

Tercer Ciclo de Conferencias “El Dato, la Información y el Conocimiento Ambiental, en la gestión de la información”

EROSION, TRANSPORTE Y DEPOSITOS DE SEDIMENTOS A ESCALA DE CUENCA

Claudia Yaneth Contreras Trujillo
Profesional Especializado
Subdirección Hidrología

Bogotá, 23 de agosto de 2013

INDICE

1. INTRODUCCION
2. PROCESOS DE EROSION, TRANSPORTE Y DEPOSITO DE SEDIMENTOS
3. MONITOREO DE LOS SEDIMENTOS EN COLOMBIA
4. MODELACION DE LOS PROCESOS DE EROSION, TRANSPORTE Y DEPOSITOS DE SEDIMENTOS
5. BIBLIOGRAFIA

1. INTRODUCCION

- Proceso de alteración de rocas (agentes físicos y químicos), remoción de partículas, transporte de sedimentos a ríos y nutrientes, depósitos de sedimentos en cauces y playas para conformar espacios fértiles (deltas o las llanuras aluviales).
- Acción antrópica altera los procesos naturales elevando las tasas naturales de erosión: no regeneración del suelo, alteración y degradación de la vegetación, incremento de la escorrentía superficial
- Dentro de una cuenca de drenaje los procesos erosivos actúan a distintas escalas (gotas de lluvia escalas mm o cms movimientos en masa y flujos concentrados a escala de kms.

1. INTRODUCCION



- Importancia entre sedimento y calidad del agua en ambientes sedimentarios, zonas de acumulación o resuspensión de contaminantes, metales pesados, derivados de petróleo, bacterias que están asociadas a los sedimentos finos (limos y arcillas)
- Para la evaluación, cuantificación y modelación numérica de procesos de erosión, transporte y deposito de sedimentos en cuencas se deben combinar factores naturales y antrópicos para desarrollar modelos que permitan evaluar magnitud y tendencias futuras del transporte fluvial de sedimentos.

2. PROCESOS DE EROSION, TRANSPORTE Y DEPOSITO DE SEDIMENTOS

- Remoción de las partículas (lluvia, viento, etc.)

↓
Transporte a lo largo de la ladera de partículas sueltas

↓
Depósitos de los materiales en los cauce de los ríos,
zonas más llanas, embalses o océanos

- Carga de sedimentos. Material sólido de origen mineral e inerte, medida en términos de peso seco o volumen, que fluye con el agua a través de una sección transversal de una corriente hídrica en la unidad de tiempo, y que es aportada por la cuenca de drenaje.

Unidades: Ton/Año, Ton/día, Kg/día, Kg/s

2. PROCESOS DE EROSION, TRANSPORTE Y DEPOSITO DE SEDIMENTOS



Criterios clasificación del Transporte de Sedimentos:

A) Según el modo de transporte

- Carga en suspensión (suspended load). Material se mantiene entre la masa de flujo por fenómenos de turbulencia.
- Carga de arrastre de fondo (bed load). Partículas cuyo peso es sustentado por el fondo del lecho y son partículas de tamaño mayor.
- Carga en saltación (saltation load). Partículas de tamaño intermedio que se mueven saltando. Por instantes su peso es sustentado por el flujo y en otros por el lecho.

Carga Total = Carga en suspensión + carga de arrastre

2. PROCESOS DE EROSION, TRANSPORTE Y DEPOSITO DE SEDIMENTOS



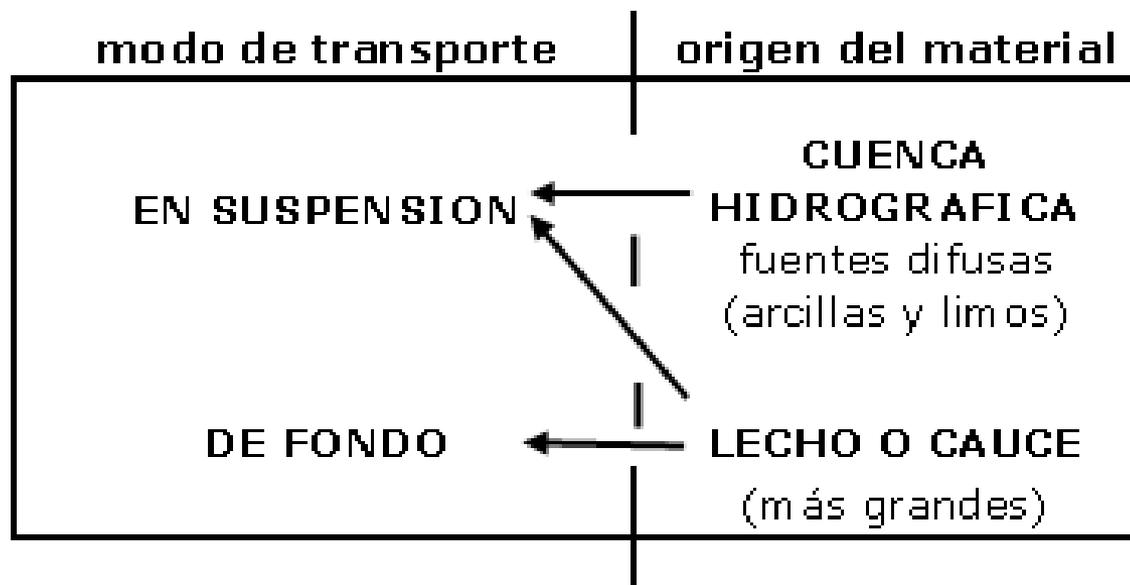
Criterios clasificación del Transporte de Sedimentos:

B) Según el origen del material transportado

- Carga de lavado (wash load). Aporte sedimentológico inmediato de la cuenca a la corriente, resultante del lavado (erosión) de la superficie de la cuenca por efecto de un evento de lluvia. Partículas muy pequeñas moviéndose a una velocidad similar a la del agua y por eso llega pronto al cauce.
- Carga de material del lecho (bed material load). Fuente inmediata de materiales es el propio lecho de la corriente. Se mueven dependiendo de las condiciones locales del flujo en el cauce. Partículas de tamaño mayor y permanecen buena parte del tiempo en reposo y por tanto su avance es muy lento. Es el aporte a largo plazo por parte de la cuenca.

Carga Total = Carga de lavado + Carga de material del lecho

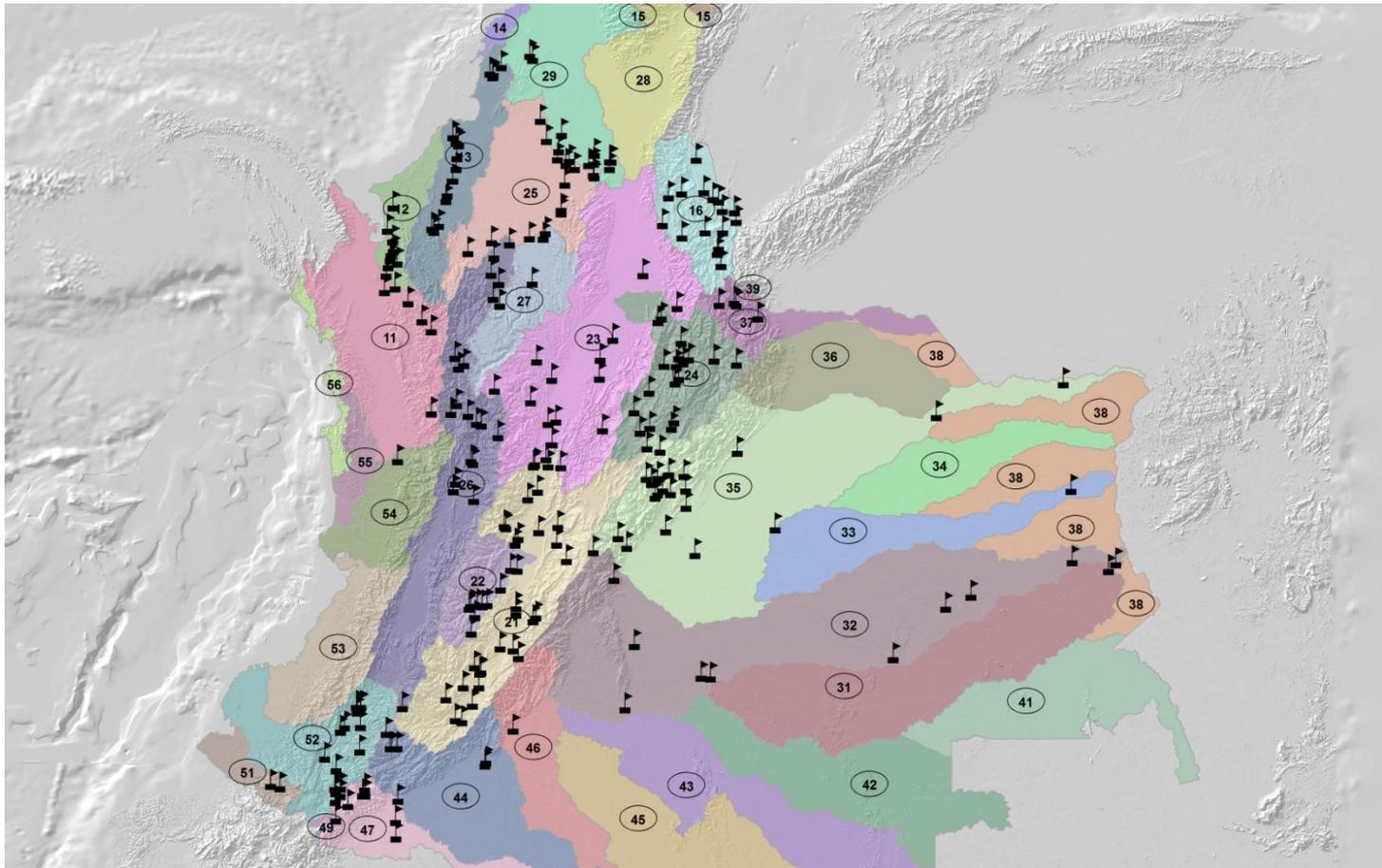
2. PROCESOS DE EROSION, TRANSPORTE Y DEPOSITO DE SEDIMENTOS



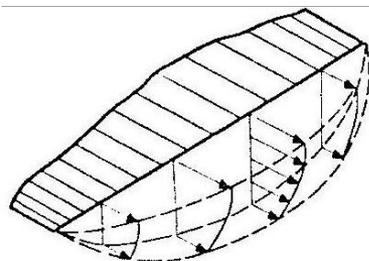
Clasificación del transporte de sedimentos

3. MONITOREO DE LOS SEDIMENTOS EN COLOMBIA

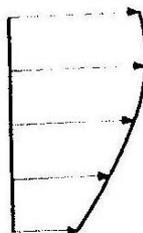
Distribución espacial red medición del transporte de sedimentos



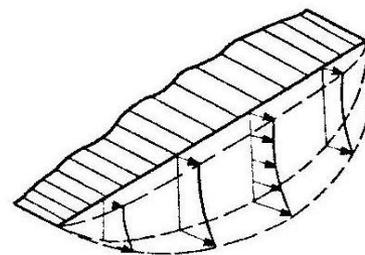
3. MONITOREO DE LOS SEDIMENTOS EN COLOMBIA



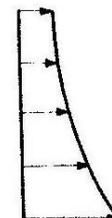
VELOCIDAD DEL FLUJO



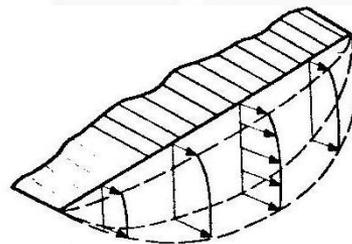
DISTRIBUCION DE VELOCIDAD



CONCENTRACION DE MATERIALES EN SUSPENSION



DISTRIBUCION DE CONCENTRACION

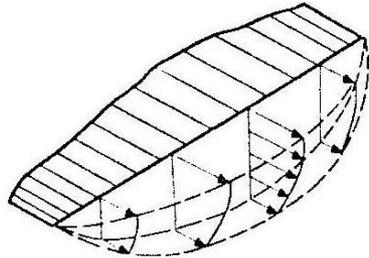


CARGA DE MATERIALES EN SUSPENSION

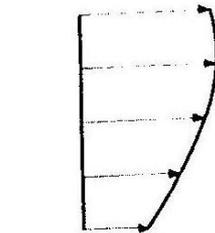


DISTRIBUCION DE CARGA

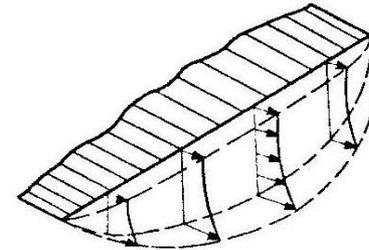
3. MONITOREO DE LOS SEDIMENTOS EN COLOMBIA



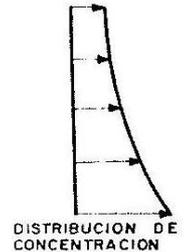
VELOCIDAD DEL FLUJO



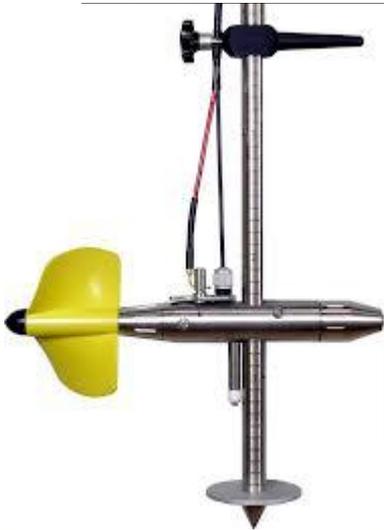
DISTRIBUCION DE VELOCIDAD



CONCENTRACION DE MATERIALES EN SUSPENSION



DISTRIBUCION DE CONCENTRACION



4. MODELACION DE LOS PROCESOS DE EROSION, TRANSPORTE Y DEPOSITOS DE SEDIMENTOS

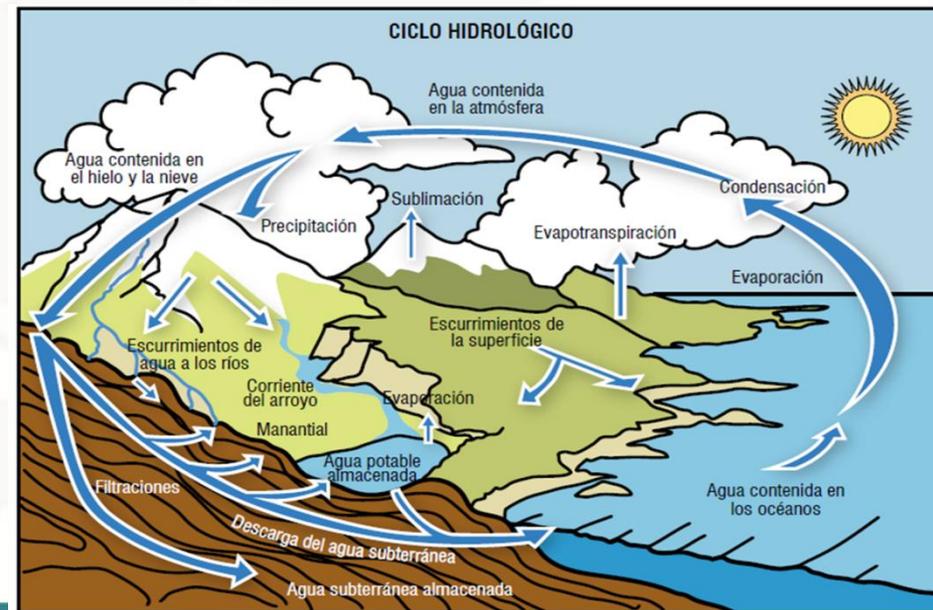
Conceptos básicos. Los modelos hidrológicos y sedimentológicos

Procesos:

- ✓ Precipitación (lluvia, nieve, granizo)
- ✓ Evaporación
- ✓ Transpiración
- ✓ Intercepción y retención en depresiones
- ✓ Escorrentía
- ✓ Infiltración
- ✓ Percolación
- ✓ Erosión, transporte y depósitos de sedimentos

Almacenamientos:

- ✓ Atmósfera
- ✓ Vegetación
- ✓ Suelos
- ✓ Acuíferos
- ✓ Depresiones en el terreno.
- ✓ Almacenamiento de sedimentos



4. MODELACION DE LOS PROCESOS DE EROSION, TRANSPORTE Y DEPOSITOS DE SEDIMENTOS

Modelo	Objetivo
ANSWERS (Areal Nonpoint Source Watershed Environment Response Simulation). Beasley et al. (1977) , Bouraoui et al. (2002)	Simula comportamiento hidrológico y erosivo de pequeñas cuencas agrícolas durante las lluvias e inmediatamente después de ellas.
CREAMS (Chemicals, Runoff and Erosion from Agricultural Management Systems). USDA Knisel 1980	Evalúa la contaminación difusa e investiga cuantitativamente las consecuencias ambientales de distintas prácticas agrícolas. Tiene 3 componentes: hidrología, erosión y química. Es de proceso orientado y parámetros agregados
EUROSEM (European Soil Erosion Model). Morgan et al. 1993	Modelo distribuido aplicable a parcelas y pequeñas cuencas, que simula los fenómenos de rotura de agregados, transporte y sedimentación de sedimento y predice la escorrentía y la pérdida de suelo, dando como resultado hidrogramas y sedimentogramas de eventos de lluvia aislados. Incluye el cálculo de las pérdidas por socavación de cárcavas
GUESS (Griffith University Erosion Sedimentation System). Rose et al., 1983	Modelo matemático que simula los procesos de erosión y deposición a lo largo de una ladera
SEDIMOT Sedimentology by distributed model treatment. Wilson et al. 1984.	
SHE/SHESED Systeme Hydrologique Europeen Sediment. Abbott et al. (1986a,b) , Bathurst et al. (1995)	Modelo distribuido físicamente basado de simulación continua de flujo y sedimento
SWAT Soil Water Assessment Tool. Arnold et al. 1998	Modelo hidrológico físicamente basado de evento continuo desarrollado para predecir el impacto de las prácticas de manejo del suelo en el agua, el sedimento y la producción química agrícola en cuencas complejas con variabilidad en el uso de la tierra y condiciones de manejo sobre largos periodos de tiempo. Para la simulación la cuenca es subdividida en subcuencas homogéneas o Unidades de Respuesta Hidrológica que tienen propiedades únicas de suelo y uso de la tierra.
WEPP (Water Erosion Prediction Project)	Modelo de erosión de simulación continua que predice pérdida de suelo y depósito de sedimentos de los flujos sobre la superficie en laderas, pérdida de suelo y depósito de sedimentos de flujos concentrados en canales pequeños y depósitos de sedimentos en cuerpos de agua.
TETIS-SED	El modelo cuenca con un módulo hidrológico de tipo tanques que modela todas las componentes del ciclo hidrológico; y un modelo sedimentológico que se basa en el modelo CASC2D-SED, desarrollado en la Colorado State University , el cual simula los procesos de producción, transporte y depósito de sedimentos a escala

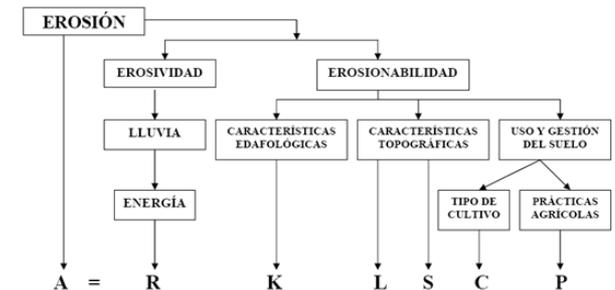
4. MODELACION DE LOS PROCESOS DE EROSION, TRANSPORTE Y DEPOSITOS DE SEDIMENTOS

MODULO HIDROLOGICO

- Transformación lluvia – escorrentía
- Traslación de flujo

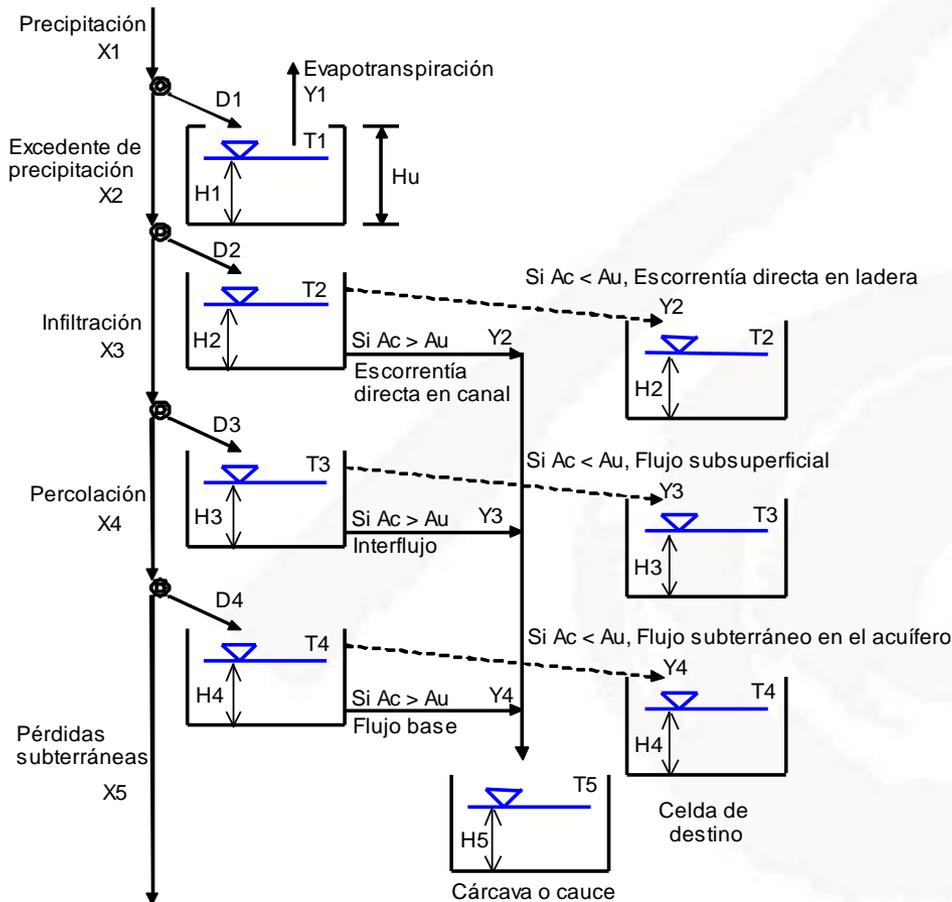
MODULO SEDIMENTOLOGICO

- Parámetros de la USLE
- Balance entre capacidad de transporte y sedimentos disponibles



4. MODELACION DE LOS PROCESOS DE EROSION, TRANSPORTE Y DEPOSITOS DE SEDIMENTOS

El módulo hidrológico del modelo TETIS - SED



- Transformación lluvia – escorrentía.
- Esquema de tanques interconectados
 - Representa la interacción atmósfera – vegetación – suelo – acuífero
 - Cada proceso involucra un relación lineal que depende de un parámetro con sentido físico (capacidad de almacenamiento, conductividad hidráulica) y un factor de calibración sin sentido físico pero con dependencia de escala (temporal y espacial)

Traslación de flujo. Onda cinemática geomorfológica. Un factor corrector

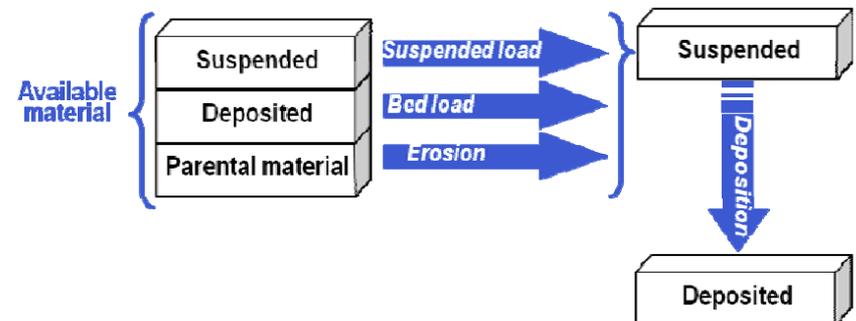
4. MODELACION DE LOS PROCESOS DE EROSION, TRANSPORTE Y DEPOSITOS DE SEDIMENTOS

El módulo sedimentológico del modelo TETIS - SED

- Integración entre el CASC2D-SED y TETIS
- Balance entre capacidad de transporte y sedimentos disponibles
- En ladera: ecuación de Kilinc – Richardson de capacidad de transporte (1). Depende de la pendiente, el caudal unitario y factores K, C y P de la USLE. α factor corrector
- En canales (cárcavas y cauces permanentes): ecuación de Engelund – Hansen (2). Depende del parámetro de Shields (inicio del movimiento), características de los sedimentos, características hidráulicas de la sección. β factor corrector

$$(1) \quad Q_h = \frac{1}{\gamma_s} W \alpha S_o^{1.66} \left(\frac{Q}{W} \right)^{2.035} \frac{K}{0.15} C P$$

$$(2) \quad C_{w,i} = \beta \left(\frac{G}{G-1} \right) \frac{V S_f}{\sqrt{(G-1) g d_i}} \sqrt{\frac{R_h S_f}{(G-1) d_i}}$$



4. MODELACION DE LOS PROCESOS DE EROSION, TRANSPORTE Y DEPOSITOS DE SEDIMENTOS

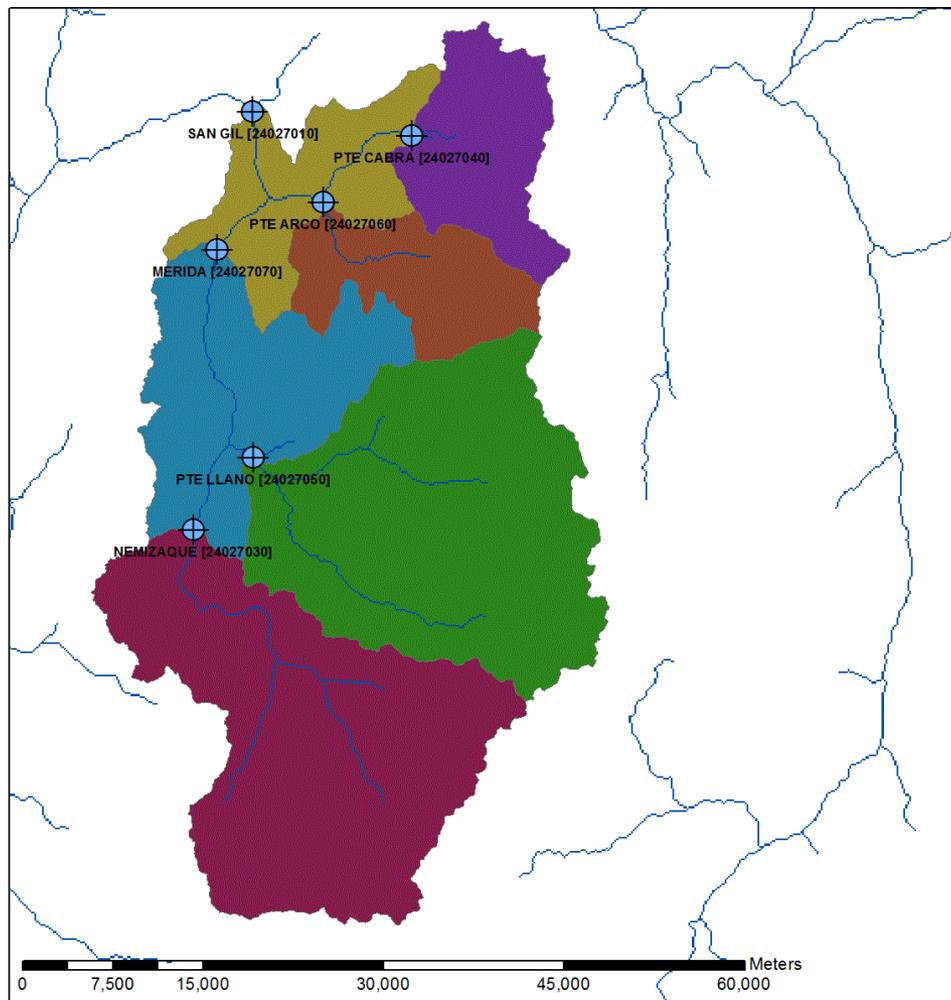


PASOS PARA LA MODELACION

- **Estimación de parámetros.** Los parámetros expresan de forma numérica las características principales del sistema. En el caso del modelo TETIS: MAPAS DE PARÁMETROS.
- **Calibración del modelo.** La calibración consiste en encontrar un juego óptimo de factores de calibración que minimice los errores de los datos estimados por el modelo. Para el TETIS-SED: UN FACTOR DE CALIBRACIÓN PARA CADA PROCESO HIDROLÓGICO Y SEDIMENTOLÓGICO.
- **Validación.** Para comprobar la validez del modelo y su correcta aplicación es necesario validarlo en condiciones diferentes a las del período de calibración. VALIDACIÓN ESPACIAL Y TEMPORAL
- **Simulación de escenarios.** Cambios naturales (p.e. cambios climáticos) o antrópicos (p.e. cambios en los usos del suelo)

4. MODELACION DE LOS PROCESOS DE EROSION, TRANSPORTE Y DEPOSITOS DE SEDIMENTOS

ESTACIONES EN LA CUENCA



Estación	CORRIENTE	Altura (msnm)	Área de drenaje (km ²)
SAN GIL	FONCE	1113	2085
NEMIZAQUE	PIENTA	1400	623
PTE CABRA	MOGOTICOS	1700	182
PTE LLANO	TAQUIZA	1400	605
PTE ARCO	MONCHIA	1320	166
MERIDA	FONCE	1180	1552

Convenciones

- San Gil
- Nemizaque
- Puento Cabra
- Puento Llano
- Puento Arco
- Mérida

4. MODELACION DE LOS PROCESOS DE EROSION, TRANSPORTE Y DEPOSITOS DE SEDIMENTOS



ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS

Mapa de suelos, escala 1:100.00 del “Estudio General de Suelos del Departamento de Santander”:

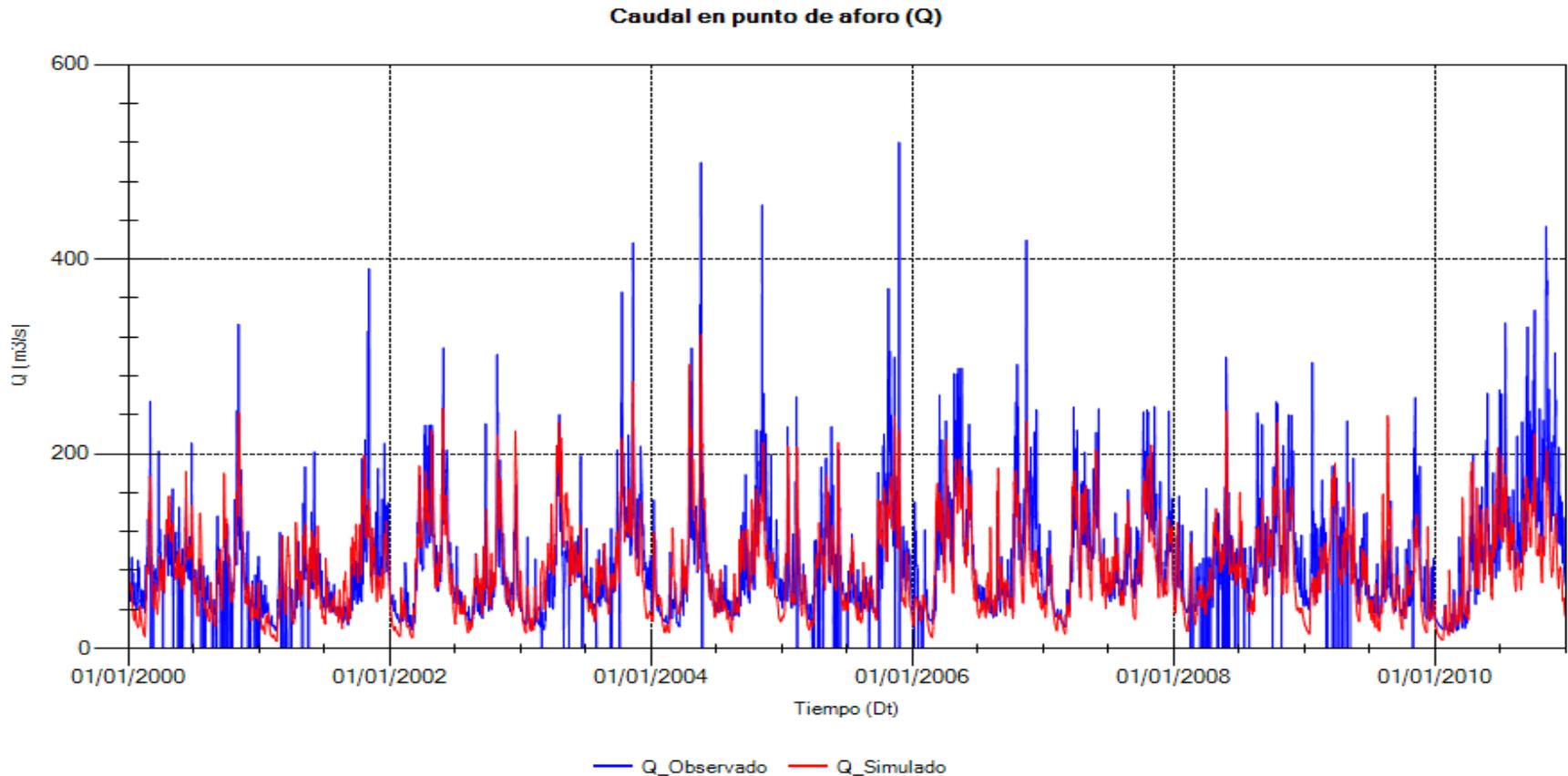
- Capacidad máxima de almacenamiento hídrico del suelo
- Conductividad hidráulica saturada del suelo
- Factor K (erodabilidad del suelo) de la USLE
- Texturas del primer nivel de suelos

Mapa de coberturas vegetales, escala 1:100.000 del “Mapa de coberturas de la tierra, escala 1:100.000, metodología CORINE LAND COVER”:

- Factor C (factor de cultivo) de la USLE
- Factor P (Factor de prácticas de conservación) de la USLE



Validación temporal. 2000 – 2011 en la estación SAN GIL. HIDROGRAMA



Volumen observado (Hm ³)	29545.7	Volumen simulado (Hm ³)	26876
Error en volumen (%)	-9.04	Índice de Nash y Sutcliffe	0.57

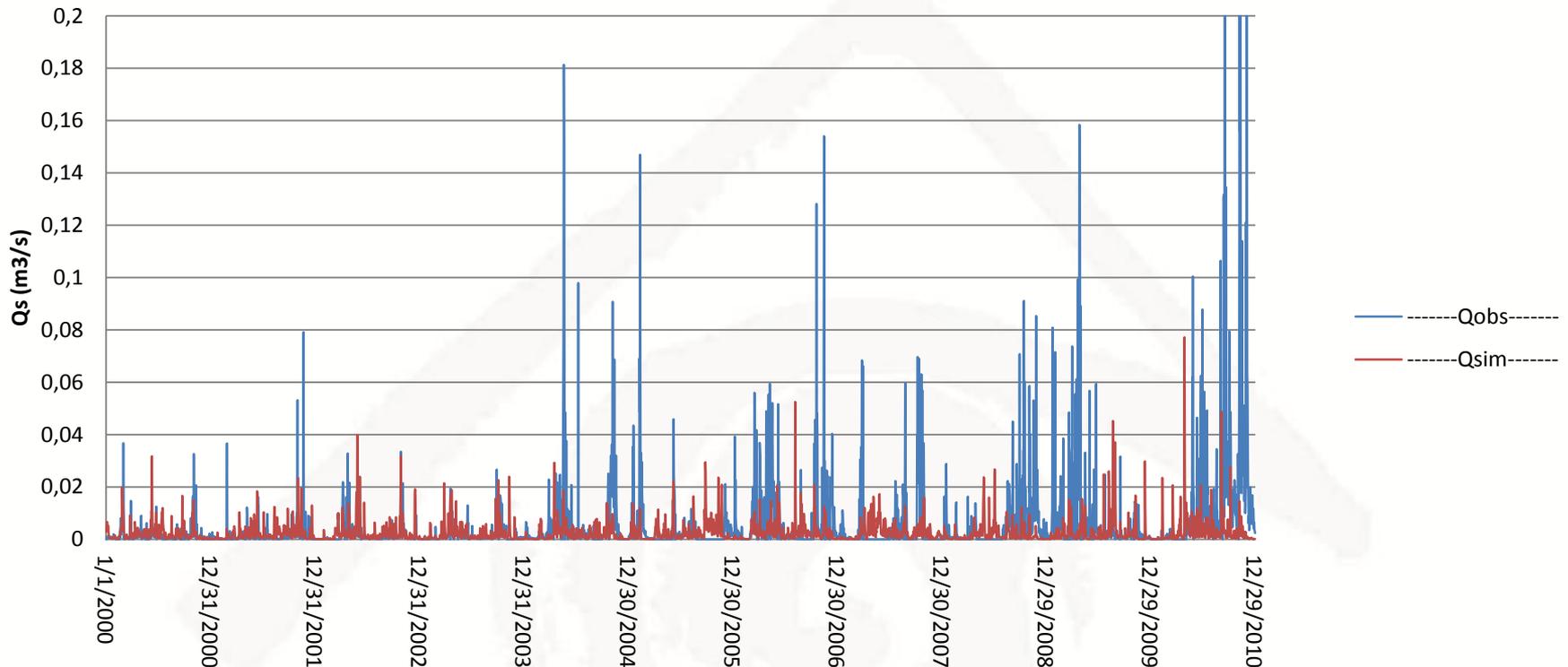
Contrato 242/2012

Apoyar a la subdirección de hidrología en el desarrollo de un modelo hidrológico – sedimentológico a nivel de cuenca con variables tanto de tipo hidrometeorológicos (caudales, sedimentos) como biofísicas (geomorfología, suelos, usos del suelo, erosión).

Juan José Montoya Monsalve
Ingeniero Geólogo, PhD
Cel: 301 241 3658

Calibración, validación y simulación de escenarios en la cuenca del río Fonce

Caudal de sedimentos



Volumen observado (Hm ³)	1296548	Volumen simulado (Hm ³)	839190
Error en volumen (%)	54.5	Índice de Nash y Sutcliffe	0.22

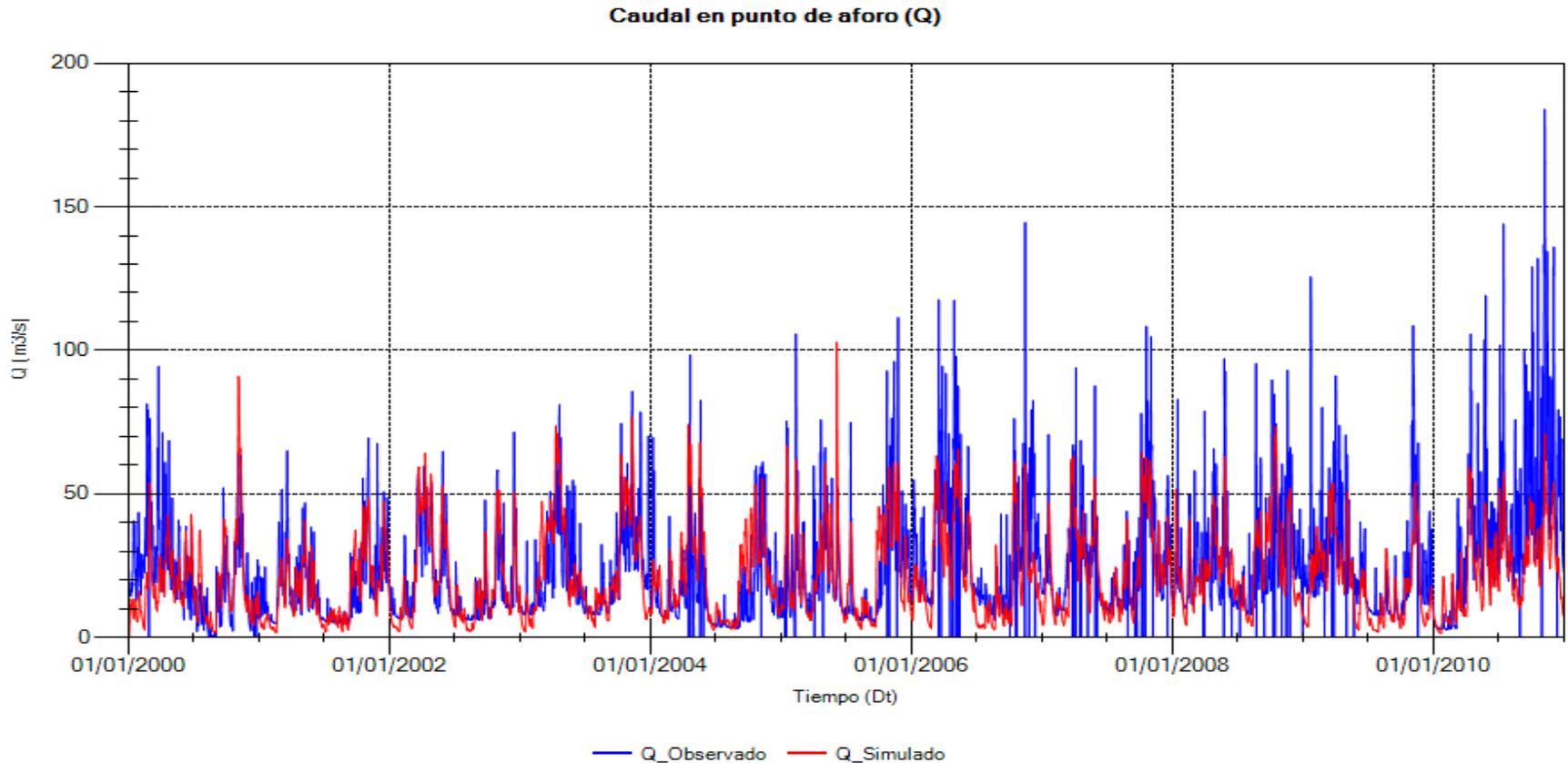
Contrato 242/2012

Apoyar a la subdirección de hidrología en el desarrollo de un modelo hidrológico – sedimentológico a nivel de cuenca con variables tanto de tipo hidrometeorológicos (caudales, sedimentos) como biofísicas (geomorfología, suelos, usos del suelo, erosión).

Juan José Montoya Monsalve
Ingeniero Geologo, PhD
Cel: 301 241 3658

Calibración, validación y simulación de escenarios en la cuenca del río Fonce

Validación espacio-temporal. HIDROGRAMA 2000 – 2011 en la estación NEMIZAQUE



Volumen observado (Hm ³)	8283.74	Volumen simulado (Hm ³)	7230.2
Error en volumen (%)	-12.72	Índice de Nash y Sutcliffe	0.44

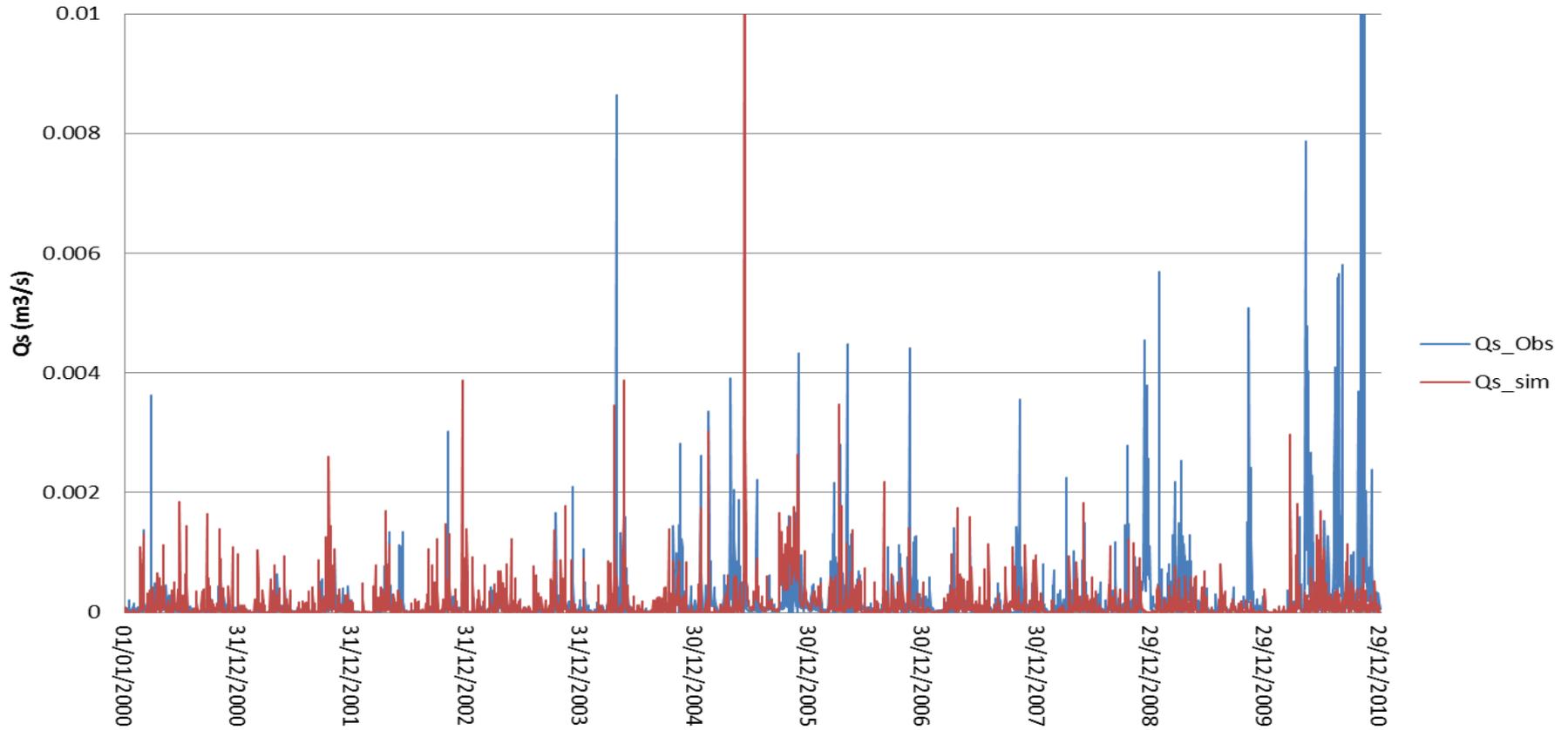
Contrato 242/2012

Apoyar a la subdirección de hidrología en el desarrollo de un modelo hidrológico – sedimentológico a nivel de cuenca con variables tanto de tipo hidrometeorológicos (caudales, sedimentos) como biofísicas (geomorfología, suelos, usos del suelo, erosión).

Juan José Montoya Monsalve
Ingeniero Geólogo, PhD
Cel: 301 241 3658

Calibración, validación y simulación de
escenarios en la cuenca del río Fonce

Validación espacio-temporal. SEDIMENTOGRAMA 2000 – 2011 en la estación NEMIZAQUE



Volumen observado (m ³)	72358.5	Volumen simulado (m ³)	49670.1
Error en volumen (%)	31.35	Índice de Nash y Sutcliffe	0.51

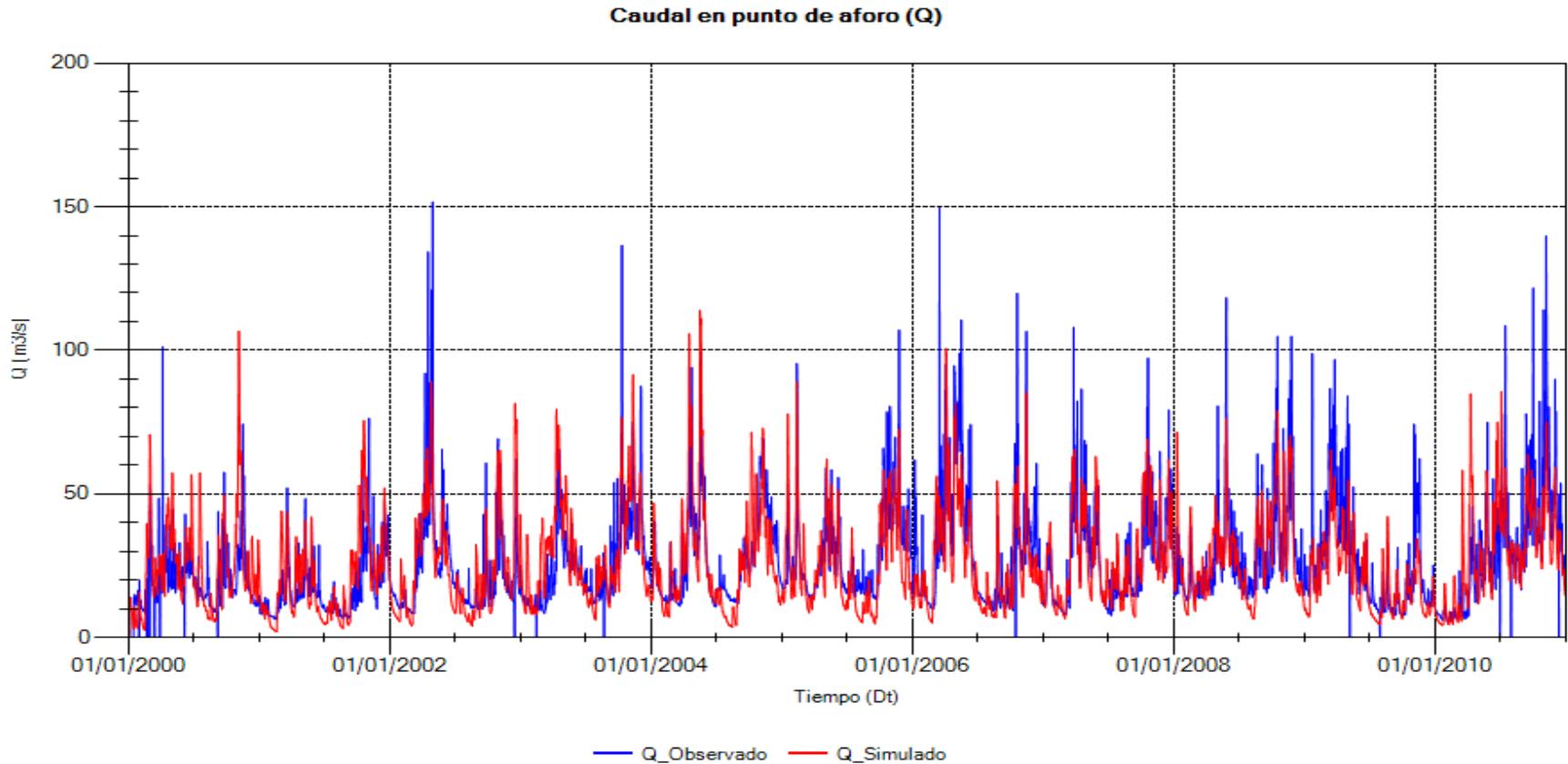
Contrato 242/2012

Apoyar a la subdirección de hidrología en el desarrollo de un modelo hidrológico – sedimentológico a nivel de cuenca con variables tanto de tipo hidrometeorológicos (caudales, sedimentos) como biofísicas (geomorfología, suelos, usos del suelo, erosión).

Juan José Montoya Monsalve
Ingeniero Geólogo, PhD
Cel: 301 241 3658

Calibración, validación y simulación de
escenarios en la cuenca del río Fonce

Validación espacio-temporal. HIDROGRAMA 2000 – 2011 en la estación PUENTE LLANO



Volumen observado (Hm ³)	9003.7	Volumen simulado (Hm ³)	8940.0
Error en volumen (%)	-0.71	Índice de Nash y Sutcliffe	0.48

Contrato 242/2012

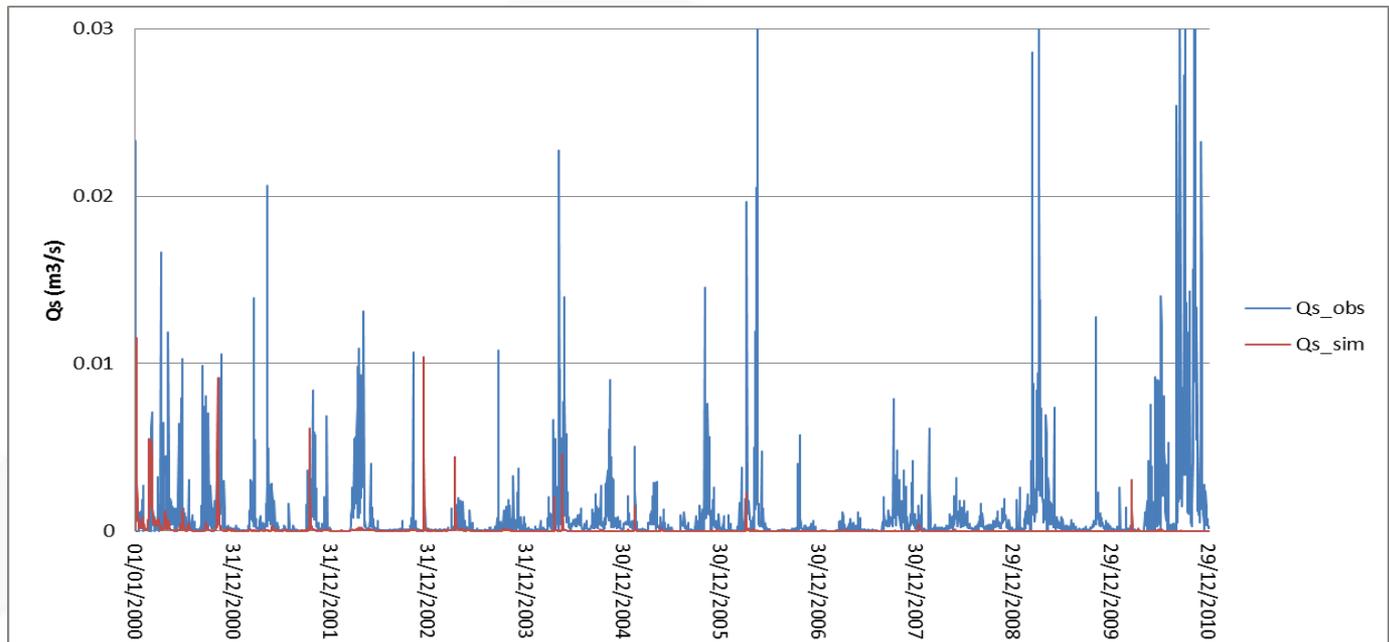
Apoyar a la subdirección de hidrología en el desarrollo de un modelo hidrológico – sedimentológico a nivel de cuenca con variables tanto de tipo hidrometeorológicos (caudales, sedimentos) como biofísicas (geomorfología, suelos, usos del suelo, erosión).

Juan José Montoya Monsalve
Ingeniero Geólogo, PhD
Cel: 301 241 3658

Calibración, validación y simulación de
escenarios en la cuenca del río Fonce

Validación espacio-temporal. SEDIMENTOGRAMA 2000 – 2011 en la estación PUENTE LLANO

- El modelo subestima los caudales de sedimentos en la estación Puente Llano.



Volumen observado (m ³)	308621.5	Volumen simulado (m ³)	24644.2
Error en volumen (%)	92.02	Índice de Nash y Sutcliffe	0.11

4. MODELACION DE LOS PROCESOS DE EROSION, TRANSPORTE Y DEPOSITOS DE SEDIMENTOS

FUENTES DE INCERTIDUMBRE

- Mapas de parámetros del modelo.
 - Los valores de los parámetros se estiman a partir de información secundaria y de propiedades texturales y composicionales.
- Series temporales de entrada.
 - Precipitación
 - Evaporación
- Series temporales de salida utilizadas en la calibración
 - Series de caudales líquidos
 - Series de caudales sólidos
- Conceptualización del modelo
 - No considera fuentes de sedimentos puntuales (movimientos en masa, procesos de inestabilidad en cauces, extracción de materiales de playa)

4. MODELACION DE LOS PROCESOS DE EROSION, TRANSPORTE Y DEPOSITOS DE SEDIMENTOS

PARÁMETROS DE EROSIÓN PARA EL MODELO (FACTORES DE LA USLE)

Factor C (Cobertura)



Coberturas de pastos, herbazales y relictos de bosque, en zonas altas de la cuenca.
Zonas desprotegidas por cobertura natural.
Material susceptible a deslizamientos.
Zonas inestables con grandes deslizamientos.

5. BIBLIOGRAFIA



- Cerdá A. La erosión del suelo y sus tasas en España. Revista Ecosistemas. Año X N° 3, Erosión y Desertificación, Septiembre-Diciembre 2001.
http://www.revistaecosistemas.net/index_frame.asp?pagina=http%3A/www.revistaecosistemas.net/articulo.asp%3Fid%3D346%26Id_Categoria%3D1%26tipo%3Dportada.
- Contreras Trujillo, C. Y. Proyecto de Investigación “Erosión y Transporte de Sedimentos en Cuencas Hidrográficas” para aplicar al Diploma de suficiencia investigadora DEA -Diploma de Estudios Avanzados- de la Universidad Politécnica de Valencia de España.
- Cubillos Peña Carlos Eduardo. Apuntes de Clase. Universidad Nacional de Colombia –Sede Bogotá. Profesor asociado, Facultad de Ingeniería
- IDEAM –Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales-. Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento del Agua. Bogotá 2007. ISBN 978-958-8067-23-0
(<https://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/Bvirtual/021172/Protocoloparaelmonitoreoyseguimientodelagua.pdf>)
- IDEAM. Implementación de un modelo hidro-sedimentológico para la cuenca del río Fonce (contrato prestación de servicios 242/2012); Validación en campo (contrato prestación de servicios 084/2013)
- Martín Vide Juan P. Ingeniería de ríos. Ediciones Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona. Segunda edición: diciembre de 2006.
- Martínez Marín Eduardo. Hidráulica Fluvial, Principios y Práctica. Bellisco Ediciones Técnicas y Científicas. Madrid, Primera edición 2001.
- Montoya Monsalve J.J. Desarrollo de un modelo conceptual de producción, transporte y depósito de sedimentos. Tesis doctoral Universidad Politécnica de Valencia, Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente. Valencia, enero de 2008
- Perillo Gerardo M.E., Dinámica del transporte de sedimentos. Instituto Argentino de Oceanografía, Departamento de Geología, Universidad Nacional del Sur. Publicación Especial N° 2 de la Asociación Argentina de Sedimentología. Primera Edición 2003.

NECESIDADES DE INVESTIGACION Y TRABAJO EN EL CORTO Y MEDIANO PLAZO

- Optimización de la red de sedimentos
- Nuevas tecnologías de medición de sedimentos
- Indicadores de seguimiento de producción, transporte y depósitos de sedimentos en cuencas
- Simulación de escenarios de modelación hidro-sedimentológica





IDEAM

Instituto de Hidrología,
Meteorología y
Estudios Ambientales



Nación
Unida

PROSPERIDAD
PARA TODOS

GRACIAS