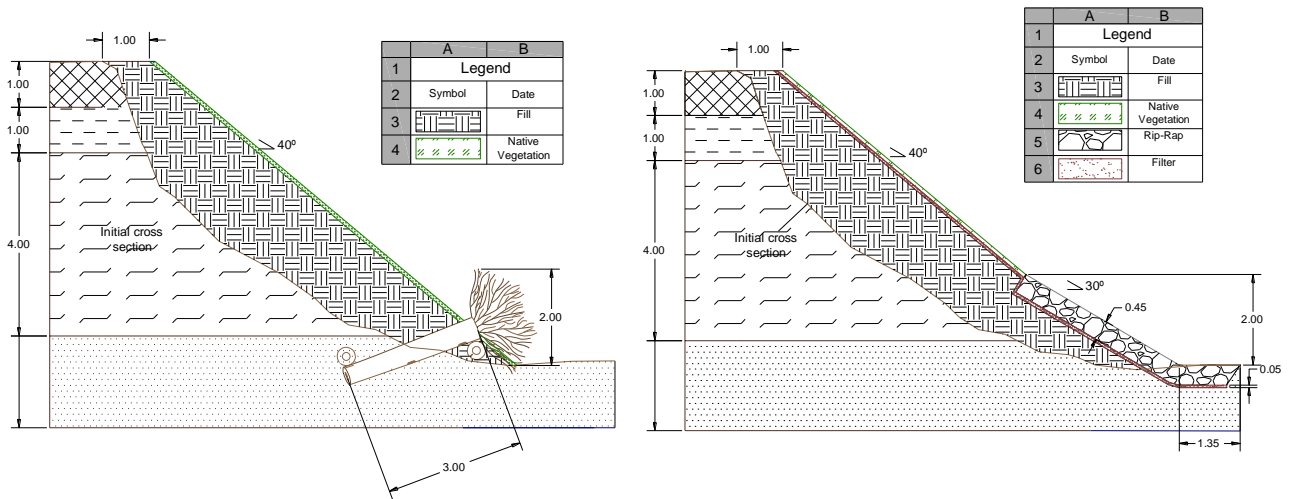


Figura 4.- Principales Diseños de estabilización propuestos para la quebrada Yonaba.

5.3 Validación de diseños

El análisis de estabilidad de los diseños propuestos es un componente importante de esta evaluación de restauración de bancos. Con el fin de definir los efectos mecánicos e hidráulicos de ambos diseños, se modificaron los valores del esfuerzo cortante crítico del material del banco por los respectivos valores calculados o sugeridos por en la literatura (ej. Sylte et al., 2000; Brown et al., 1989; Ramírez-Avila, 2011) para ambos casos de simulación (Tabla 3).

Tabla 3: Parámetros empleados para validar los diseños

Parámetro		
Rip-Rap	21	0.034
Root-wads	10	0.040
Vegetación	0.7	0.050

El modelo CONCEPTS fue implementado con el fin de evaluar la respuesta de las variables importantes que controlan la estabilidad del banco y los efectos geotécnicos e hidráulicos generados por el diseño de estabilización propuesto para el tramo de estudio. Las series de tiempo para el factor de seguridad simulado en ambos diseños muestran un incremento significativo en todas las secciones transversales, presentándose el menor valor del SF para la sección 5 con una magnitud de 1.7 (Figura 5). Los resultados evidencian condiciones de estabilidad muy favorable e indica que cualquiera de las dos alternativas Root-wads o Rip-Rap, permitirían mitigar la pérdida de los terrenos adyacentes que están siendo erodados por la quebrada. Sin embargo, es importante tener en cuenta que el uso de root-wads establece características físicas y biológicas que favorables para la adaptación de especies acuáticas y ribereñas. La decisión final del método de protección a usar estará definida por un análisis de costos y de beneficio ecológico a mediano y largo.

Ambos diseños se comportaron muy similar en terminos de estabilidad y fue posible validar la aplicación los modelos computacionales para dimensionar y diseñar soluciones estructurales y no estructurales para estabilizar bancos fluviales. Es preciso aclarar que los ingenieros y técnicos estamos en la obligación de proponer soluciones técnicas adecuadas, que sean costo-efectivas y de bajo impacto ambiental. El adecuado uso de modelos de simulación combinado con los conocimientos científicos y tecnologicos, permiten adecuadamente seleccionar la estrategia más favorable y para satisfacer las necesidad técnicas en un proyecto de estabilizacion.

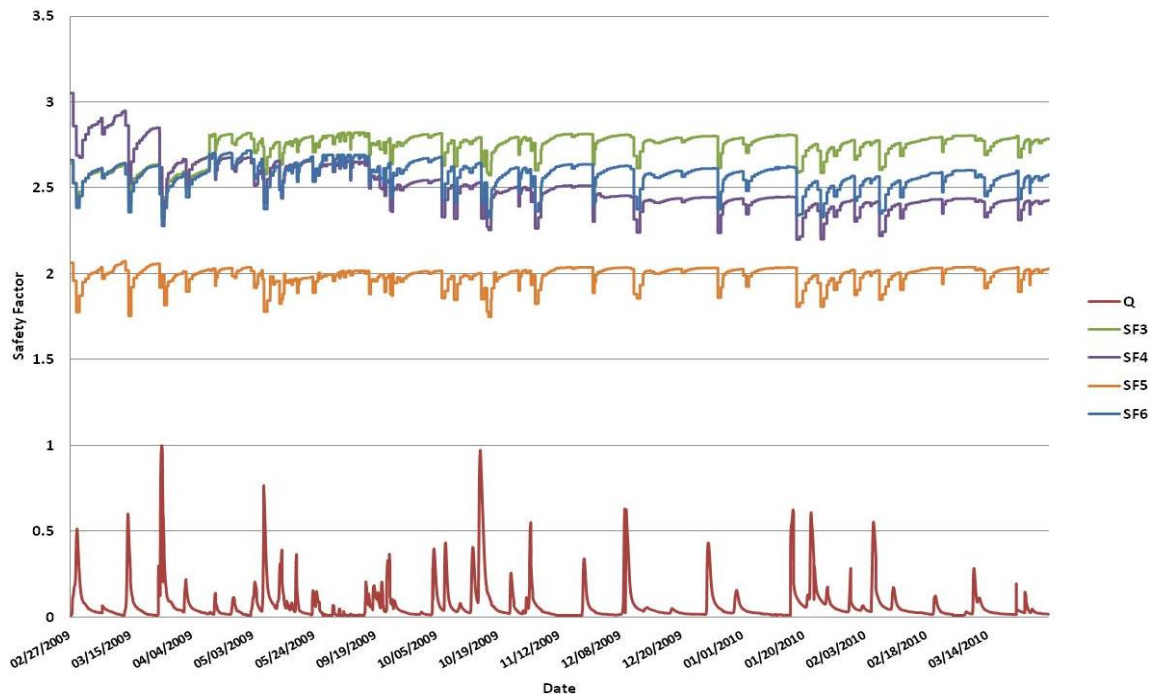


Figura 4.-Serie de tiempo del factor de seguridad simulada para la condición con proyecto.

6 CONCLUSIONES

Dos diseños de estabilización fueron satisfactoriamente evaluados mediante la implementación de los modelos BSTEM y CONCEPTS. Los modelos demostraron ser una herramienta útil para predecir los efectos hidráulicos y mecánicos a los que podría someterse un específico diseño y las medidas de mitigación que pueden ser usadas para reducir la frecuencia de los eventos de inestabilidad y disminuir la carga de sedimentos aportada por la erosión de bancos en la cuenca de la quebrada Town Creek.

Los eventos de falla en los bancos de la quebrada Yonaba ocurrieron por la combinación de procesos hidráulicos que erosionaron la parte baja del talud, seguidos por procesos geotécnicos causando el colapso del banco. Las medidas de estabilización encaminadas a reducir la erosión de bancos generalmente incluyen: un rediseño de la geometría de la sección buscando reducir la pendiente del banco con el fin de reducir las fuerzas gravitacionales; protección fuerte en la parte baja del talud para incrementar la resistencia del banco ante las fuerzas hidráulicas; y revegetación de la cara del talud con el fin de incrementar las fuerzas cohesivas del material del banco y al mismo tiempo proteger de la erosión ya sea por el viento o flujos altos.

En los procesos de erosión de bancos, las fuerzas resistentes son disminuidas en forma lenta, continua y acumulativa. La falla geotécnica se presenta cuando las fuerzas ejercidas por el flujo y las fuerzas gravitacionales actuando *in situ*, exceden las fuerzas resistentes del banco y la vegetación.

7 REFERENCIAS

- Brown S, and Clyde E. 1989 Design of Riprap Revetment HEC 11. U.S. Army Corps of Engineers.
- Kilgore R, and Cotton G 2005, Design of Roadside Channels with Flexible Linings, Hydraulic Engineering Circular Number 15, Third Edition.
- Langendoen E.,2000. CONCEPTS- CONservational Channel Evolution and Pollutant Transport System. USDA-ARS.
- Langendoen E, Simon A, and Thomas R. 2001. Thomas. CONCEPTS- A process-Based modeling toll to evaluate stream corridor restoration designs. USDA-ARS National sedimentation Laboratory
- Langendoen E, Simon A, and Thomas R. 2001. Thomas. CONCEPTS- A process-Based modeling toll to evaluate stream corridor restoration designs. USDA-ARS National sedimentation Laboratory
- Li M, and Eddleman K. 2002. Biotechnical engineering as an alternative to traditional engineering methods: A biotechnical streambank stabilization design approach. Texas Transportation Institute.
- MDEQ (Mississippi Department of Environmental Quality). 2006. Total maximum daily load Tombigbee river basin designated streams in HUC 03160102 (Town Creek) for impairment due to sediment. Office of Pollution Control.
- Ortega-Achury S.L., J. J. Ramirez-Avila, W. H. McAnally, J. L. Martin, and T. E. Davis. 2009. Nutrient and Sediment Production, Watershed Characteristics, and Land Use in the Town Creek Watershed, Mississippi. Proceeding Publication in the American Society of Biological and Biological Engineering, ASABE Annual International Meeting, Reno, Nevada.
- Powers S, and Scyphers S 2011. USA Restoration Briefs. University of South Alabama Oyster Reef and Fisheries Habitat Enhancement Program.
- Ramírez-Avila J. J. 2011. Aseessment and Prediction of Streambank Erosion Rates in a Southeastren Plains Ecoregion Watershed. Ph D. Dissertation. Mississippi State University. April 2011.
- Simon, A. R. A. Kuhnle, and Wendy Dickerson. 2002. “Reference” and “Impacted” rates of suspended sediment transport for use in developing clean-sediment TMDL’s: Mississippi and the Southeastern United States. National Sedimentation laboratory Report 17.
- Simon A, Derrick D, Alonso C, and Bankhead N. 2008. Application of a Deterministic Bank-Stability Model to Design a Reach-Scale Restoration Project. USDA-ARS and U.S. Army Corps of Engineers. 2008.
- Simon A, Bankhead N and Thomas R. 2010. Iterative bank-stability and toe-erosion modeling for predicting streambank loading rates and potential load reductions. USDA-ARS, National Sedimentation Laboratory.
- Shields F, Jr Knight, Morin S and Blank N. 2003. Response of fishes and aquatic habitats to sand-bed stream restoration using large woody debris.
- Sylte T, Fischenich C. 2000. Rootwad Composites for Streambank Erosion Control and Fish Habitat Enhancement. Army engineer waterways experiment station vicksburg ms engineer research and development center.
- USDA-NRCS, (2007). Stream Restoration Design, Part 654, National Engineering Handbook (United States Department of Agriculture--Natural Resources Conservation Service).