



Boletín Ambiental

Fotografía: vista panorámica del modelo
Fuente: Laboratorio de Hidráulica
Universidad Nacional Sede Manizales

Instituto de Estudios Ambientales -IDEA- Sede Manizales

198 | diciembre de
2022

**Modelo didáctico de obras de control de erosión,
estabilidad de laderas e intervención de cauces**

IDEA

Instituto de Estudios Ambientales

Modelo didáctico de obras de control de erosión, estabilidad de laderas e intervención de cauces

Fernando Mejía Fernández

Ing. civil, M. Sc. en Recursos Hidráulicos

Profesor pensionado

Profesor Emérito Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales

Asesor del Instituto de Estudios Ambientales -IDEA-

Para descargar el boletín:

▶ [Http://idea.manizales.unal.edu.co/boletin-ambiental.html](http://idea.manizales.unal.edu.co/boletin-ambiental.html)

Presentación

En el Laboratorio de Hidráulica de la Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales se diseñó y construyó hace unos veinte años, un modelo físico, hidráulico, a escala reducida (aproximadamente 1:10), que simula una ladera urbano-rural sobre la cual están reproducidas la mayoría de las obras civiles que se utilizan en la región para el control de la erosión pluvial, fluvial y antrópica, el manejo de aguas de escorrentía, el drenaje, la estabilidad de laderas y la intervención de cauces. Se destaca y reconoce en su diseño y construcción el definitivo aporte del ingeniero civil, profesor pensionado de la Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales, Carlos Enrique Escobar Potes, de la ingeniera civil Mónica Elizabeth Fúquenes Arango, egresada de esta misma universidad y del operario de laboratorio José Wilmar Aguirre Gómez.

Confluyen en él todas las áreas del conocimiento de la ingeniería civil, con criterio ambiental, y se destacan los desarrollos tecnológicos que, en el diseño y procesos constructivos de esas obras han logrado en la región centro-andina colombiana, entidades oficiales del sector, la Universidad Nacional de Colombia y la ingeniería local.

Este modelo, que ocupa un área de 200 m², se ha integrado como un módulo tecnológico al Museo Interactivo de la Ciencia Juego y Tecnología Samoga, que existe en la misma universidad, contiguo al laboratorio, en donde cumple una importante función didáctica, en razón de que sirve a todos los visitantes; desde niños, colegiales, turistas y ciudadanos en general, hasta estudiantes de pregrado y posgrado de todo el país, -en ingeniería y otras áreas- para una mejor comprensión de los fenómenos que se presentan y las soluciones que se adoptan para controlar o mitigar los problemas generados por la acción del agua en el suelo.

Se destaca el hecho de que en su diseño y construcción participaron un sinnúmero de estudiantes, profesores y funcionarios de entidades oficiales del sec-

tor, deseosos de contribuir voluntariamente a destacar cómo se resuelven en la región andina colombiana los problemas de la erosión en sus montañas, la desestabilización de sus laderas y la socavación de sus cauces.

El modelo

Aprovechando el amplio espacio abierto con que cuentan las instalaciones del Laboratorio de Hidráulica, la cercanía al Museo Samoga mencionado antes, las condiciones topográficas de un área modelada como un viejo embalse con el que contaba el laboratorio y la localización estratégica de la sede Palogrande de la Universidad Nacional de Colombia en Manizales, respecto de otros centros educativos y comunidad en general, se determinó que el sitio ideal de ubicación serían las instalaciones del Laboratorio de Hidráulica de la Universidad (parte trasera del edificio del museo).

Determinada el área sobre la cual se construiría el modelo, se procedió a realizar el respectivo levantamiento topográfico a partir del cual se dispondría el lugar preliminar de las obras. Seleccionadas las obras a modelar, se hizo un trazado esquemático de las mismas sobre planos, tratando de reproducir dos ambientes: rural y urbano.

Previa adecuación del área, que reproducía una topografía con laderas de fuertes a medias pendientes y de la construcción de un muro divisorio de la zona de embalse mencionado, se inició la construcción de las obras a la escala escogida, lo que involucró interesantes procesos constructivos y diversos materiales que le dieron al modelo una función didáctica desde su misma construcción, teniendo en cuenta –como ya se dijo– que en ella participaron los estudiantes.

Simultáneamente, se diseñó y construyó el sistema de alimentación hidráulica y de desagüe del modelo, aprovechando la red de acueducto del laboratorio y reutilizando el agua servida al modelo, así como el sistema de observación y circulación del mismo, con barandas y andenes perimetrales.

En el recorrido que hacen los visitantes, guiados por un monitor capacitado para ello, encuentran lo siguiente:

- Un primer cauce de una pequeña corriente de montaña, con indicios de socavación y erosión. Se adoptó como solución, y se modeló, un sistema de trinchos de tres (3) tipos: en un tramo superior, **trinchos en V**, construidos en bambú (simulando la guadua, especie de bambú utilizado tradicionalmente en la región), entre los cuales se acondicionó enrocado de fondo para prevenir la socavación entre ellos y propiciar la sedimentación. En un tramo intermedio; **trinchos simples**, también en bambú, que incluyen un vertedero rectangular acompañado de sistemas de protección del pie del trincho con piedra pegada. Alguno, o algunos de estos, poseen elementos verticales que son estacas vivas y que al echar raíces y retoñar ayudan a proteger el lecho del cauce (trinchos vivos). Y en un tramo inferior, **trinchos dobles**, también en bambú, con vertedero rectangular.
- Seguidamente, se encuentra una segunda ladera, aún en ambiente rural, sobre la cual se modeló un sistema de **acequias a media ladera**, de sección recta semicircular, que recogen las aguas de escorrentía y las conducen hasta una estructura de vertimiento de aguas. En este caso, por tratarse de una ladera de fuerte pendiente, se modeló la estructura denominada **canal de rápidas con tapa y columpio** (C.R.T.C., diseñada en la Universidad a partir de estudios en modelos hidráulicos, 1980), la cual involucra rápidas alternadas con columpios, tapas y deflectores que se encargan de disipar por impacto y turbulencia buena parte de la energía cinética del flujo y de conducirlo mansamente hasta el pie de la ladera, en donde se complementa la modelación con un canal rectangular liso hasta un canal de desagüe que simula una corriente natural y que conduce las aguas usadas en el modelo hasta un tanque de almacenamiento en el laboratorio para su reutilización. En un punto intermedio del canal rectangular y para vencer un desnivel, aparece modelada una **estructura de amortiguación con dados** en concreto dispuestos en tres-bolillo.



Fotografía 1. Trinchos en el modelo



Fotografía 2. Acequias a media ladera, terraceo, canal de rápidas con tapa y columpio CRTC

- A continuación, y empezando a simular un ambiente urbano típico de nuestras ciudades andinas de alta montaña, se encuentra un modelo de tratamiento de taludes con **terrazas o bancas** (abancalamiento), que incluye terrazas en concreto y en geomembrana, con cunetas interiores de sección recta trapezoidal que recogen el agua de escorrentía de los taludes y las conducen hasta los columpios (coincidentes con las terrazas) de la estructura de vertimiento descrita atrás (C.R.T.C.). Los taludes entre terrazas aparecen tratados superficialmente con distintos sistemas de cobertura vegetal (empradizados, especies nativas como el maní forrajero, etc.).

En relación con la intervención de cauces, se simuló en el modelo el cauce de una corriente torrencial urbana, con problemas de socavación y desestabilización consecuente de sus laderas. El tratamiento que se adoptó como alternativa a mostrar consiste en un sistema de diques y canales así: tres (3) **diques en concreto**, transversales al cauce, que incluyen un vertedero trapezoidal y sistemas de alivio de subpresiones (mechinales o lloraderos), acompañados por enrocado al pie del dique y aguas abajo para proteger este de la socavación y la erosión en el punto de caída del chorro desde el dique; dos (2) **diques escalonados** en gaviones, con vertedero rectangular; los gaviones a través de los cuales escurre el agua tienen sus paredes y escalones recubiertos en concreto; en la parte exterior los gaviones están a la intemperie y con el tiempo se empieza a observar la integración entre el sistema de estructuras hidráulicas y el sistema de vegetación a su alrededor; y un **canal de caídas sucesivas en gaviones** revestidos en el fondo y las paredes en concreto, que entrega las aguas del río al canal de desagüe del modelo.



Fotografía 3. Diques en concreto y diques en gaviones



Fotografía 4. Canal escalonado en gaviones

• En otro cauce de mediana pendiente, se optó por modelar otra estructura de vertimiento adecuada para esa pendiente: el **canal de pantallas deflectoras** (C.P.D, diseñado en la universidad a partir de estudios en modelos hidráulicos, 1978) en el cual, para caudales bajos, el agua zigzaguea golpeando entre las pantallas deflectoras y disipando energía cinética, y, para caudales altos, se tiene el sistema trabajando como un canal de fondo macro rugoso, pues el flujo “rasa” sobre las pantallas. Este canal entrega sus aguas a una **alcantarilla de cajón** o box culvert que atraviesa una vía a media ladera de la cual se hablará más adelante. A la salida de esta estructura, por encontrarse fuerte pendiente, se modeló nuevamente un canal de rápidas con tapa y columpio (C.R.T.C.) en el cual sus componentes fueron construidos en acrílico cristal para observar el comportamiento del columpio, la tapa y el deflector como sistema disipador de energía. Finalmente, el agua entrega al canal de desagüe.



Fotografía 5. Canal de rápidas con tapa CPD



Fotografía 6. Canal de rápidas con tapa y columpio CRTC

• Sobre la margen derecha del cauce anterior, se modeló una vía peatonal típica de nuestras ciudades de montaña, que desemboca en la vía a media ladera mencionada atrás. La peatonal incluye bordillos que hacen que funcione como canal abierto durante aguaceros, además de su propio sistema de alcantarillado combinado. Se observan en este caso **cámaras de inspección** típicas de alcantarillados urbanos y un **sumidero** transversal en el extremo. La peatonal se complementa con unas escalas que llevan al supuesto transeúnte a la vía principal, así como con varios modelos de vivienda, a escala 1:10, ubicados a lado y lado de la vía peatonal descrita, mostrando la historia de la evolución de la vivienda en guadua y madera en la región centro-andina colombiana (uno de los diseños es el estilo “temblorero”), diseñados y construidos por la entonces estudiante de último semestre de arquitectura en nuestra universidad, Paula Cifuentes -hoy docente e investigadora en la Universidad de La Salle, con título de Ph. D.- los cuales contribuyen a la didáctica del modelo y a su estética.



Fotografía 7. Cámara de inspección del alcantarillado



Fotografía 8. Modelos de vivienda en guadua y madera

• Asociada a las condiciones topográficas de esta zona andina, se modeló una vía a media ladera, urbana, con dos (2) tipos de pavimento (rígido y flexible), bordillos, andenes, cunetas y alcantarillado combinado con cámaras de inspección, sumideros, etc. y se remató con un puente sobre el cauce torrencial que detallamos anteriormente, en bambú, con un diseño estructural apropiado y una superficie de rodadura en concreto. A su salida, se simuló un túnel.



Fotografía 9. Vía modelada, puente, túnel simulado

- Como la construcción de vías a media ladera configura taludes superiores e inferiores, se modelaron distintos tipos de obras de estabilización y protección, a saber:
 - Una **pantalla anclada** en un talud superior, con ventanas para que el visitante observe el sistema de refuerzos y anclaje, y con drenes horizontales de penetración en su base.
 - Muros en concreto ciclópeo, en gaviones y en tierra armada (con geotextiles este último), como tratamiento de taludes inferiores.



Fotografía 10. Pantalla anclada



Fotografía 11. Muro en gaviones



Fotografía 12. Muro en concreto ciclópeo

- Hace pocos años, se adicionó al modelo, un **muro en bolsacreto** al pie de una ladera, con el fin de representar esta alternativa de obra de estabilidad para controlar un deslizamiento de tierra (en este caso, son costales rellenos con suelo cemento y dispuestos en escalón).



Fotografía 13. Muro en bolsacreto

- Todo el modelo recibió, por otra parte, un tratamiento de cobertura vegetal utilizando distintas especies según lo acostumbrado en la zona. El visitante observa también el desarrollo que esta cobertura ha tenido a través del tiempo y los beneficios que ella trae al control de la erosión.



Fotografía 14. Cobertura vegetal simulada en el modelo

Finalmente, este modelo se utiliza para la realización de prácticas experimentales curriculares en el Programa de Ingeniería Civil y para el desarrollo de investigaciones, por ejemplo, el desarrollo del sistema radicular en trinchos vivos y su efecto en la estabilización de laderas.

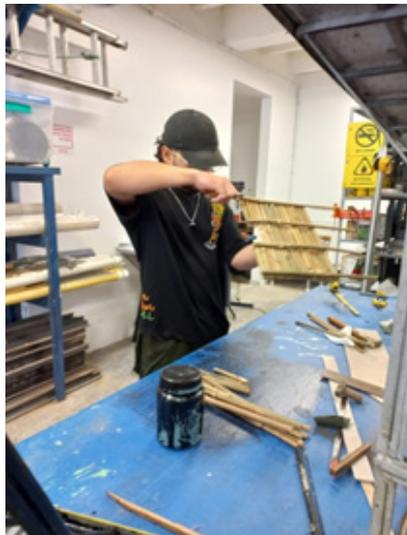
Mantenimiento periódico del modelo

Por encontrarse a la intemperie y estar sometido al uso y al paso del tiempo, el modelo va presentando paulatino deterioro, el cual es variable según el material de que está construida cada parte o pieza del mismo. Así, los elementos construidos en guadua -como los trinchos- se pudren poco a poco y deben ser reemplazados cada dos o tres años; los construidos en alambre -como los gaviones- deben ser reconstruidos cada diez años en promedio, los construidos en madera -como los modelos de casas- deben repararse cada uno o dos años, en la medida en que gatos callejeros los toman como resguardo contra el sol o

la lluvia- los contruidos en cemento o concreto tienen una durabilidad mayor y hasta la fecha no ha sido necesario reemplazarlos, aunque los bordillos de la vía son rotos accidentalmente por los visitantes, para mencionar solo algunos casos de deterioro del modelo.

Adicionalmente, es natural que la parte vegetal del modelo deba podarse con frecuencia, aunque también accidentalmente -y en algunos pocos casos por descuido- la guadaña se convierte en un enemigo de la integridad del modelo.

En tiempos de la pandemia del COVID-19, el modelo estuvo prácticamente abandonado, por lo cual, al regresar al sitio, una vez pasó la fase crítica de esta, se adelantó una brigada de arreglos en el modelo, con una destacada participación de estudiantes de tercer semestre de ingeniería civil de la universidad, (María José Mejía, Nathalie Pineda, Juan Esteban Sánchez, Simón Orozco, Juan Diego Agudelo) quienes, en esmerada, entusiasta, desinteresada y productiva labor reconstruyeron las casas de guadua y madera, los trinchos y los bolsacretos, bajo la dirección de un profesor y de un operario del laboratorio. Además, se repararon bordillos y otros pequeños elementos, y se pintaron las partes del modelo que lo requerían, con la ayuda de un obrero (Nicolás Aguirre).



Fotografía 15. Construcción en taller nuevos trinchos, estudiantes de ingeniería civil



Fotografía 16. Construcción de bolsacretos, estudiantes de ingeniería civil



Fotografía 17. Niños visitando el Museo Samoga y el modelo didáctico

Conclusiones

En el Laboratorio de Hidráulica de la Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales, se cuenta con un modelo didáctico que despierta el interés, enseña, deleita y fortalece la conciencia ambiental de los visitantes de todos los niveles y de todos los lugares, en una ciudad como Manizales, en donde los problemas de erosión e inestabilidad en laderas y de avenidas torrenciales en cauces urbanos han llevado a las autoridades municipales y regionales y a la academia a dar soluciones a estos con obras de diverso tipo (estructurales, bioingenieriles, de estabilidad, de manejo y vertimiento de aguas, etc.) en el marco de la gestión integral del riesgo de los desastres. Se ha popularizado la expresión del profesor Omar Darío Cardona Arboleda de que Manizales es un laboratorio natural para dicha gestión. **¡VISÍTELO!**

Nota: Todas las fotografías pertenecen al Laboratorio de Hidráulica.

Bibliografía

Escobar Potes, Carlos E., Duque Escobar, Gonzalo, Geotecnia para el trópico andino [http://www.bdigital.unal.edu.co/53560/Estructuras de drenaje](http://www.bdigital.unal.edu.co/53560/Estructuras%20de%20drenaje).

Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, Universidad de Caldas. Manual de procedimientos para el manejo de procesos denudativos con obras de Bioingeniería. Bogotá D. C. 2013.

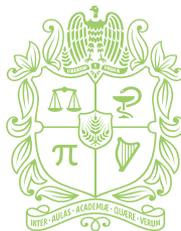
Mejía F., Fernando. Estructuras de vertimiento de aguas en laderas de media a fuerte pendiente. Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. 2010.

INVÍAS. Manual de drenaje de carreteras. Bogotá D. C. 2009.

INVÍAS, Corpocaldas. Manual para el Control de la Erosión. Editorial la Patria S.A. Manizales. 1998.

Fúquenes A., Mónica Elizabeth. Diseño de un Modelo Didáctico de Obras para el Control de la Erosión, Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales, Manizales. 1998.

Ramírez G., Jorge. Canal Escalonado con Pantallas Deflectoras. Estudio en Modelos Hidráulicos. Boletín de Vías No. 37. Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. 1978.



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Instituto de Estudios Ambientales - IDEA -
Teléfono: 8879300 Ext. 50190
Cra 27 #64-60 / Manizales - Caldas
<http://idea.manizales.unal.edu.co>
idea_man@unal.edu.co

Edición, Diseño y Diagramación: IDEA Sede Manizales
Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales