X SEMINARIO
LA SOSTENIBILIDAD UN PUNTO DE ENCUENTRO

AVANCES DE LA CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE:
MATERIALES, GESTIÓN Y POLÍTICAS PÚBLICAS

Modelación Hidráulica para la Extracción Sostenible de Agregados para Construcción provenientes de Ríos Aluviales

Dr. Walter F. Silva Araya
Catedrático
Departamento de Ingeniería Civil y Agrimensura
Recinto de Mayagüez
Universidad de Puerto Rico

Francisco Rodríguez Santos
Bachiller en Ingeniería Ambiental
Estudiante de Maestría en Ing. Civil.
Recinto de Mayagüez
Universidad de Puerto Rico

INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA COLEGIO MAYOR DE ANTIOQUIA

Agenda

1. Puerto Rico
2. Balance de sedimentos y efectos de extracción de materiales en los ríos
3. Problemática actual
4. Caso de Puerto Rico
5. ¿Qué entendemos por extracción sostenible?
6. Metodología propuesta
7. Modelo para transporte de sedimentos
8. Simulación de operaciones de extracción
9. Caso de studio
10. Conclusiones

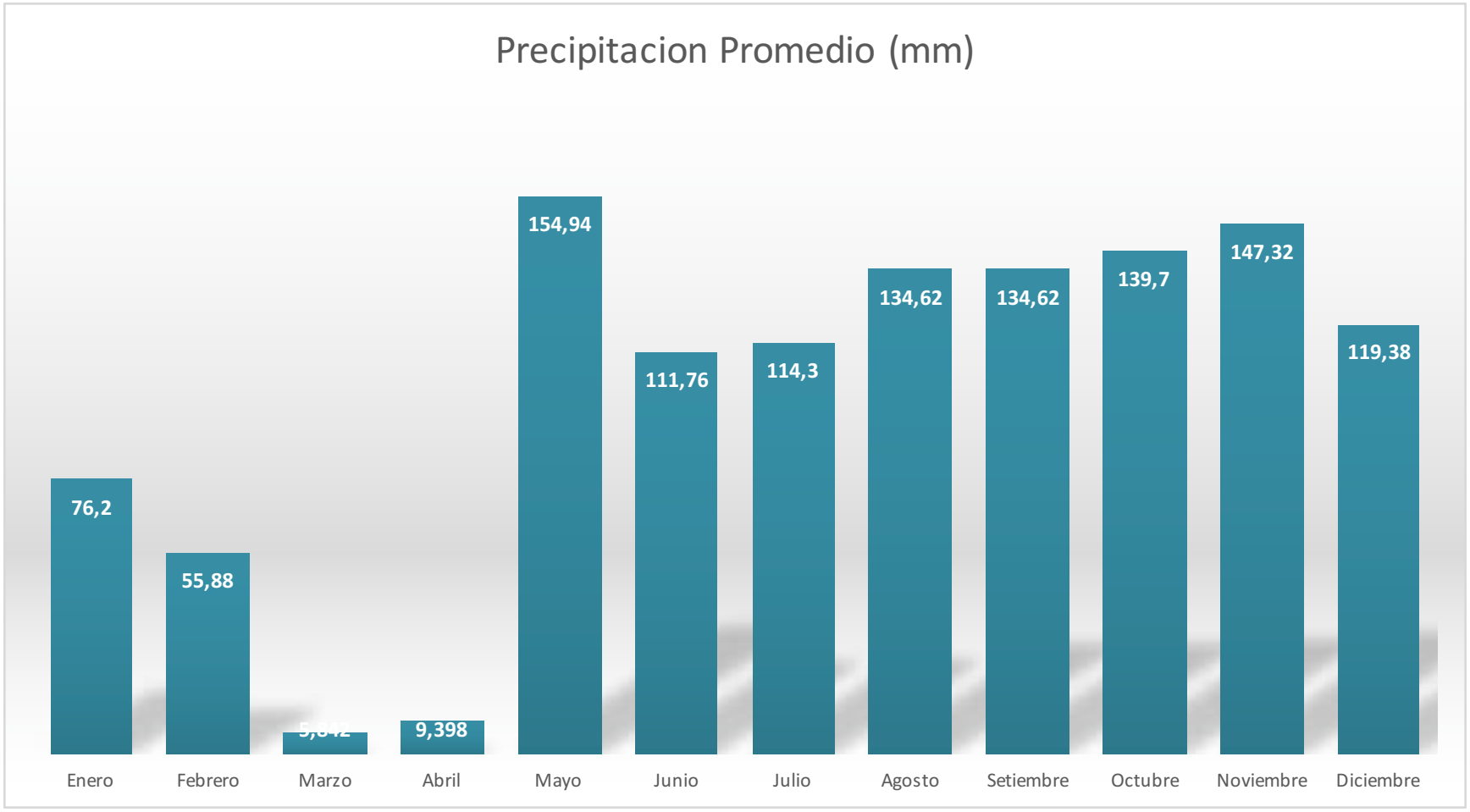
Puerto Rico

- Menor de las Antillas Mayores
- Incluye dos islas más: Vieques y Culebra
- Tercera isla más grande de los Estados Unidos
- 580 km de costa
- Area : 9,104 km^2

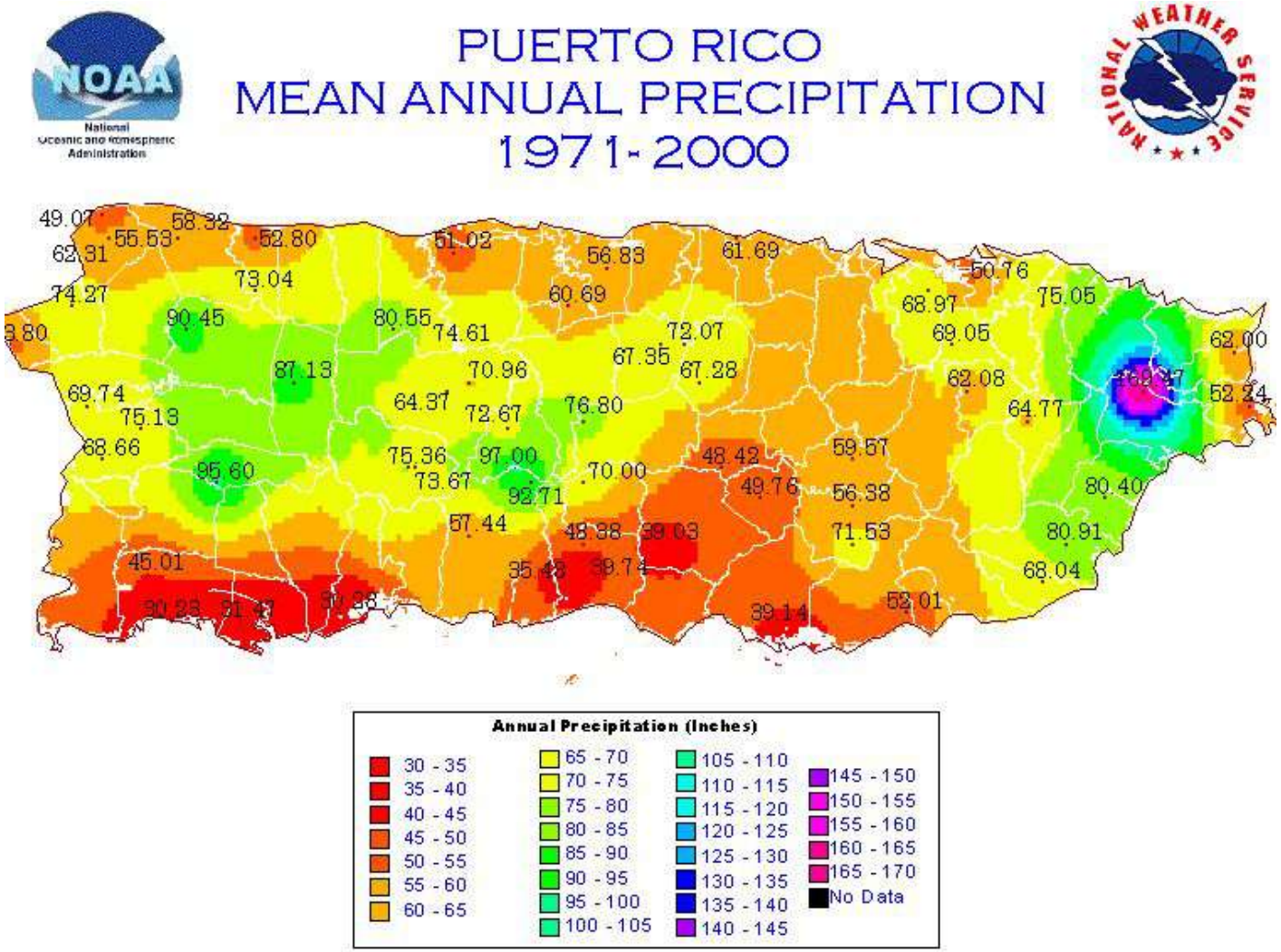
Hidrografía de Puerto Rico

- Ríos que drenan hacia el norte:
  - Grande de Loíza (65 km)
  - Bayamón (40 km)
  - La Plata (80 km)
  - Grande de Arecibo (55 km)
- Ríos que drenan hacia el sur y oeste:
  - Culebrinas (45 km)
  - Grande de Añasco (65 km)
  - Guanajibo (36 km)
- Tiene 15 lagos, todos construidos
  - Generacion hidroeléctrica
  - Irrigación
  - 14,000 km de ríos

Precipitación



Precipitación



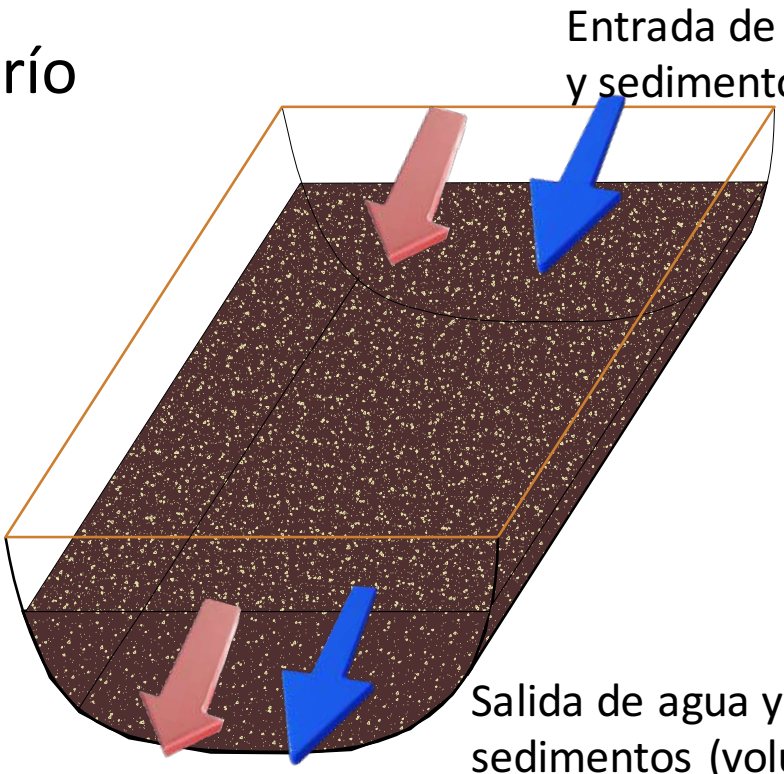
Equilibrio de sistemas fluviales

- Sistema fluvial en equilibrio dinámico:
  - Ancho, pendiente, profundidad son tales que permiten que no ocurran cambios significativos en un periodo de tiempo largo.
  - El equilibrio se pierde por cambios en el caudal, la pendiente, la descarga de sedimentos o el tamaño de los sedimentos.
  - Estos cambios se reflejan en erosión, sedimentación o cambios en la geometría

- Los cambios se propagan...

Balance natural de sedimentos

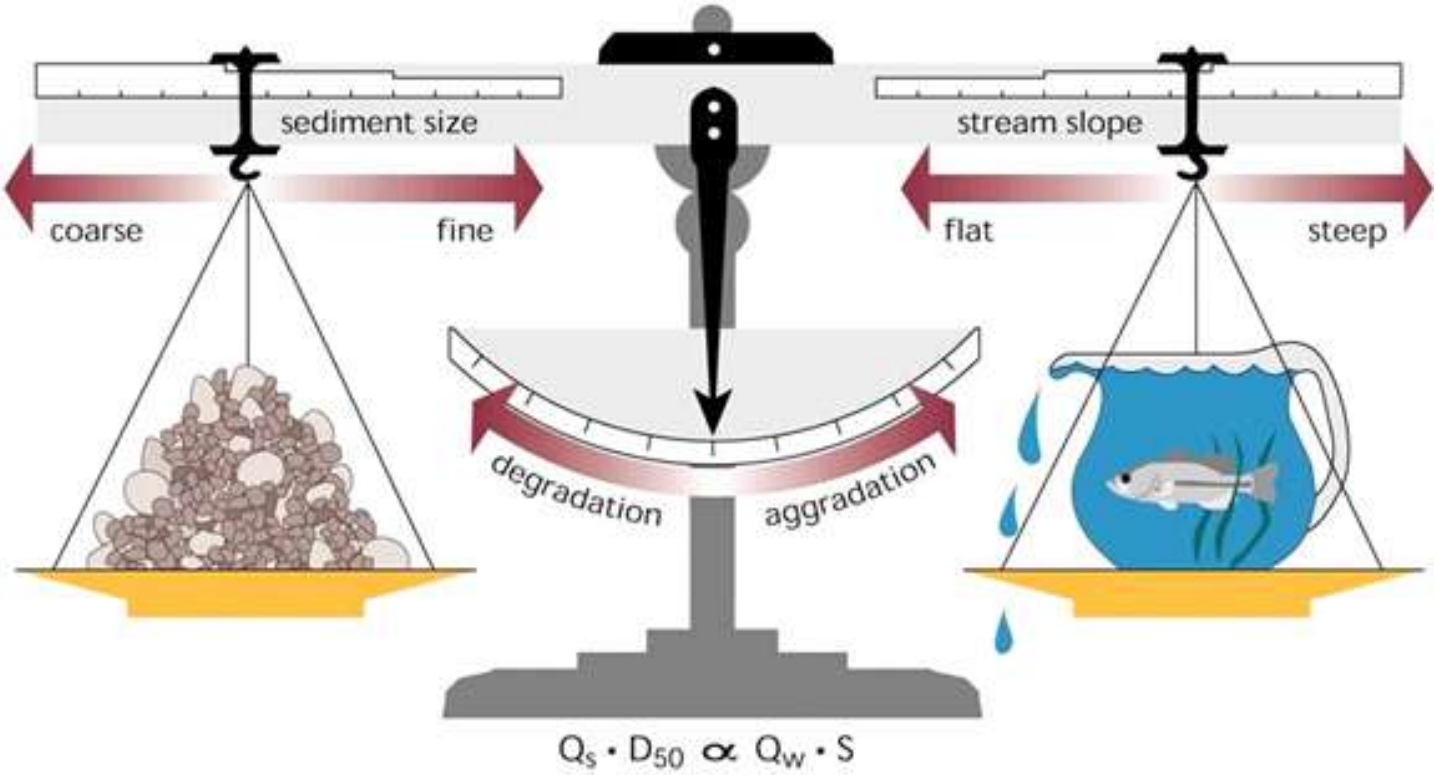
- Intervienen las fuentes de sedimentos y capacidad de transporte de río
- Suplidores: La cuenca y erosión río arriba
- Capacidad de transporte:
  - Tamaño del sedimento
  - Caudal
  - Geometría de canal
  - Hidráulica del canal
- Degradación (erosión):
  - Sale más sedimento de lo que entra
- Agradación (Deposición):
  - Entra más sedimento del que sale



Cambio en volumen = Entrada – Salida
Negativo: erosiona material
Positivo: sedimenta material

Equilibrio de sistemas fluviales

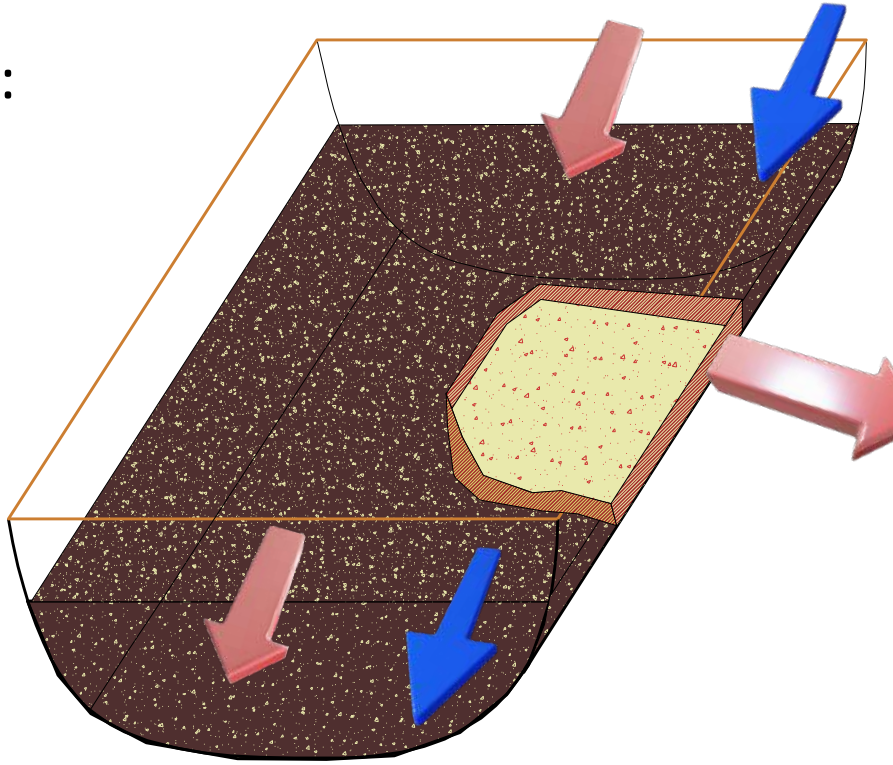
- Inestabilidad en el sistema fluvial = perturbacion del equilibrio (Lane,1955)



https://www.as.uky.edu/sites/default/files/blogs_images/lanescale.png

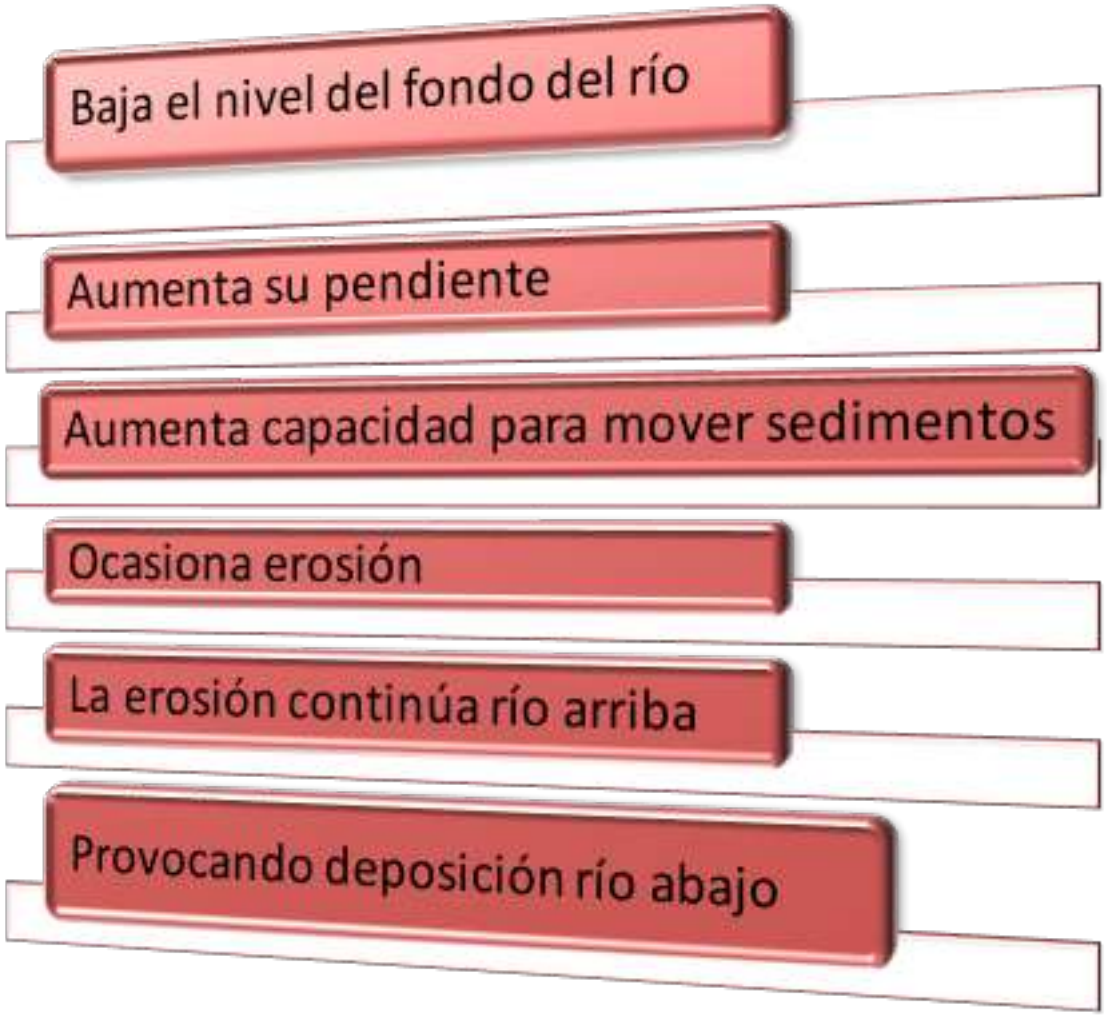
Balance de sedimentos con intervención humana

- Factores humanos
  - Cambios o alteraciones en el río:
    - Dragado
    - Canalizaciones
    - Limpieza
    - Cortes de meandro
  - **Extracción de materiales**
  - Represas y embalses
  - Cambios en el uso de la tierra
  - Carreteras y puentes producen alteraciones locales



Hablaremos de la extracción de materiales de los ríos que son usados como agregados para el hormigón o para aumentar capacidad del cauce.

Efectos hidráulicos de la extracción



Efectos hidráulicos de la extracción

- Exceso de extracción puede ocasionar que la razón a la que se extrae exceda la razón de material depositado naturalmente
- Aumenta la posibilidad de socavación en estructuras (pilastras y estribos de puentes)

Socavación en pilotes del Puente sobre el Río Inabón en carretera PR-52

Efectos ambientales

- Aumentos de turbiedad impacta o elimina el crecimiento de plantas acuáticas por evitar penetración de la luz solar
- La turbiedad aumenta la temperatura del agua, reduce los niveles de oxigeno disuelto y puede causar la muerte de los peces y sus larvas
- Remoción del sustrato por la maquinaria afecta la diversidad acuática incluyendo lugares de desove de peces

http://justin-meager.com/images/turbidcod2.jpg

Problemática actual

- La problemática relacionada con la extracción de materiales y dragado de ríos abarca muchos países
- La industria de la construcción es una fuente importante de ingresos en muchos países.
- La extracción de materiales de ríos para agregados de hormigón suple una necesidad
- Las leyes y reglamentos ambientales enfocan ésta problemática
- Sin embargo:
  - Pocos casos son documentados
  - No se hacen cumplir las leyes
  - Los reglamentos y guías son muy generales
  - Métodos cuantitativos de ingeniería que se proponen son muy aproximados o no se incluyen del todo

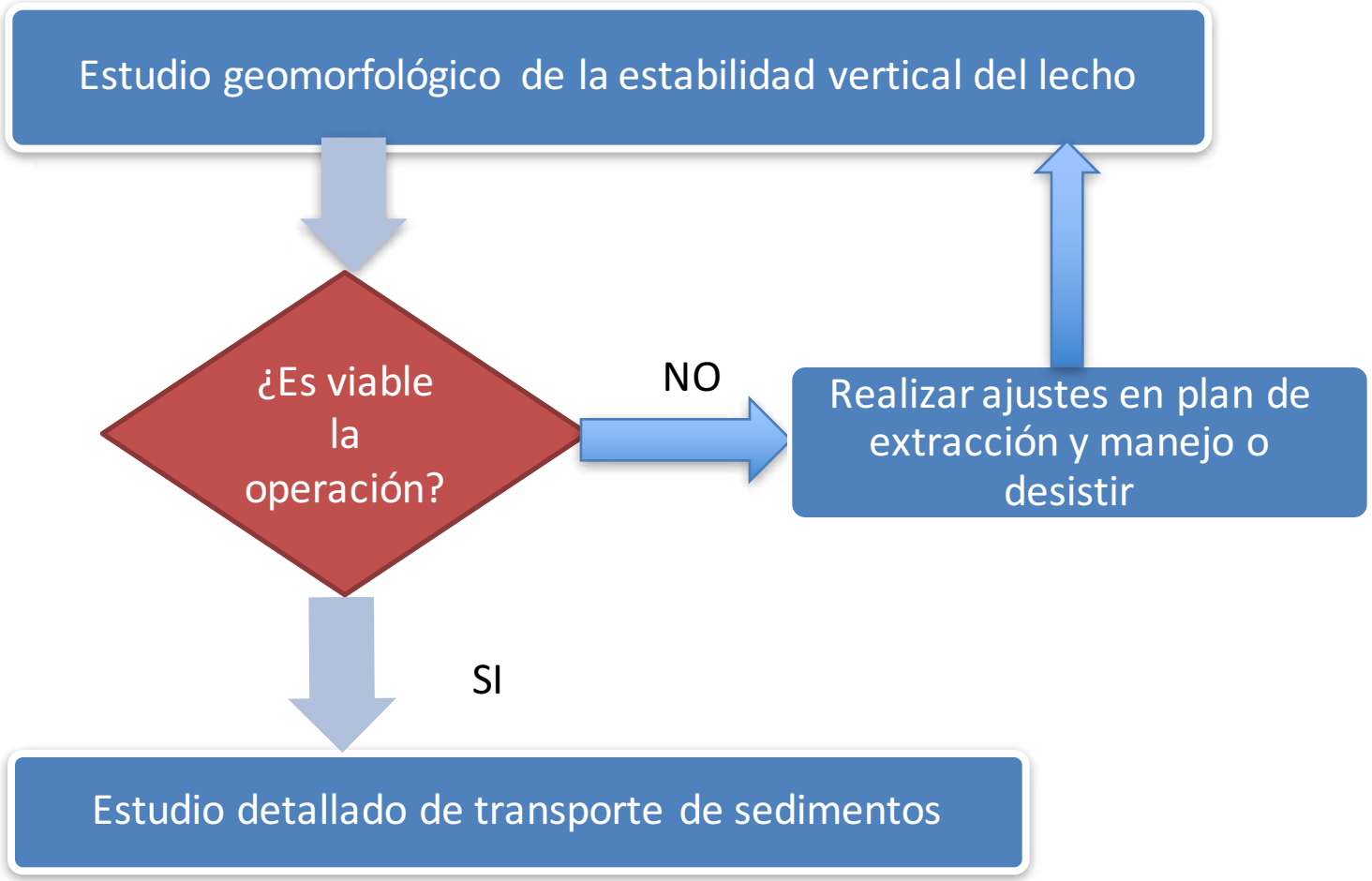
Caso de Puerto Rico

- En Diciembre de 2016 el Departamento de Recursos Naturales y Ambientales de Puerto Rico adoptó las *Guías para la Elaboración de Estudios de Transporte de Sedimentos para la Extracción de Materiales de los ríos de Puerto Rico*.
- Objetivo: Minimizar los daños al ambiente y reducir los impactos ocasionados por esta actividad.
- Propósito: Contribuir a la protección de los recursos asociados a los ecosistemas acuáticos y la conservación de los ríos donde se proponen o se lleva a cabo estas actividades.

¿Qué entendemos por una extracción sostenible?

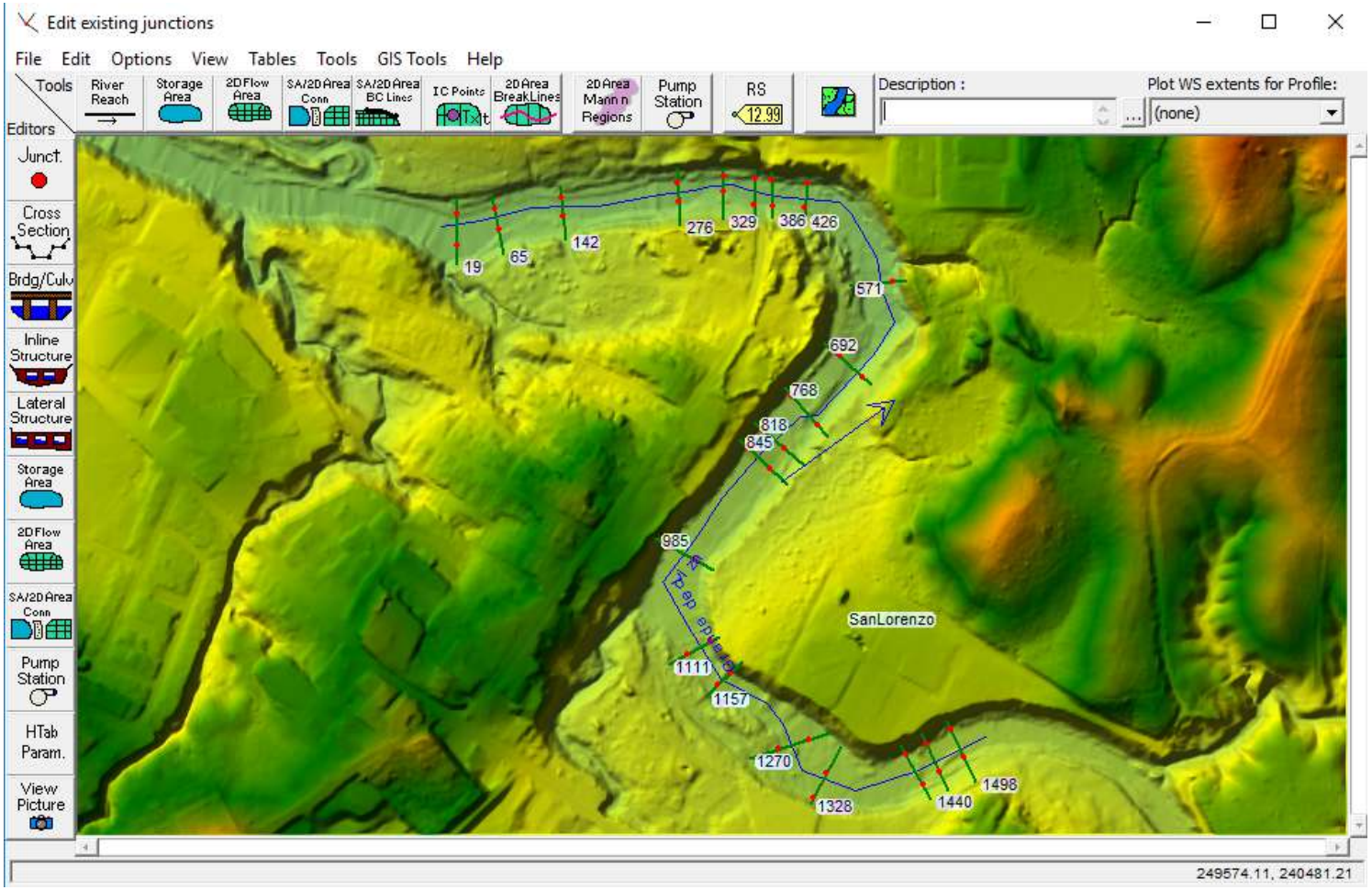
- La operación de extracción es una **sostenible** si el tramo de río impactado es capaz de recuperar su condición natural con aportación del material transportado por el cauce.
- Esto implica que la extracción de materiales debe hacerse a una razón tal que no se exceda el umbral más allá del cual la reposición del mismo no será posible.

Metodología propuesta



Modelo para transporte de sedimentos y extracción de material

- Modelo HEC-RAS 5.0 o posterior



Modelo para transporte de sedimentos y extracción de material

- Recolección de información
  - Caudales
  - Secciones transversales del río o batimetría en la zona del Proyecto
  - Temperatura del agua
  - Granulometría de los sedimentos
  - Selección de la relación de transporte de sedimentos
  - **Límites y plan de ejecución de la operación de extracción**
  - **Volumenes o pesos de material que se extraerá**
  - **Tiempo de duración del permiso de extracción**

Simulación de operaciones de extracción de material

Modelar Operaciones de extracción de materiales:

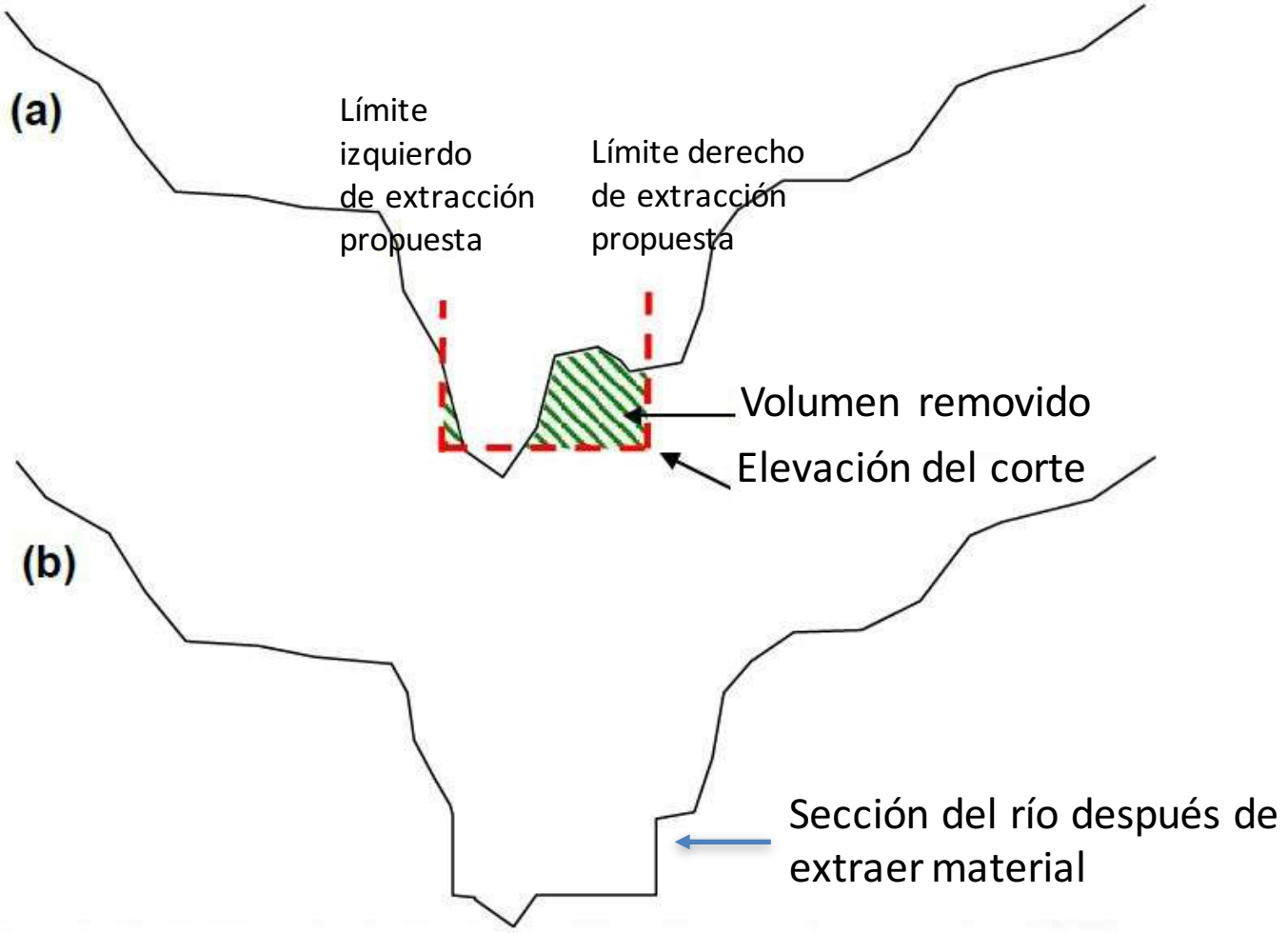
- HEC-RAS permite el modelaje de operaciones de extracción o dragado de sedimentos.
- Se ha utilizado mayormente para dragado de ríos
- Las Guías de Puerto Rico extienden esta aplicación para evaluar operaciones de extracción de materiales para construcción

Extracción de materiales del Río Loíza en San Lorenzo, Puerto Rico

Simulacion de operaciones de extracción de material

1. Preparar un modelo de transporte de sedimentos
2. Calibrar y verificar ese modelo (de ser possible !)
3. Incluir la operación de extracción.
4. En HEC-RAS existen varias formas de hacerlo
   a) Especificando las estaciones entre las cuáles se realiza la operación y la profundidad del lecho que se quiere extraer (Left Sta – Right Sta. Elev.)
   b) Especificando el ancho de cauce y la profundidad de la extracción
   c) Especificando la masa de material que se propone extraer

Simulación de operaciones de extracción de material



Caso de estudio

Río Grande de Loíza:

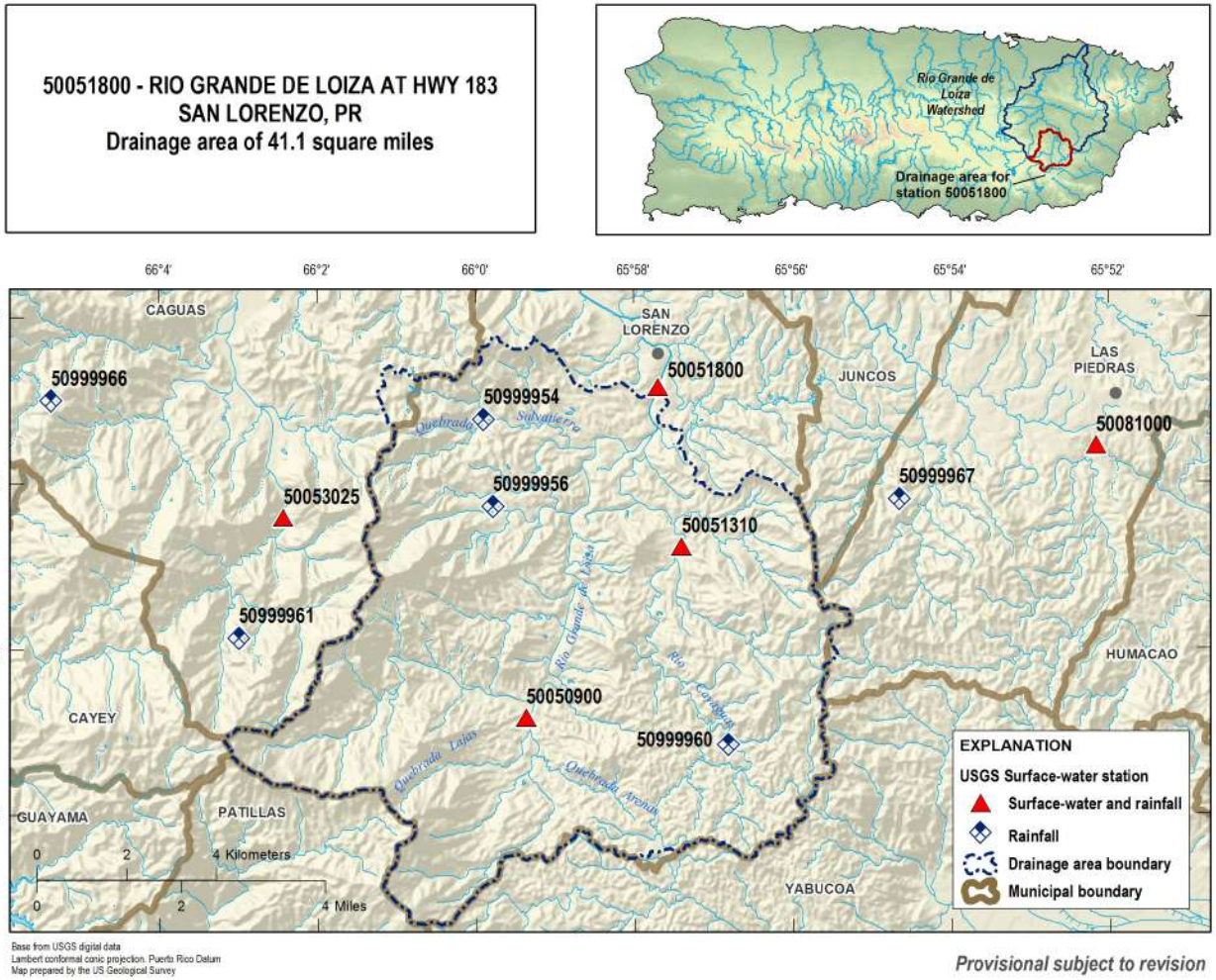
- Su Cuenca es la de mayor tamaño en Puerto Rico. (751 km^2)
- Flujo Promedio Anual:
  - 236,890 acre ft/ yr
- Largo de 67 km.
- Cauce principal:
  - Comienza en San Lorenzo.
  - Termina en Loíza.

DRNA- Cuenca del Río Grande de Loíza

Caso de estudio

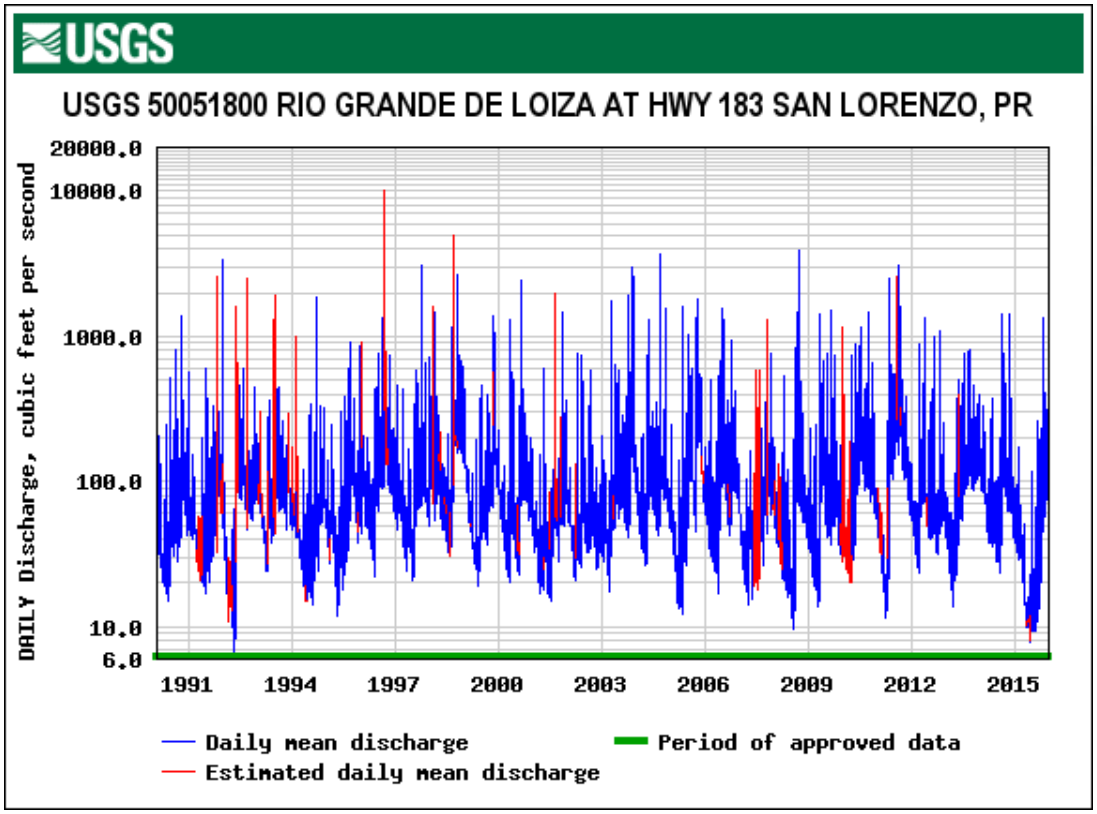
Río Grande de Loíza:

Su Cuenca es la de mayor tamaño en Puerto Rico.



Caso de estudio

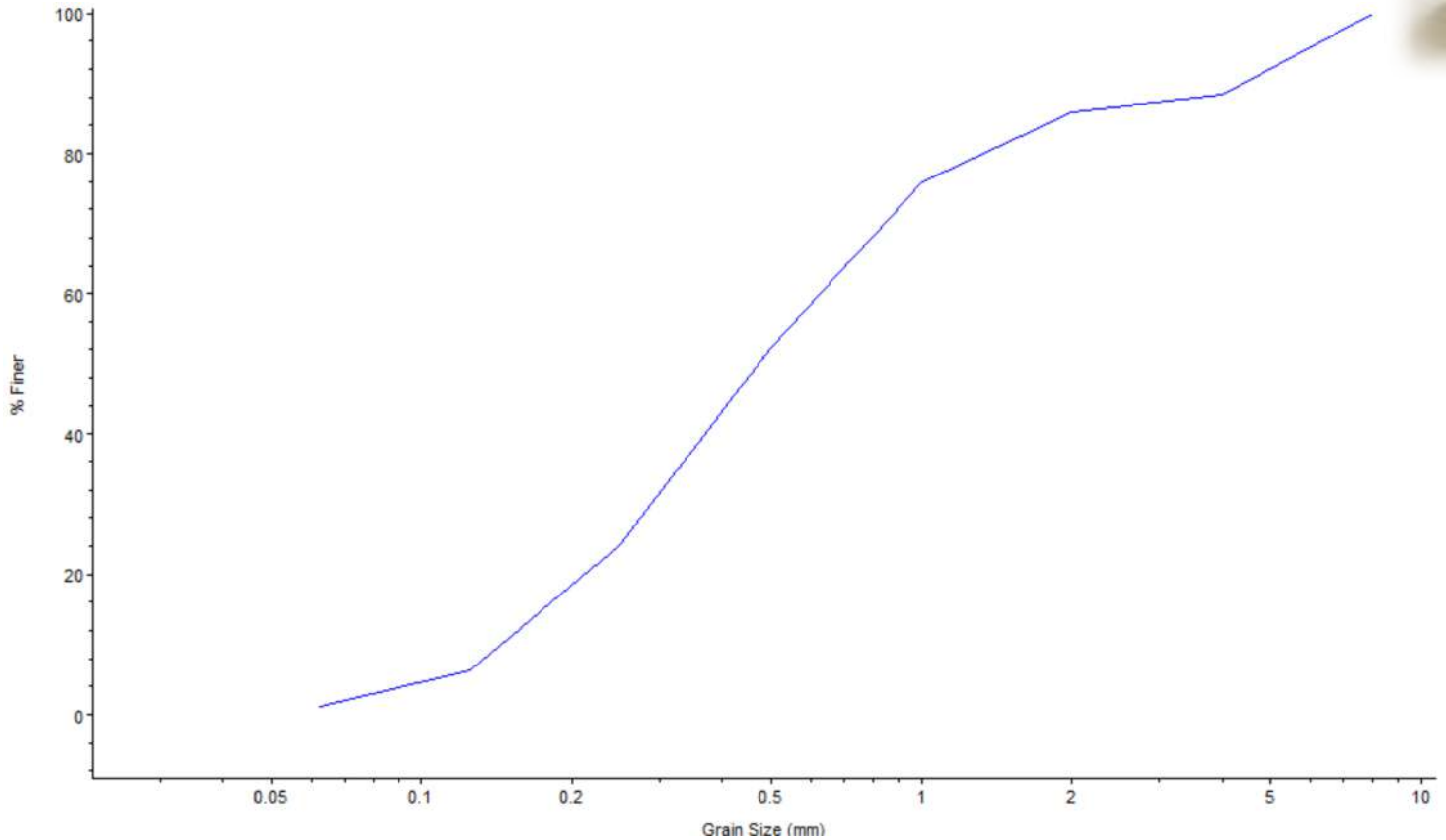
- Se utiliza la estación del USGS 50051800.
  - Cuenta con datos de caudal diario desde 1990.
  - No datos de sedimentos de fondo
  - Cuenca hasta proyecto: 117.85 km^2

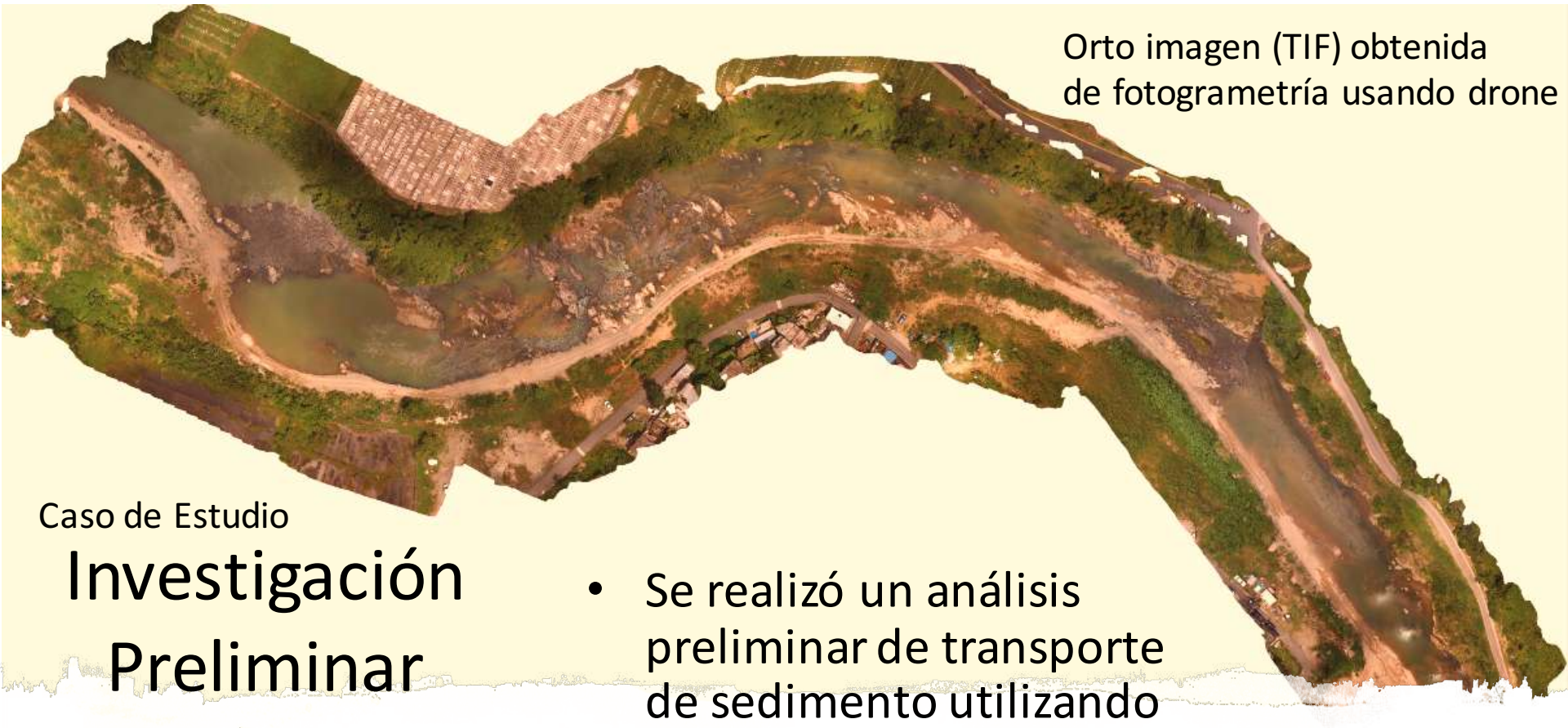


Caso de Estudio

- Largo del tramo con permiso de extracción: 1.32 km
- A partir del año 2004 dos compañías de extracción para agregados han trabajado en el sitio:
  - Compañía 1 (2006-actual)
  - Compañía 2 (2004-2009)
- El material principal extraído del río es la grava.

Granulometría representativa





Orto imagen (TIF) obtenida de fotogrametría usando drone

Caso de Estudio

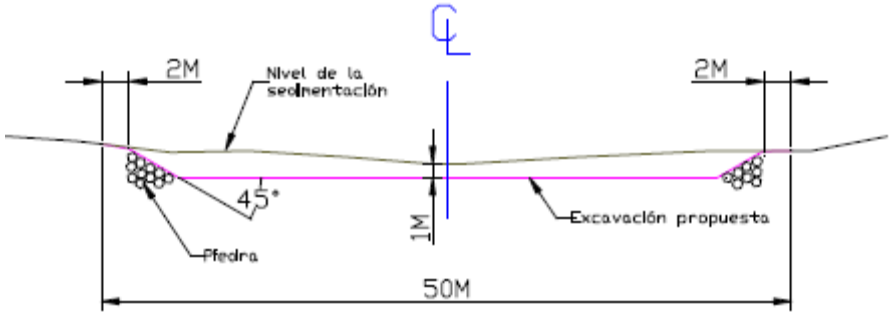
Investigación Preliminar

Levantamiento fotogramétrico con drone

- Se realizó un análisis preliminar de transporte de sedimento utilizando secciones sometidas para el permiso de ambas compañías.
- Flujos promedios diarios ajustados de la estación del USGS

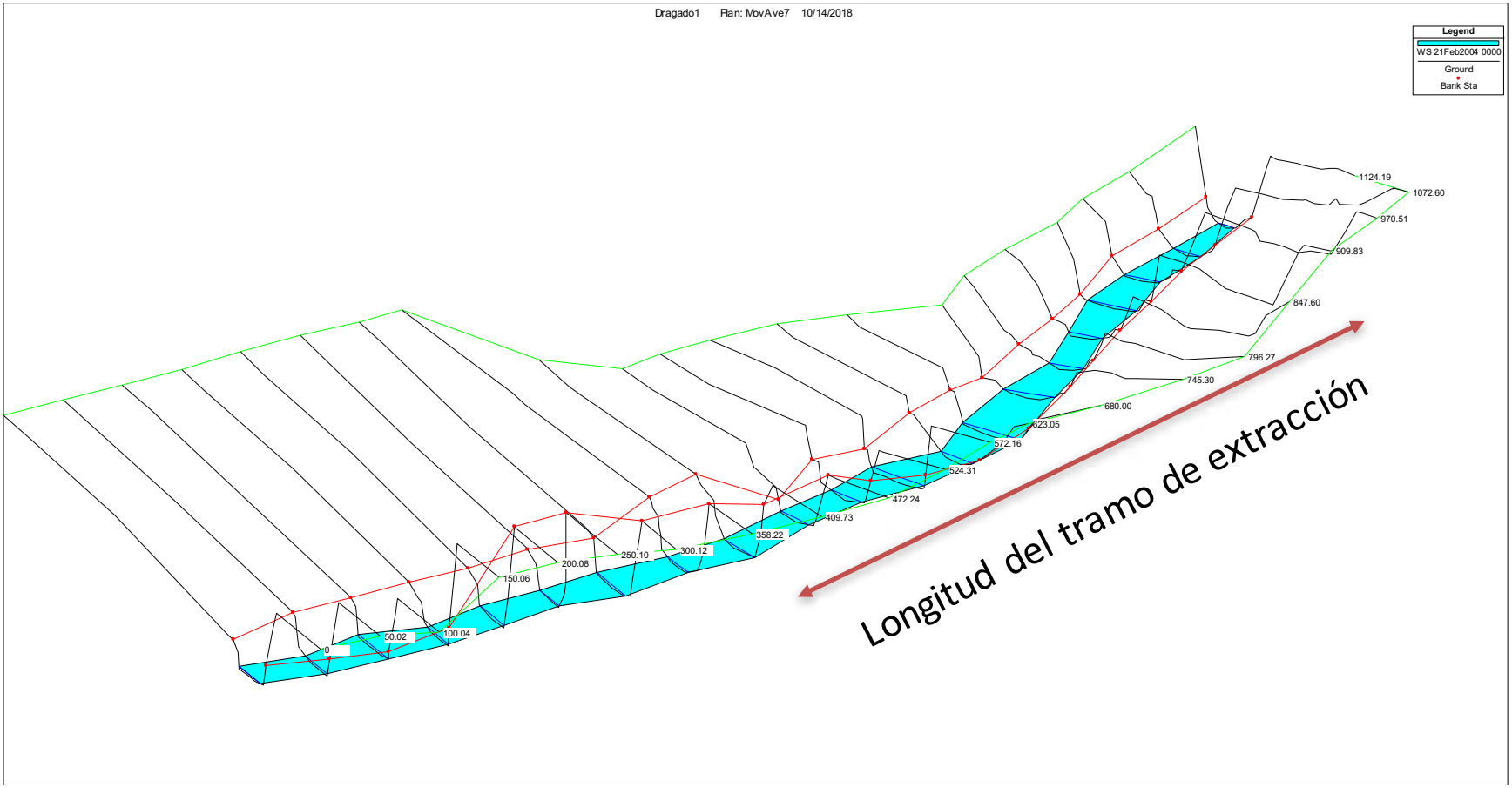
Caso de Estudio
Investigación Preliminar

- Extracción por dos años en un tramo de 440 m
- Se corrió el modelo desde el 21 enero de 2002 al 16 de setiembre de 2004.
- El permiso especifica un metro de profundidad de extracción
- La pendiente de río se modificó para reflejar condiciones previas a las operaciones.



Sta	Distancia	Volumen (m3)	Masa (kg)	Masa (metric ton)
1124.19				
1072.6	51.59			
970.6	102			
909.83	60.77	2735	7232329	7232
847.6	62.23	2800	7406086	7406
796.27	51.33	2310	6108860	6109
745.3	50.97	2294	6066016	6066
680	65.3	2939	7771451	7771
623.05	56.95	2563	6777705	6778
572.16	50.89	2290	6056495	6056
524.31	47.85	2153	5694700	5695
472.24	52.07	2343	6196929	6197
409.73	62.51	2813	7439409	7439
358.22	51.51	2318	6130282	6130
	TOTALES =	**27557**	**72880262**	**72880**

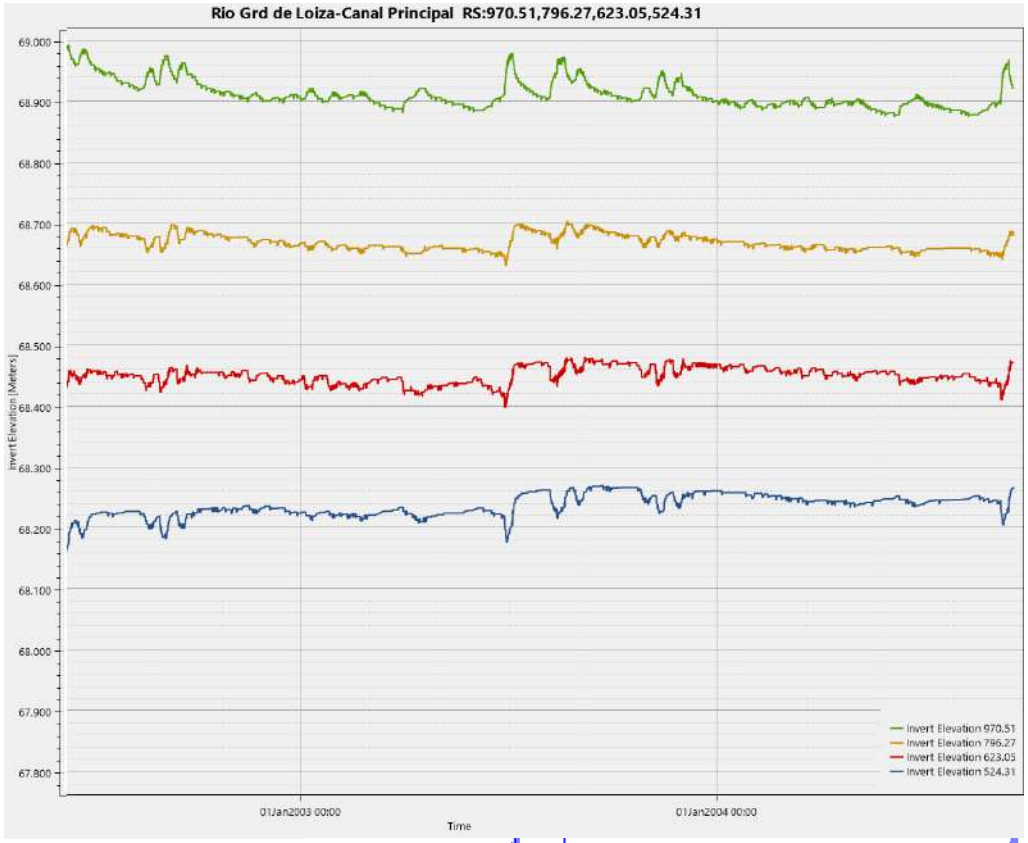
Caso de Estudio
Investigación Preliminar

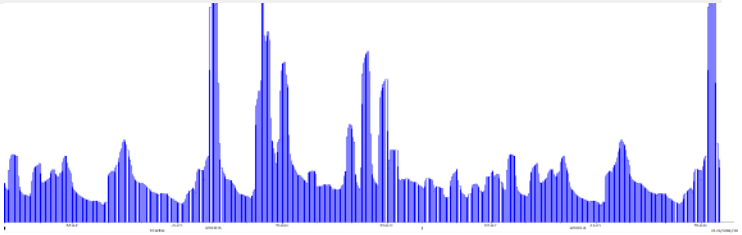


Modelo del tramo del río

Elevación de invertida (sin extracción)

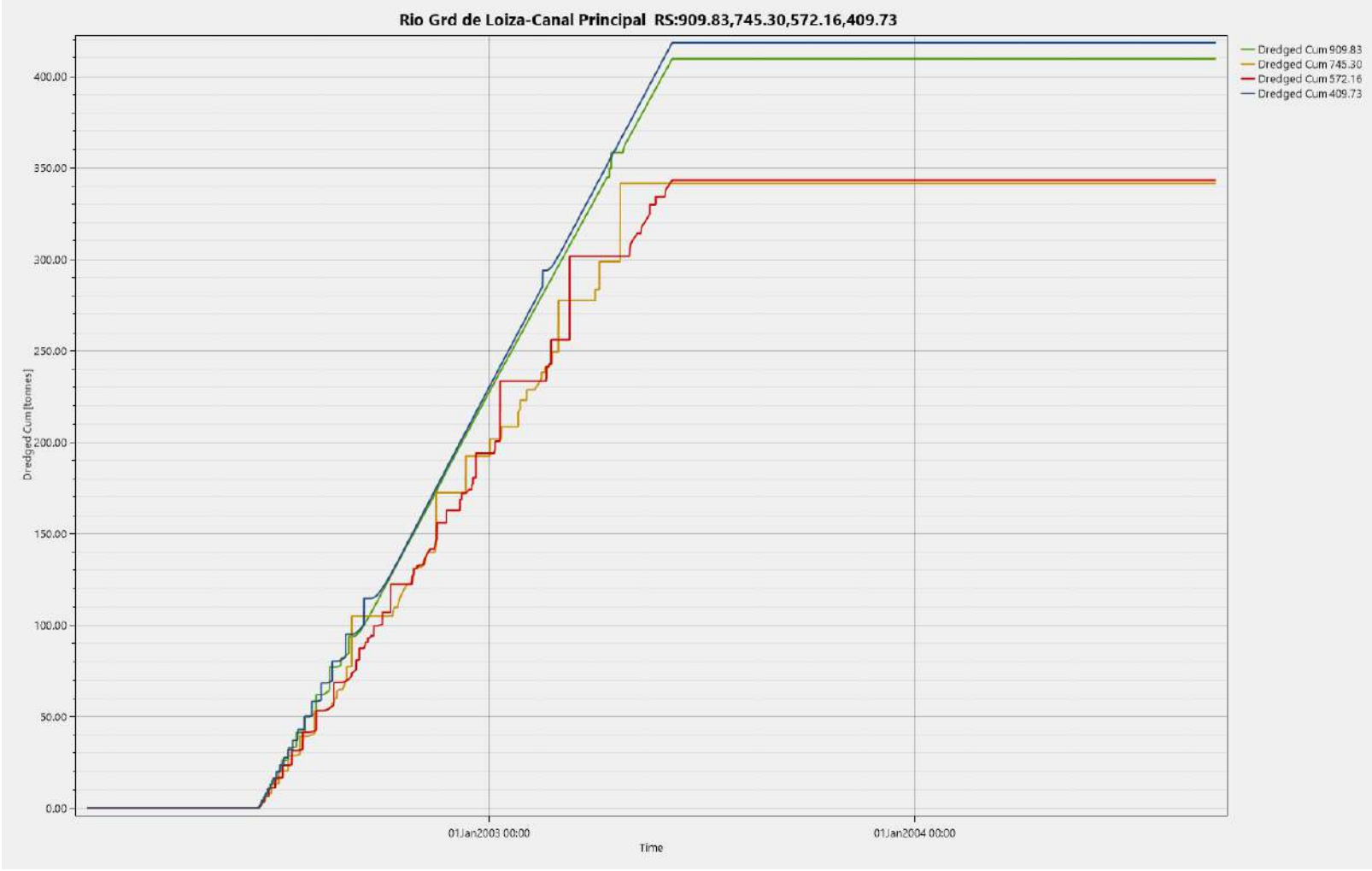
Secciones 909, 745, 572 y 409



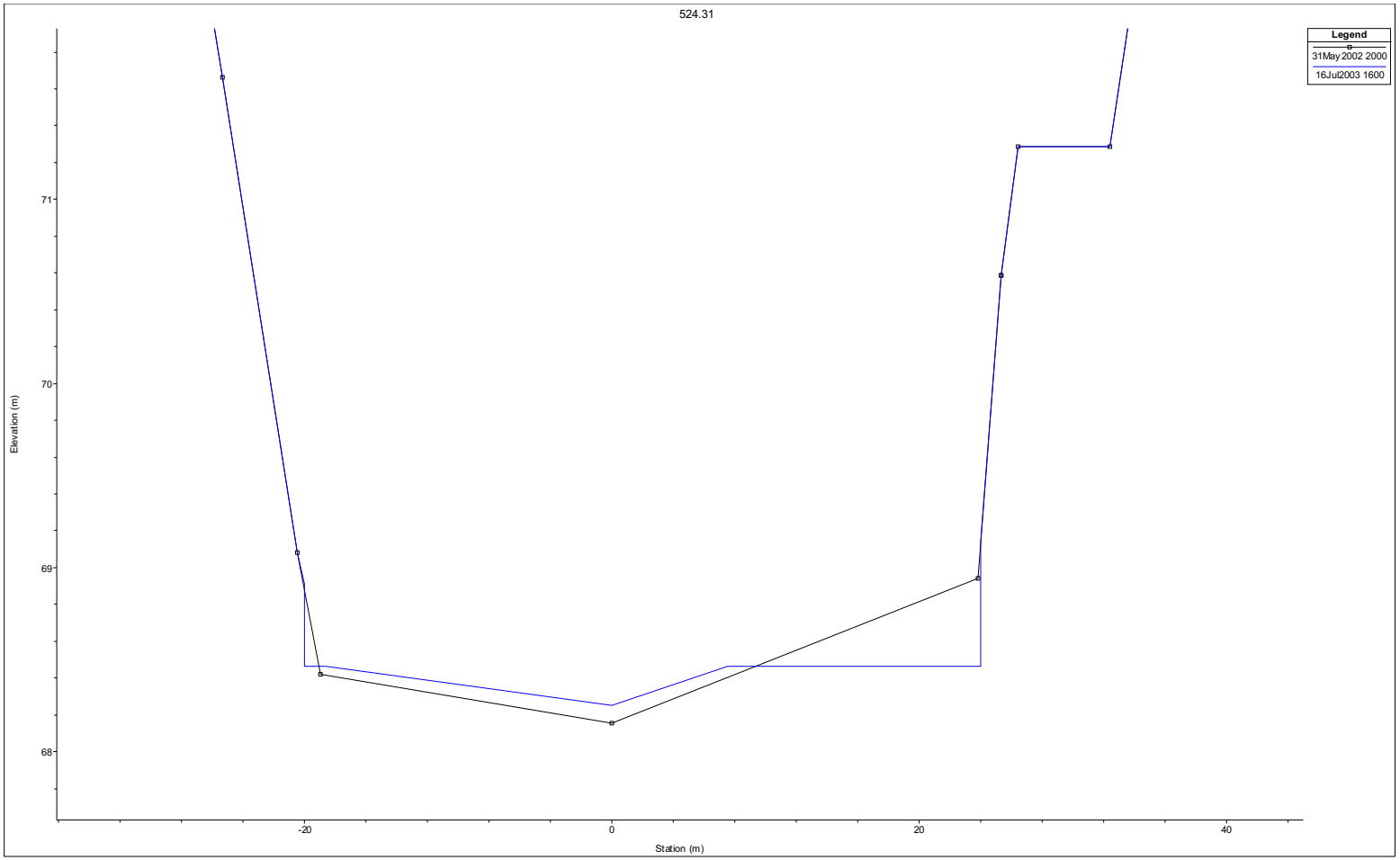


Caudales (pcs)

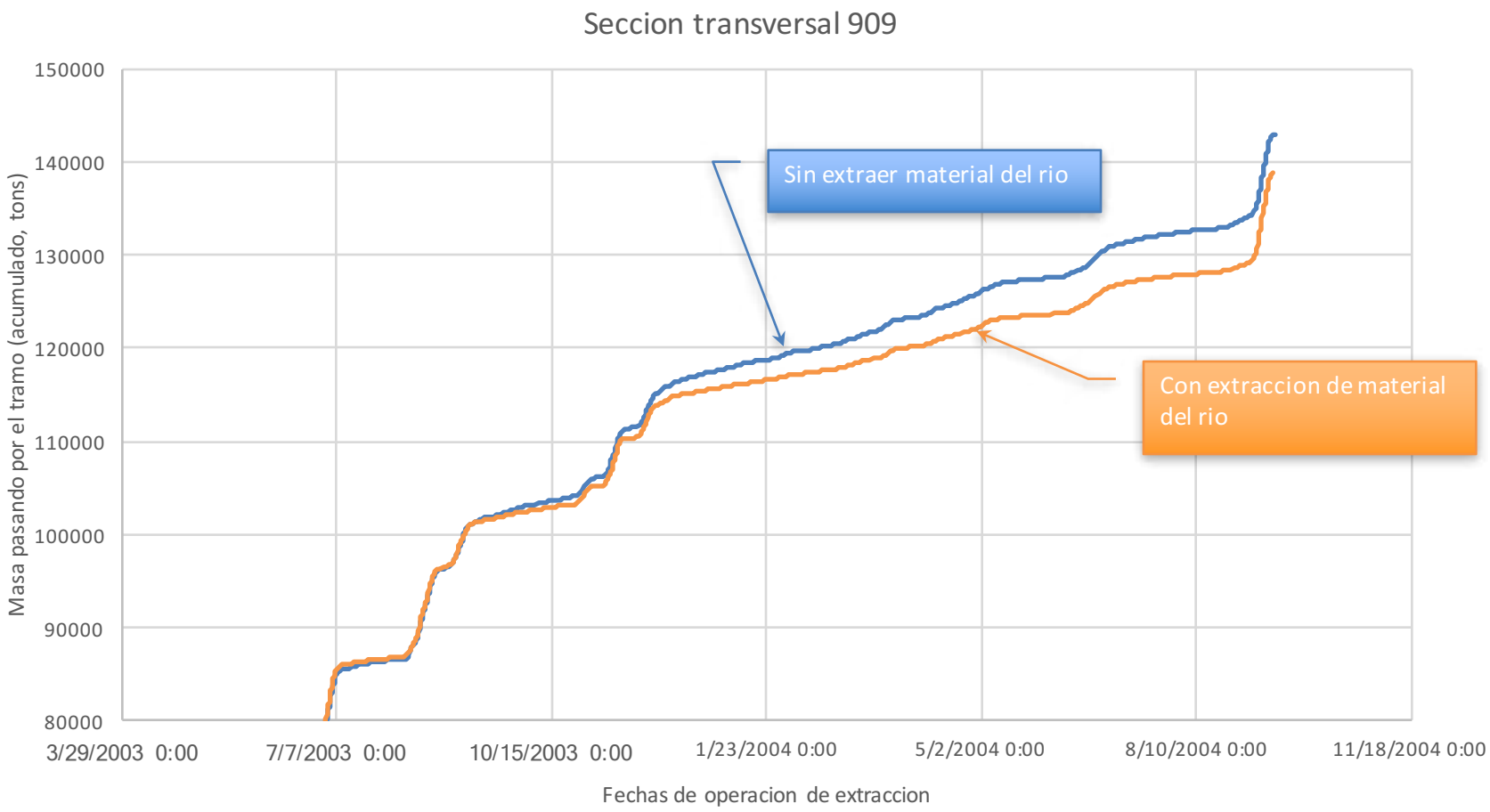
Toneladas de material extraído en secciones 909, 745, 572 y 409



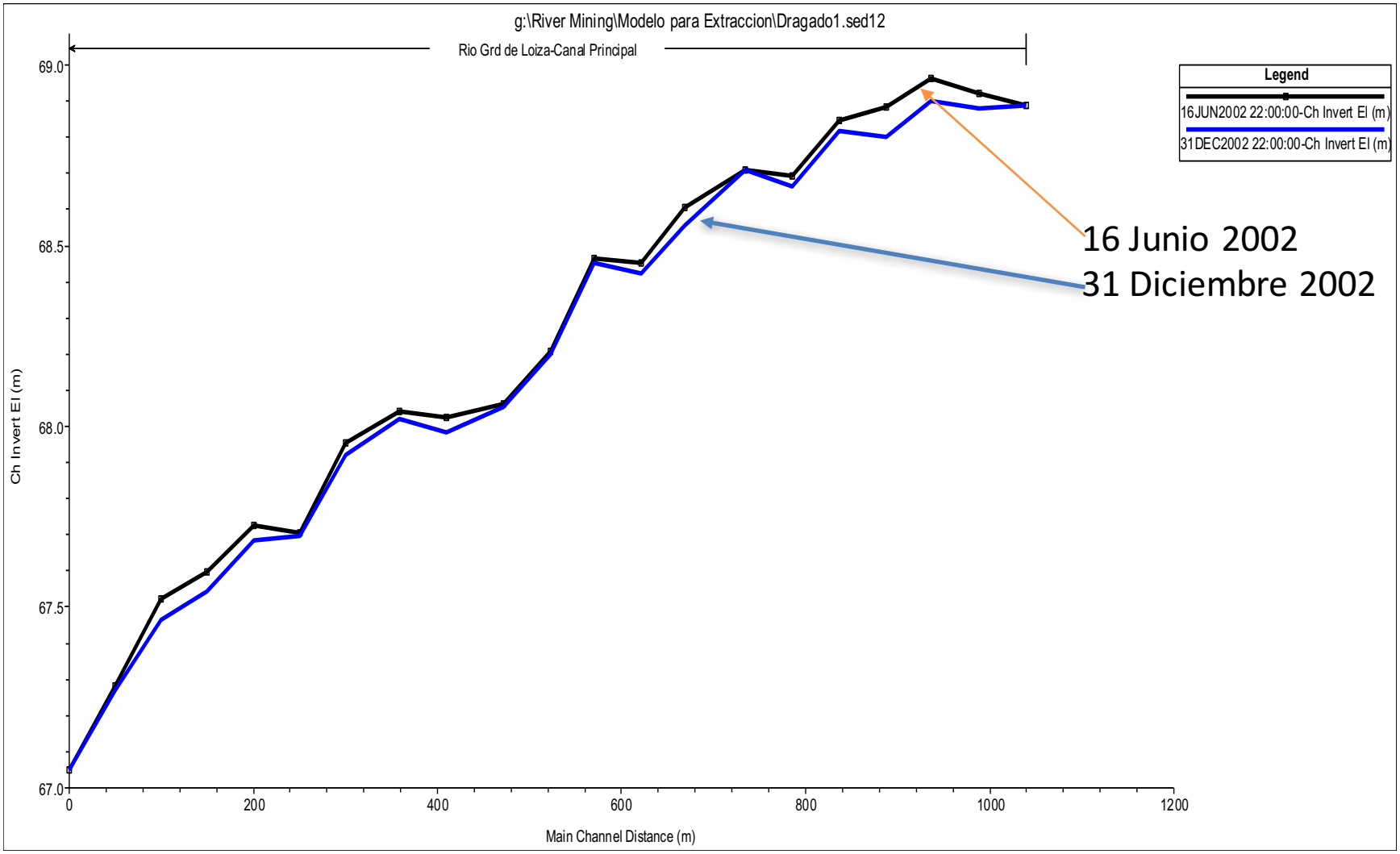
Porcion de una sección transversal con corte por material extraído



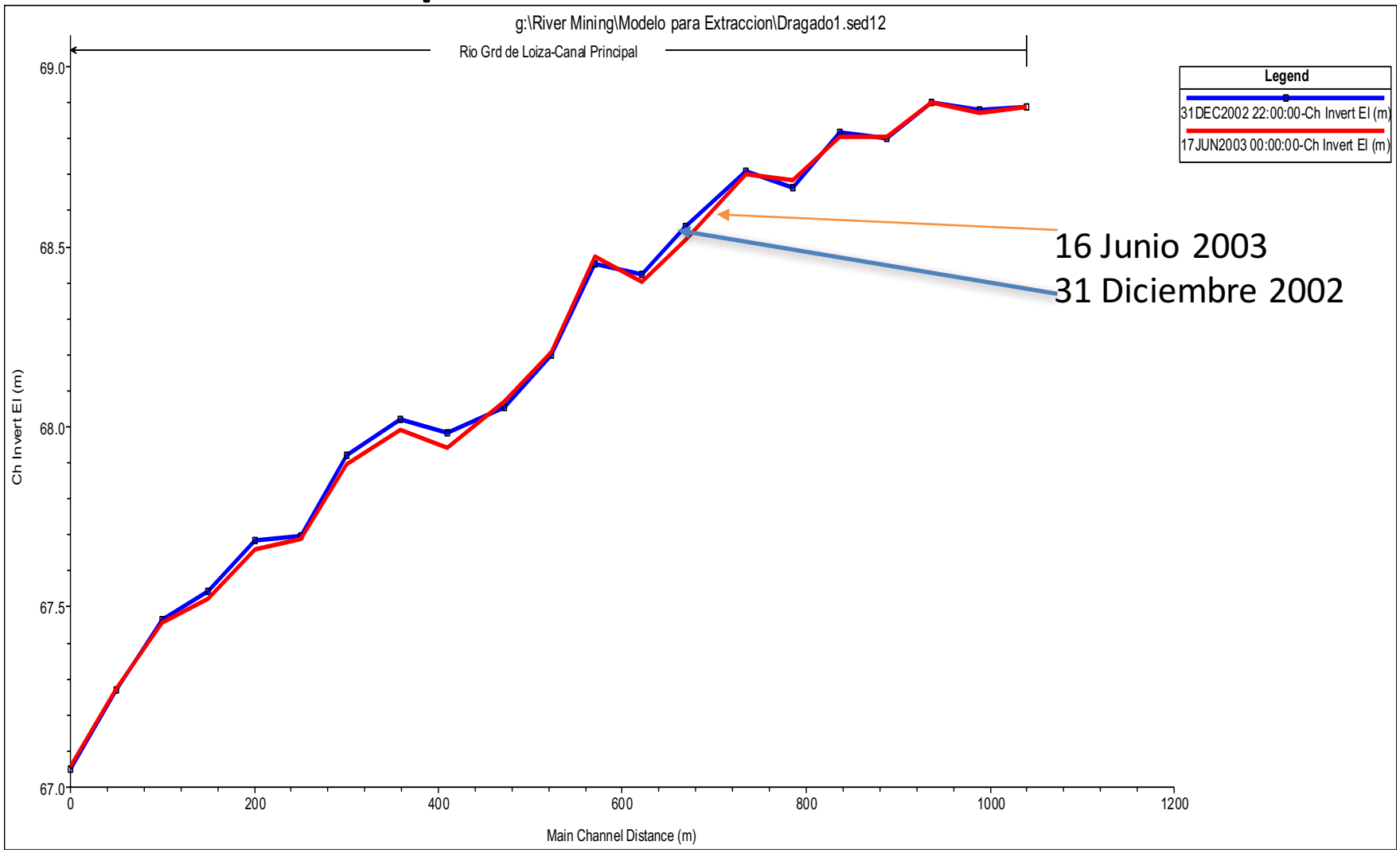
Material pasando por el tramo del río



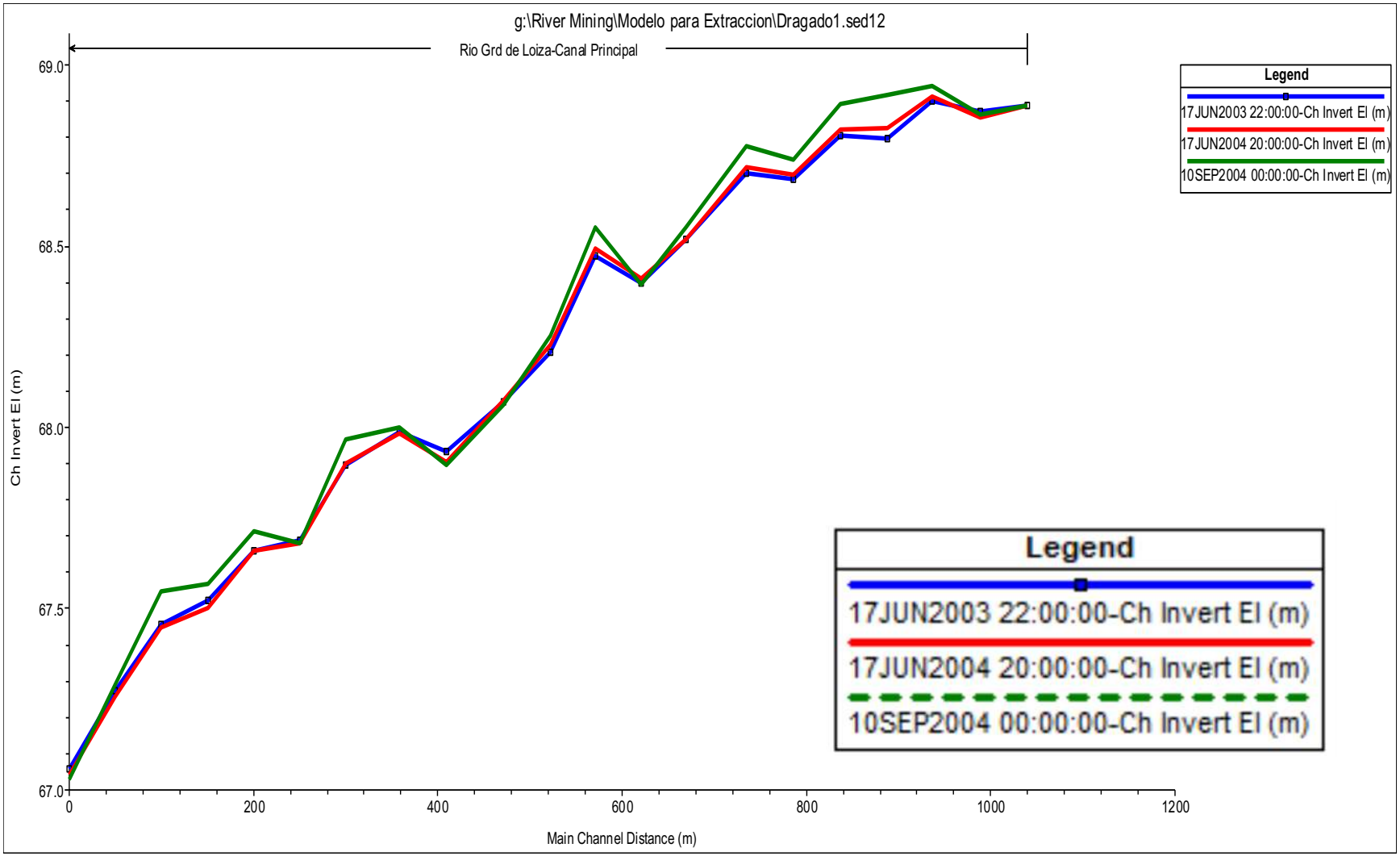
Perfiles del fondo antes, durante y después de extracción



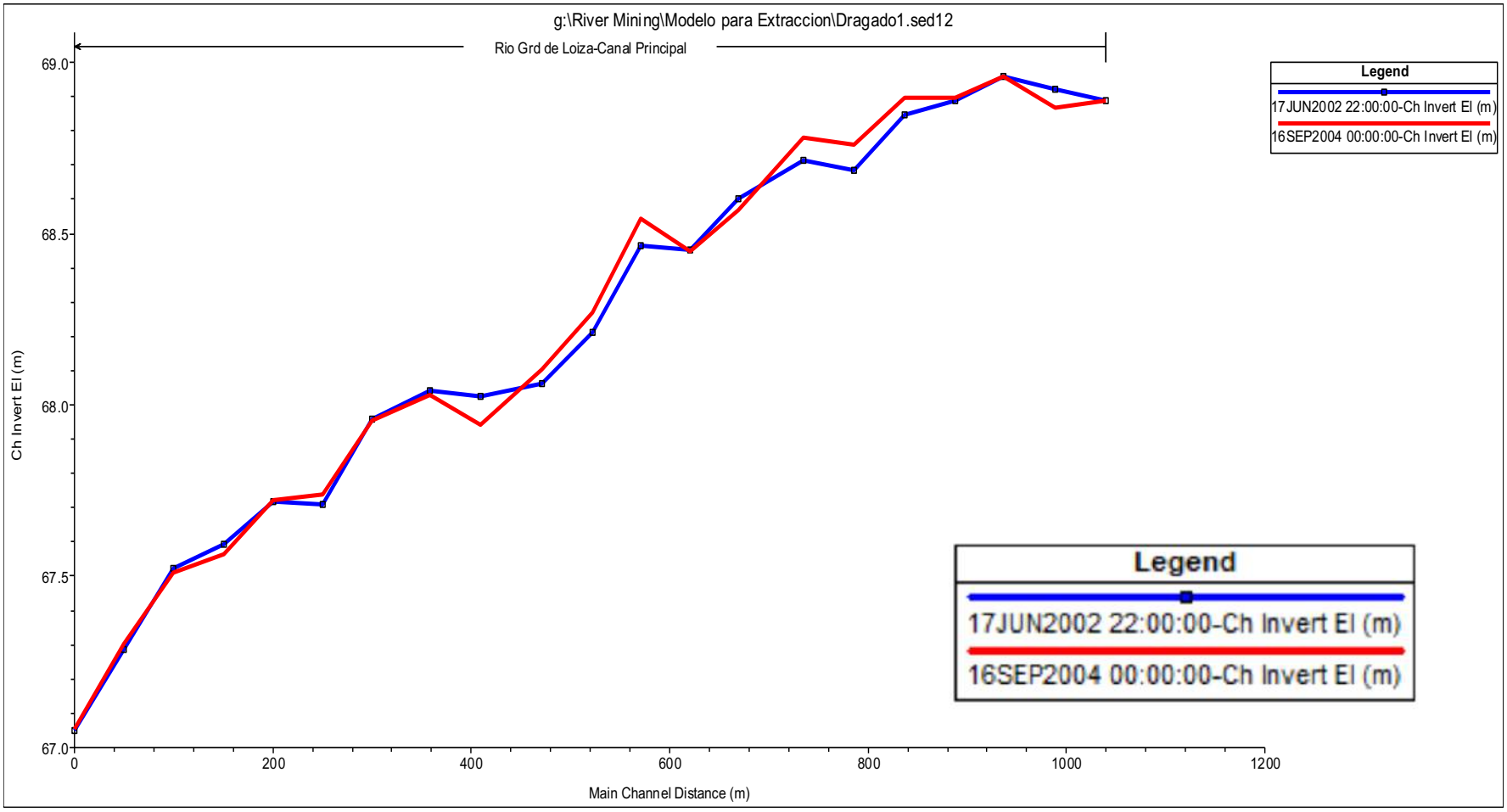
Perfiles del fondo antes, durante y después de extracción



Perfiles del fondo antes, durante y después de extracción



Perfiles del fondo antes, durante y después de extracción



Conclusiones

- La metodología propuesta permite evaluar, con criterios de ingeniería, los efectos de las operaciones de extracción de material en tiempo y espacio.
- El caso de estudio muestra que, para el scenario presentado, el río recupera el material luego de un año de terminada la extracción.
- Requiere estudio de campo detallado y buen manejo de modelos de transporte de sedimentos.
- El procedimiento incrementa la sostenibilidad de muchos cauces utilizados para extraer materiales de construcción.

Aspectos para investigar..

- Respuesta rápida durante crecidas del río
- Efectos de los meandros
- Efectos en estructuras
- Umbrales geomorfológicos
- Determinación de un Indice de Sostenibilidad

Referencias:

- Silva-Araya, W., Rivera Santos, J., **Guías para la Elaboración de Estudios de Transporte de Sedimentos para la Extracción de Material en los Ríos de Puerto Rico**, Publicado por el Depto. de Recursos Naturales y Ambientales de Puerto Rico, Diciembre, 2016.
- Silva-Araya, W., Rivera Santos, J. **Guías para la Elaboración de Estudios Hidrológicos/Hidráulicos en Puerto Rico**, *Junta de Planificación*, Oficina del Gobernador, Junio, 2016. http://jp.pr.gov/Plan-Fisica/Guías

Preguntas

Puerto Rico “La Isla del Encanto”

GARY IVES/SHUTTERSTOCK