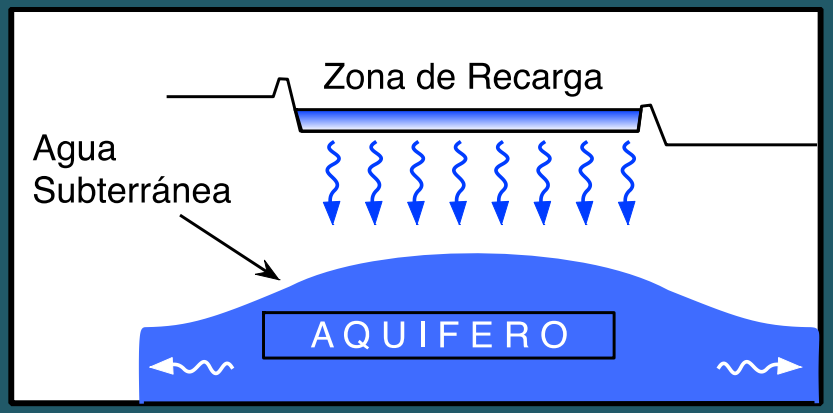
San Juan, Puerto Rico
www.glmengineers.com



Estrategias para Mejorar la Confiabilidad del Suministro del Agua

24 April 2015

Dr. Gregory Morris PhD, PE
gmorris@glmengineers.com

Retos al suministro del agua

La disponibilidad del recurso de agua en Puerto Rico no es constante.
Los retos indicados están reduciendo la disponibilidad del recurso.

Retos	Oportunidades

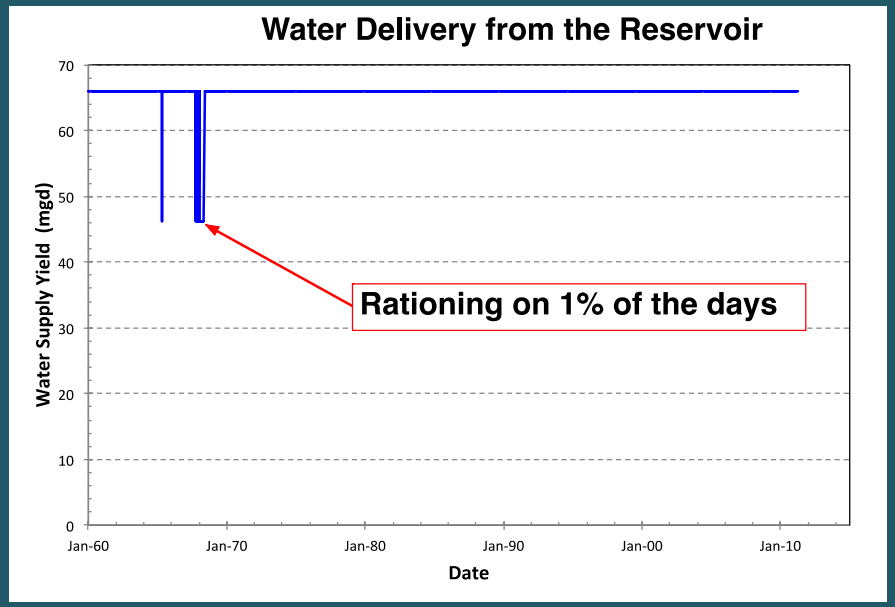
• Pérdida de volumen de almacenaje de agua en los embalses
• Reducción en la disponibilidad del agua subterránea debido a la contaminación:
  • Contaminantes superficiales incluyendo nitratos (abonos y pozos sépticos) y químicos industriales.
  • Intrusión salina
• Cambio climático (?)
	• Manejo de sedimentos para mantener el volumen de los embalses
	• Optimización de los sitemas de suministro incluyendo la utilización de aguas subterráneas y superficiales en conjunto
	• Recarga de acuíferos
	• Control de pérdidas
	• Manejo de demanda durante sequía

Que es la Confiabilidad de Suministro del Agua?

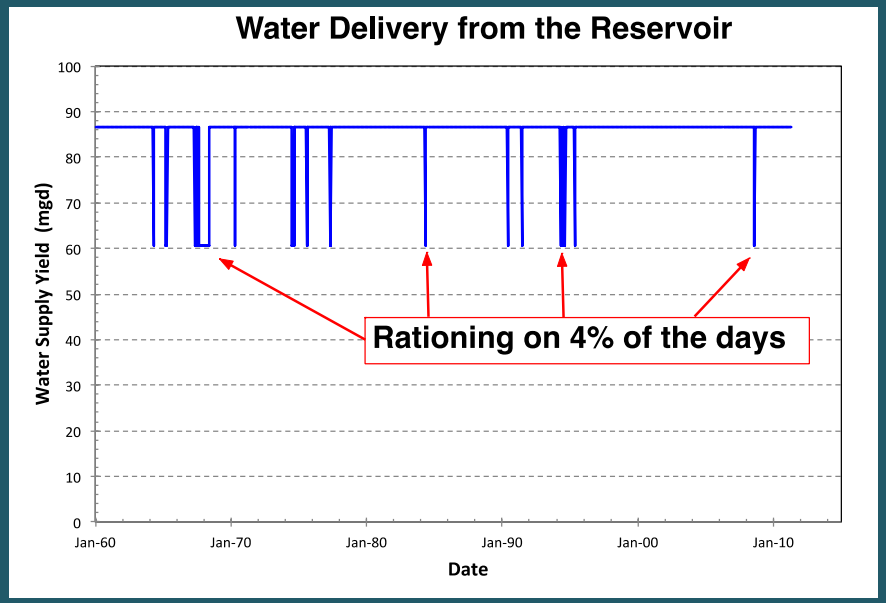
Con referencia al suministro de agua, la confiabilidad de la fuente se refiere al por ciento del tiempo que puede suplir el caudal deseado.

El **rendimiento seguro** es el caudal que se puede suministrar con 99% de confiabilidad

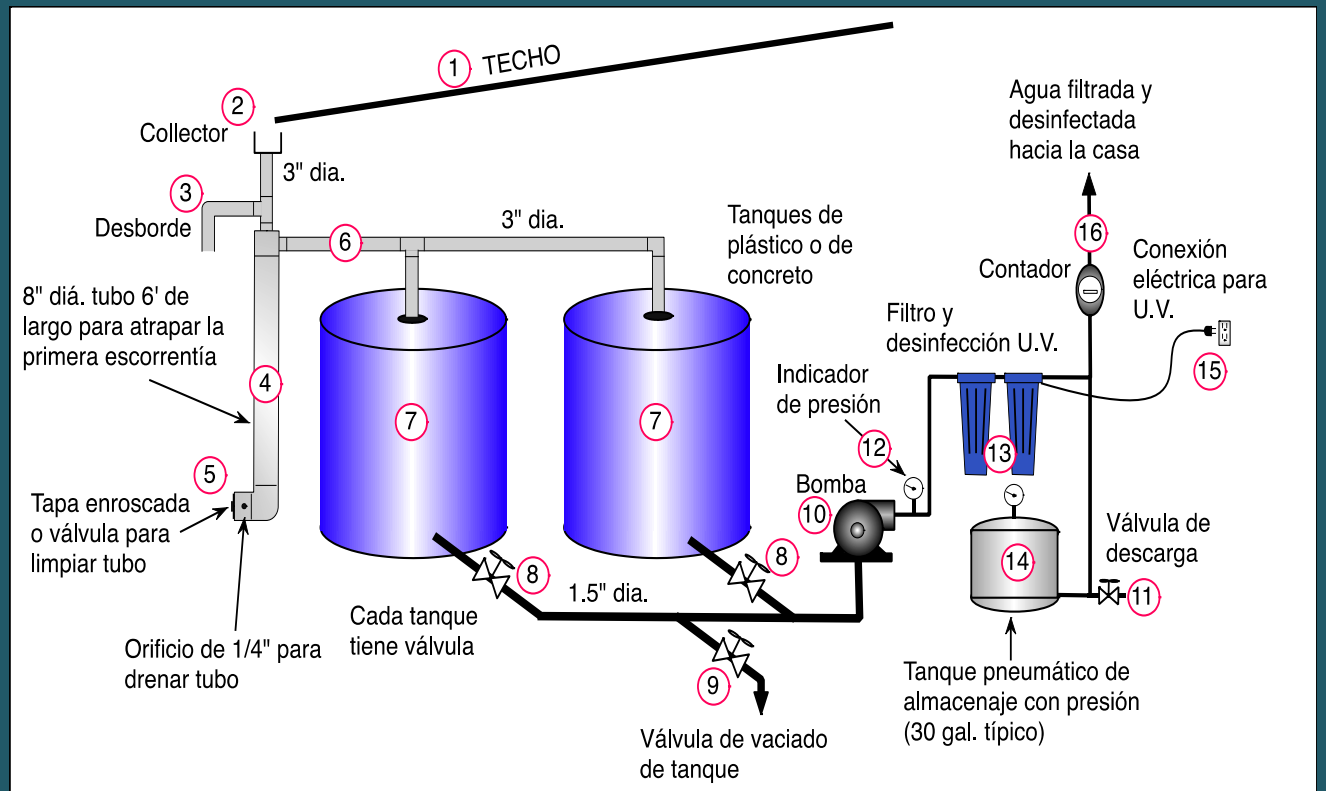
Fuente con 99% de confiabilidad



Fuente con 96% de confiabilidad



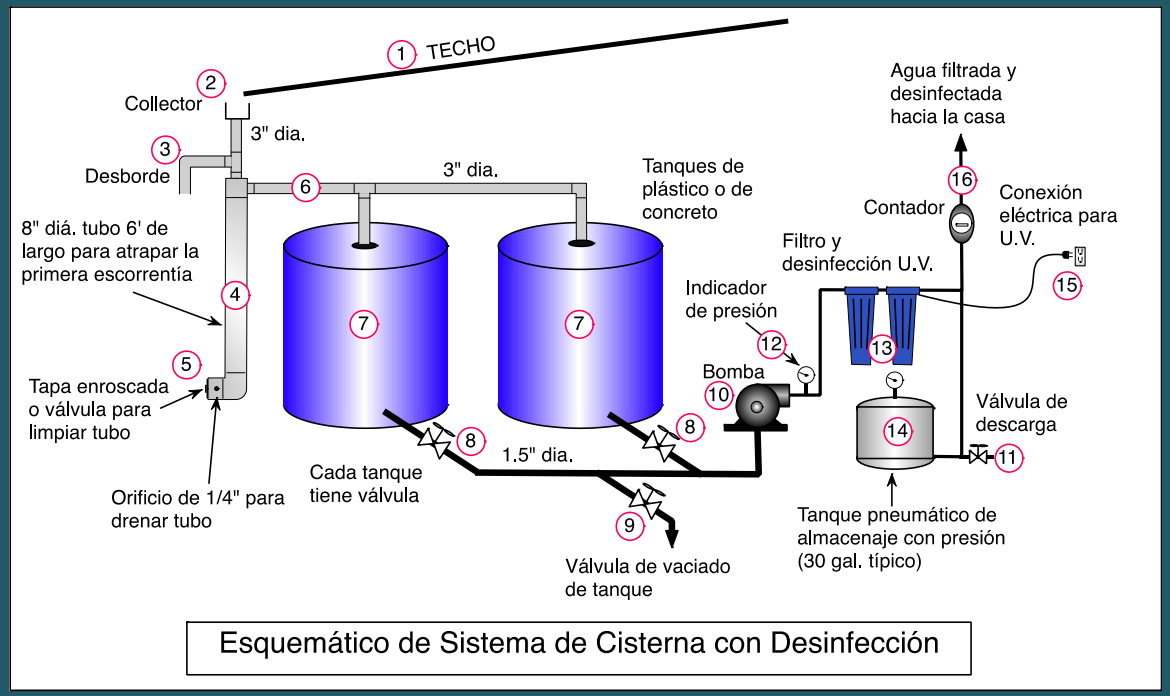
Los embalses y los acuíferos funcionan como una cisterna, almacenan agua para luego entregarla de acuerdo a nuestras necesidades



Esquemático de Sistema de Cisterna con Desinfección

Porque no utilizamos cisternas y así tener nuestro propio abasto de agua garantizado?

Porque es muy costoso. Para suplir 35 galones/día por persona (menos de un usuario típico de la AAA), de manera confiable a una familia de 4 en Ciales (que tiene buena lluvia), requiere 10,000 galones de almacenaje suplidos por 3000 pies cuadradas de techo. Este sistema debe costar cerca de $15,000.

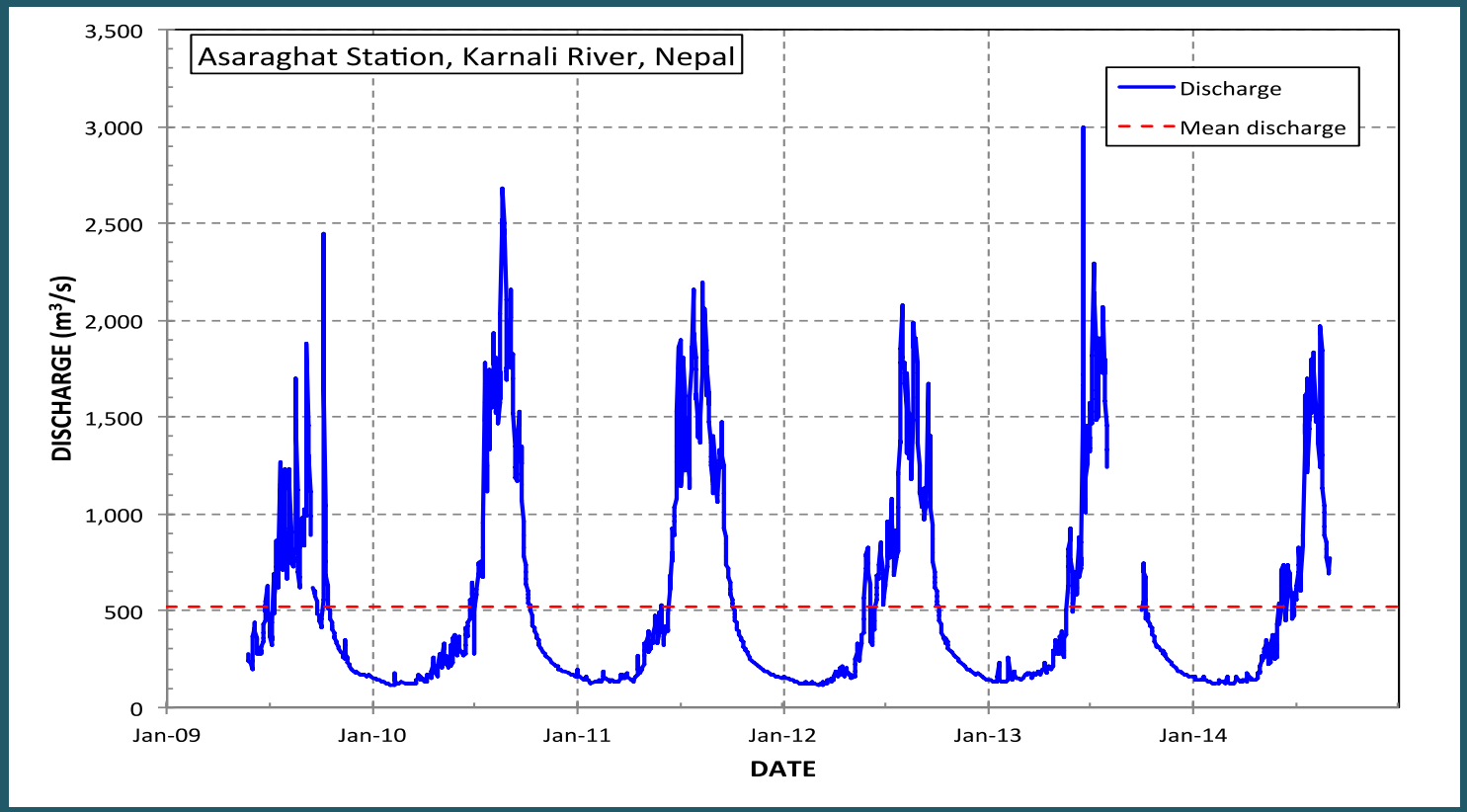


Esquemático de Sistema de Cisterna con Desinfección

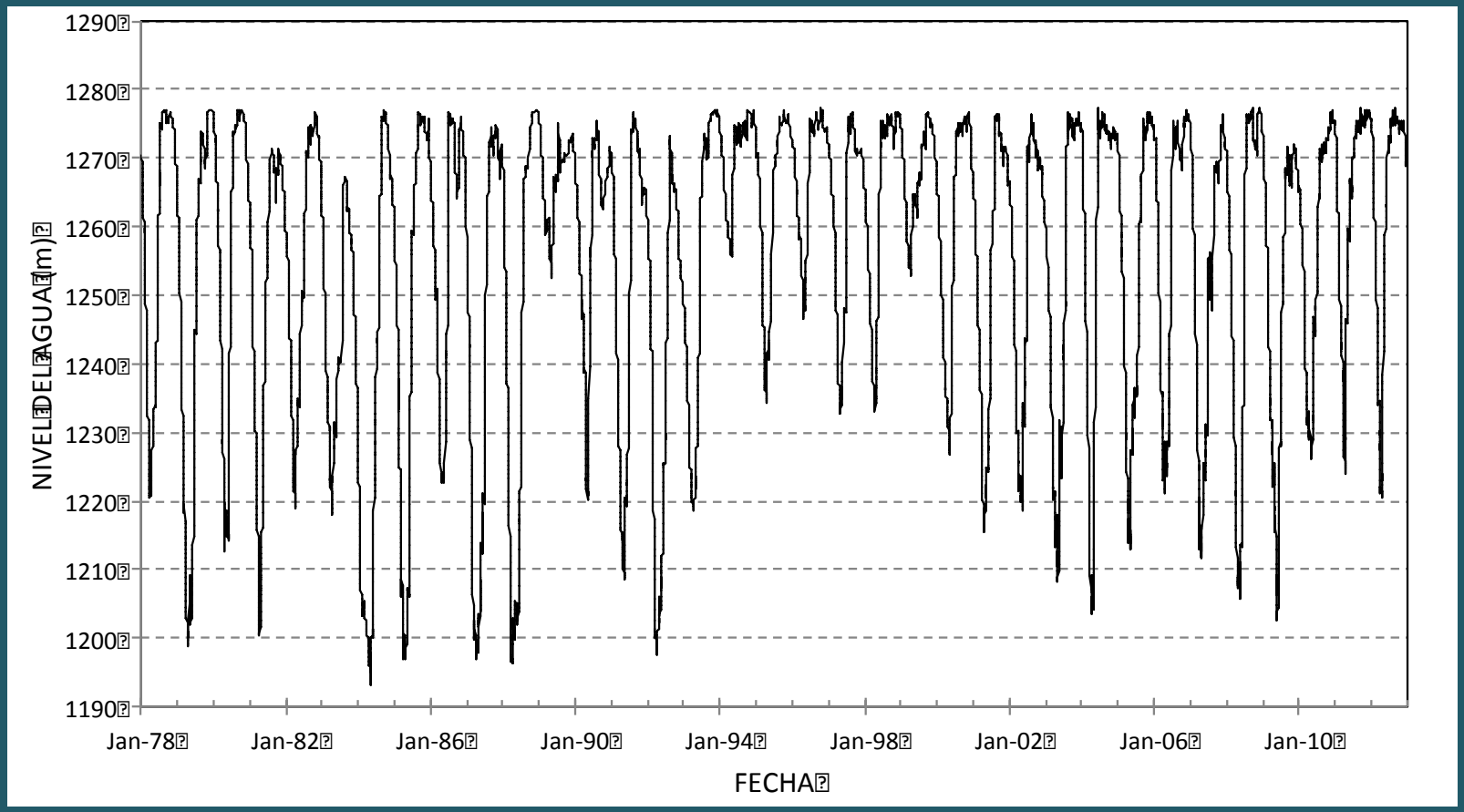
La AAA representa una alternativa más costo-efectiva al usuario residencial.

Diferente a nuestra demanda de agua, el suministro del agua por lluvia y el caudal en los ríos es irregular

Aquí, un ejemplo del patrón muy regular de variabilidad en flujo que corresponde a una clima de monzón (región de la Himalaya). La mayor parte del flujo ocurre en el verano, y el invierno es seco.

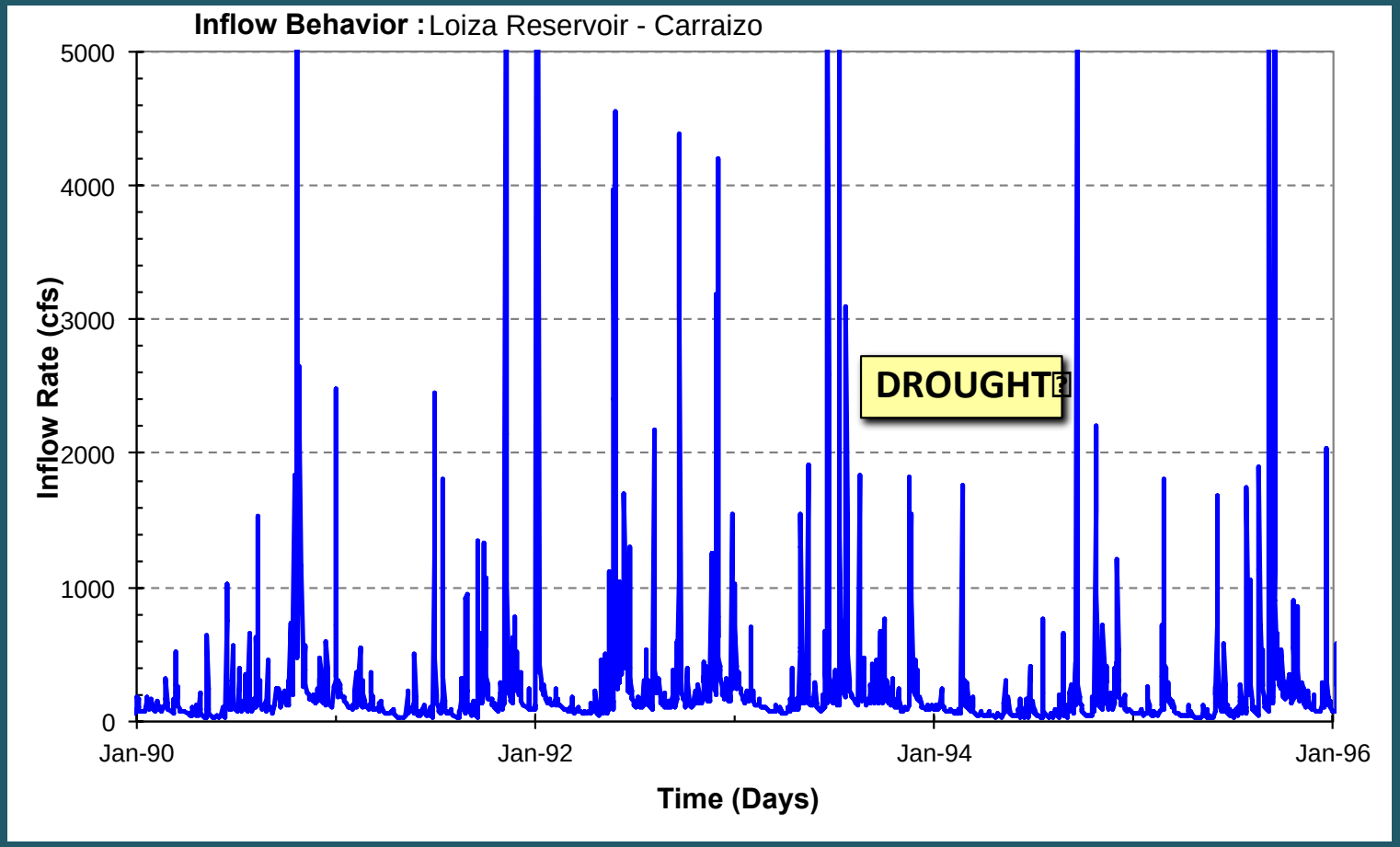


En la clima de monzón, los embalses guardan agua en el verano para entregar agua durante el invierno, y experimentan variaciones regulares en su nivel



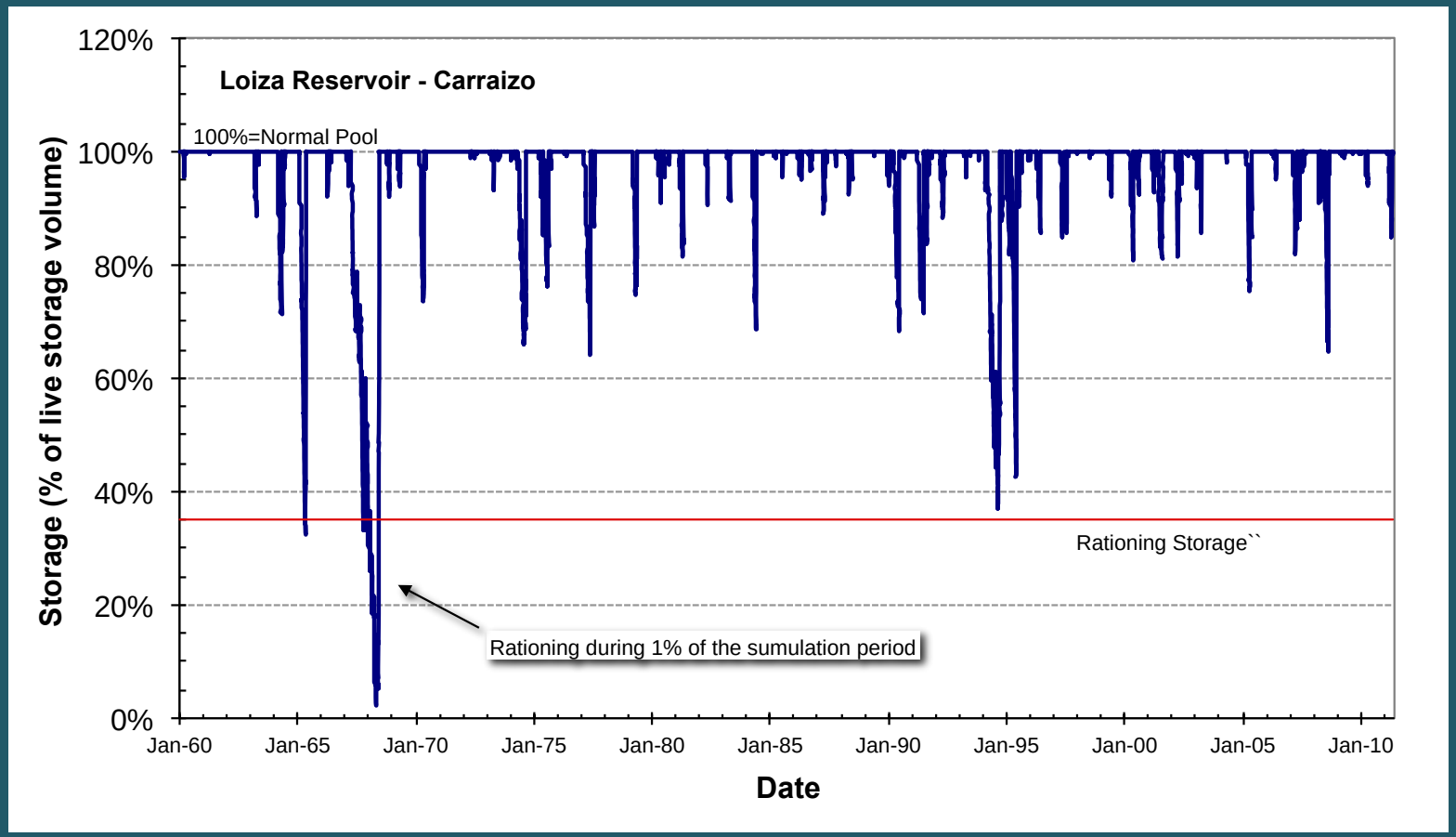
El patrón de flujo en Puerto Rico no varía tan regularmente, y se caracteriza por crecidas en diversos meses del año

Influjo al Embalse Carraízo

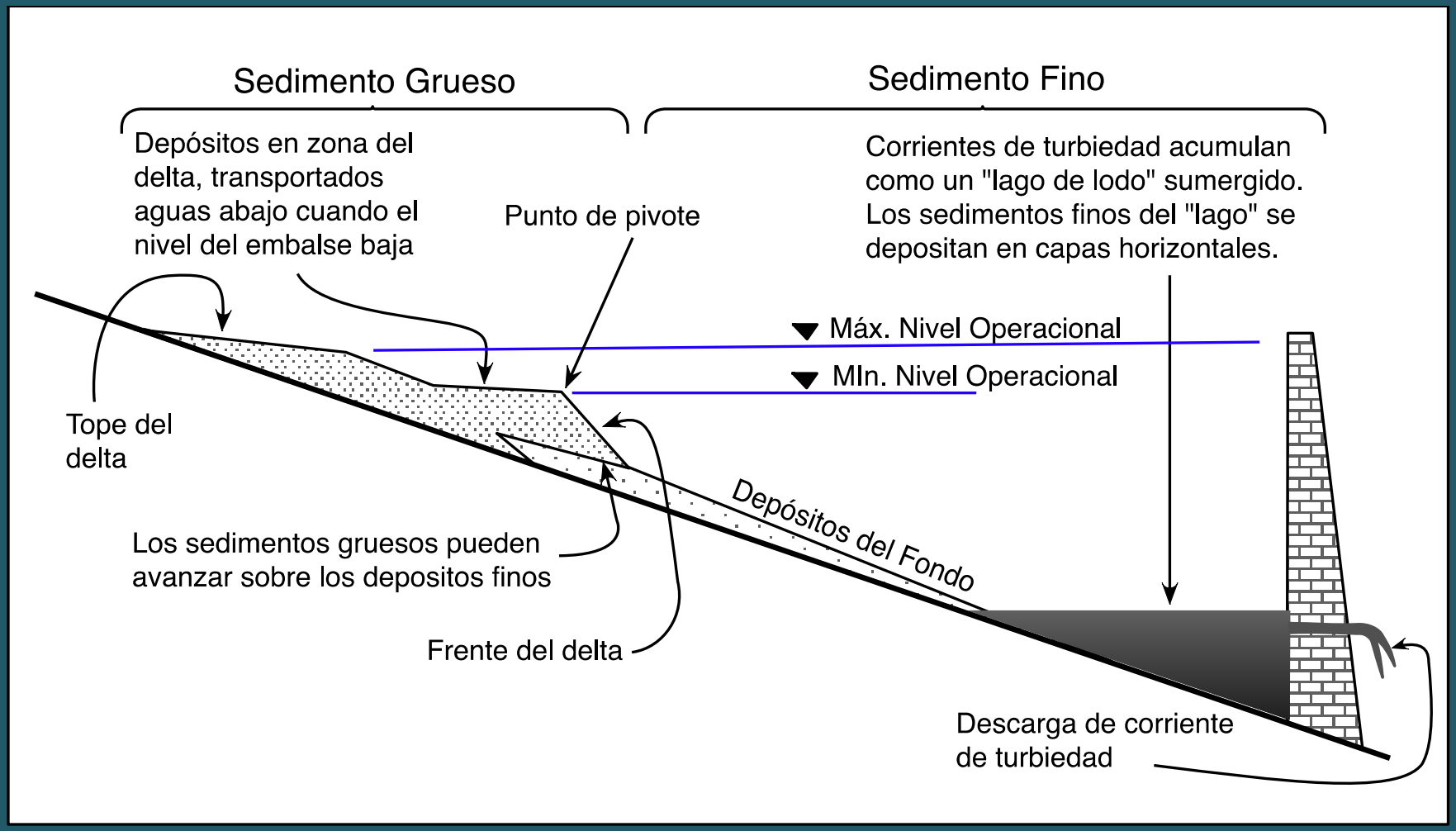


En Puerto Rico, la variación en el volumen de almacenaje en los embalses no tiene un patrón tan regular como en una clima de monzón

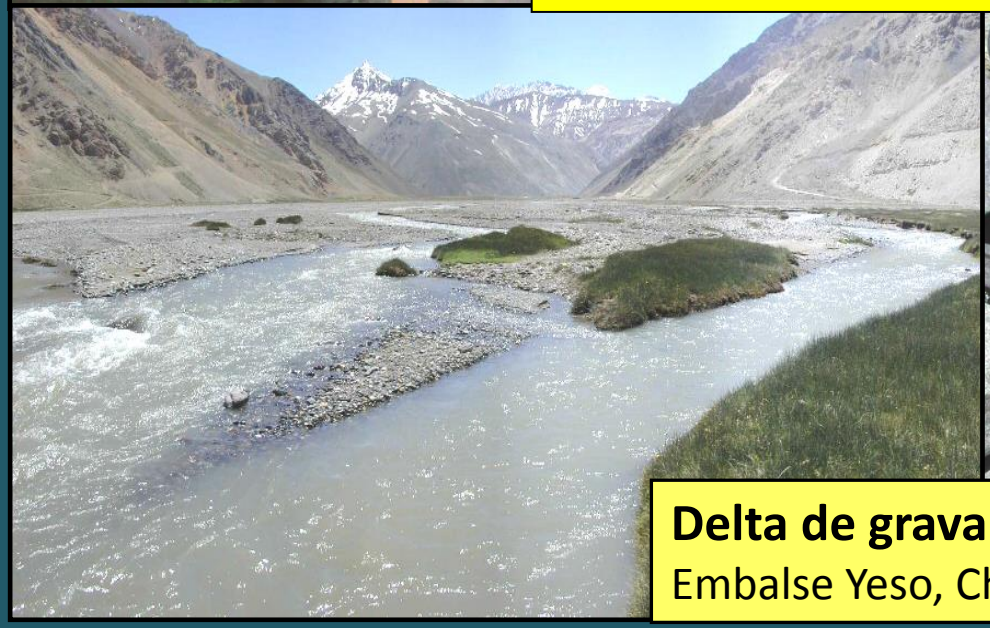
Simulación de comportamiento diario del embalse Carraízo, con extracción a su tasa de rendimiento firme de 66 mgd, volumen de almacenaje del año 2015.



Reto:
La Pérdida de Volumen por la Sedimentación



Deltas con limo y arena fina



Delta de grava
Embalse Yeso, Chile

Sedimentos finos depositados después del delta

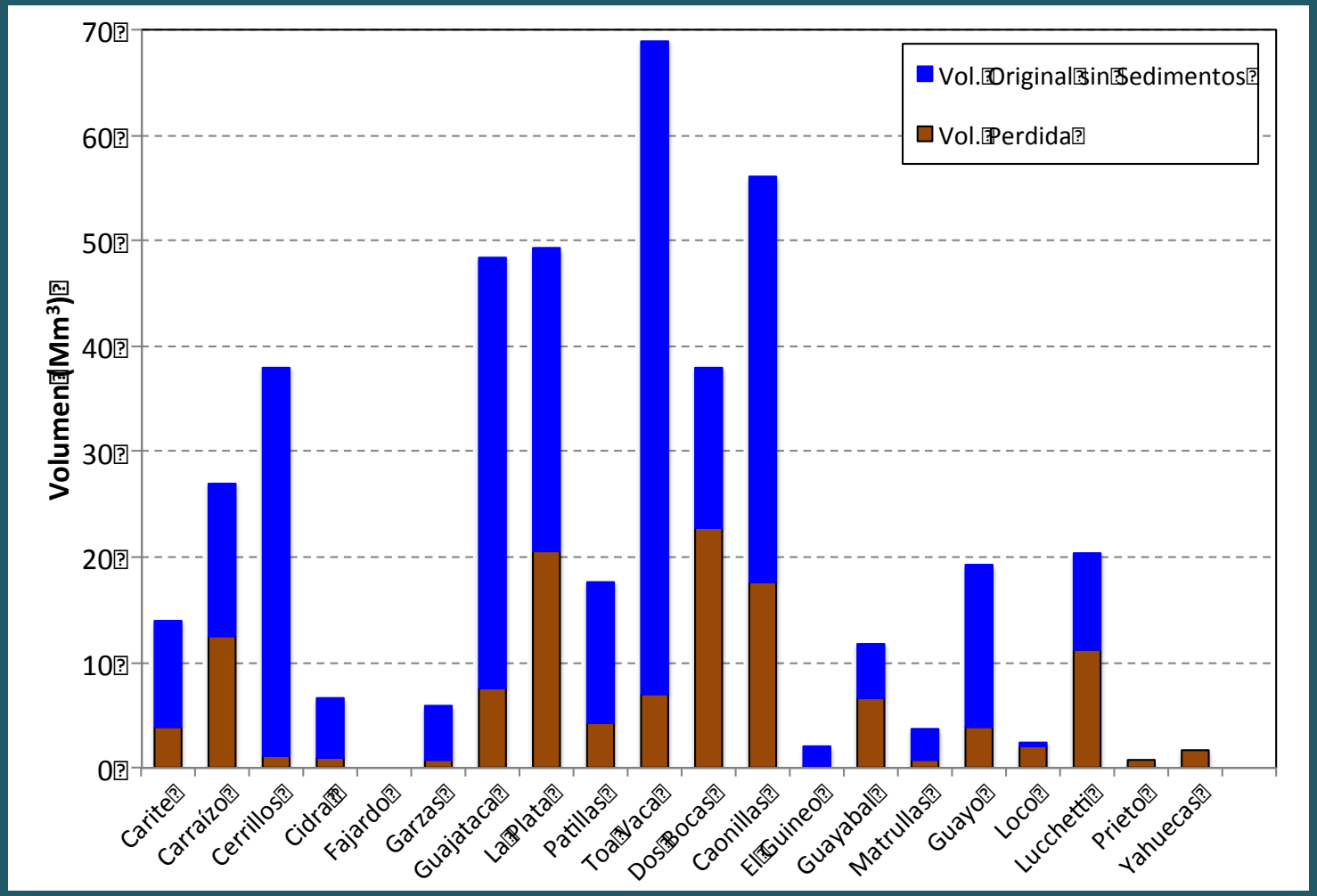
Lago Prieto, Puerto Rico

Nuestra meta es convertir los recursos de agua no-sostenibles en recursos sostenibles

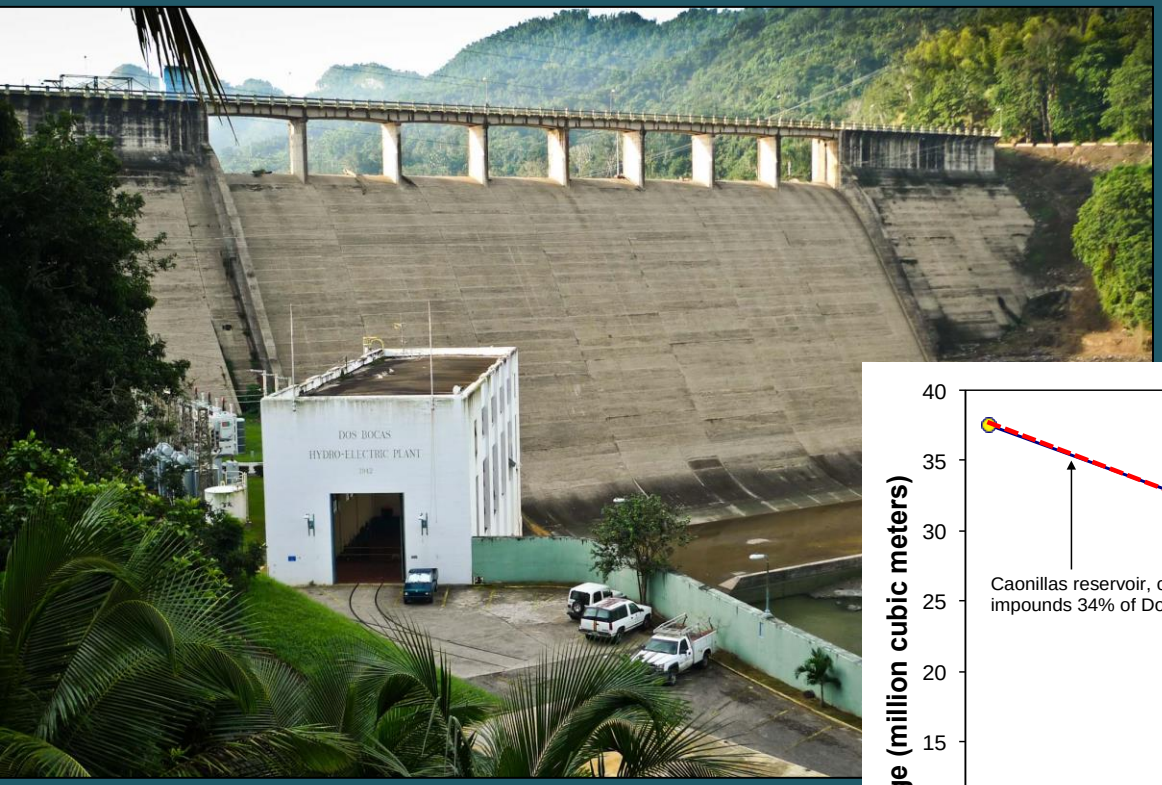
El manejo sostenible de sedimentos en embalses tiene como objetivos (1) minimiar la tasa de pérdida de volumen, y (2) lograr un balance entre el influjo y descarga de sedimentos mientras se maximiza almacenaje u otros beneficios.

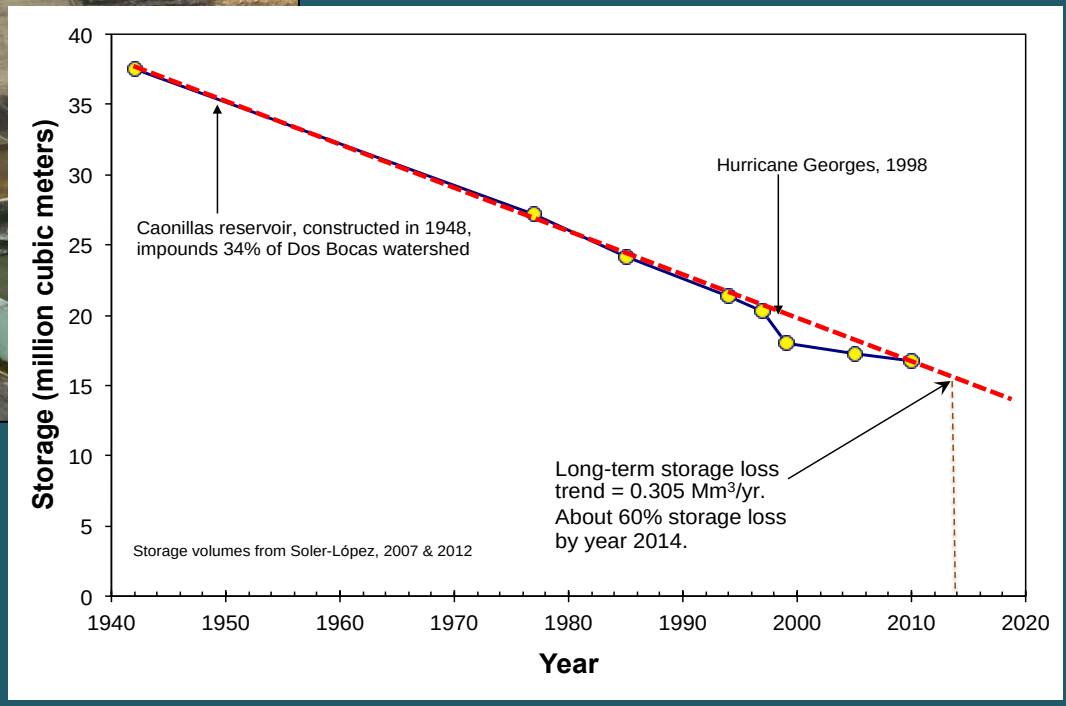
Hay una variedad de técnicas para manejar sedimentos en los embalses

Reto:
La Pérdida de Volumen por la Sedimentación

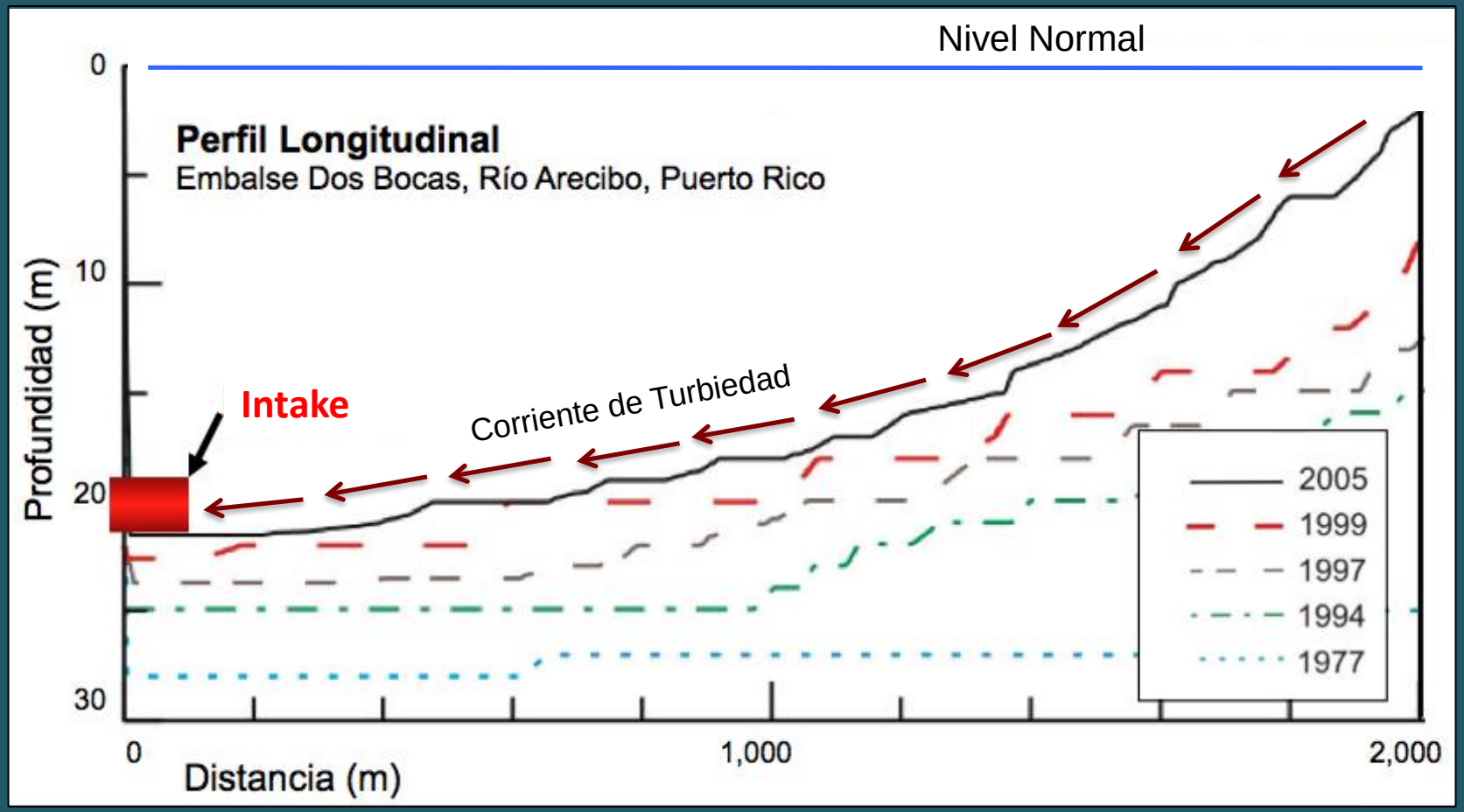


Pérdida de volumen en Dos Bocas debido a la sedimentación (fuente de agua para el SuperAcueducto)





Perfiles longitudinales señalando el avance del delta con arena hacia la bocatoma

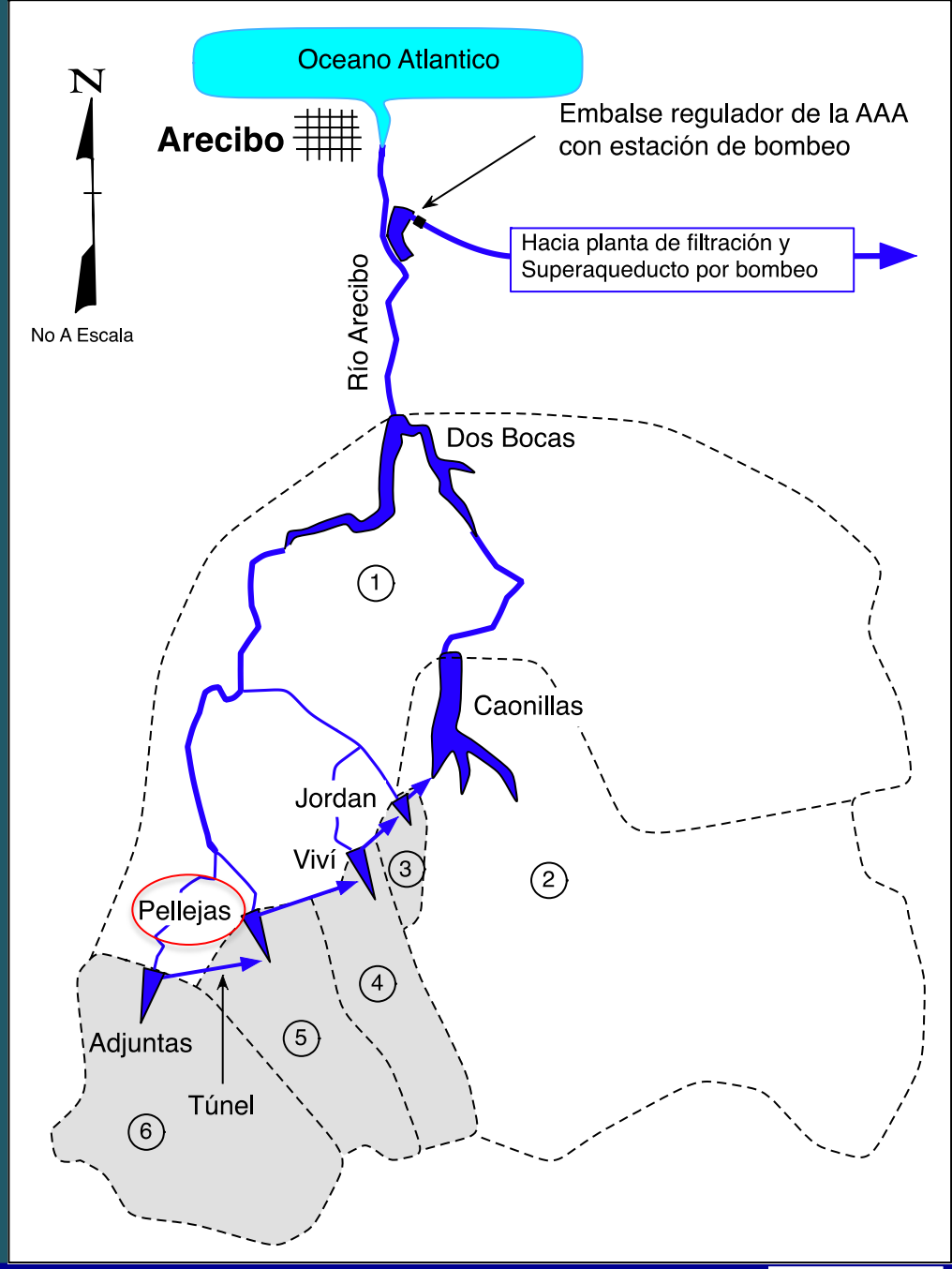


Vibracore Sampling of Sediment Cores to 60 m depth (La Esmeralda, Colombia)

ALMIRANTE MOLINA
PATENTE 39700002

Desperdicio del Agua en la Cuenca tributaria al SuperAcueducto

- Varias sub-cuencas tienen túneles para desviar agua hacia Caonillas.
- Las túneles están sedimentados, y por ende agua que podría ser almacenada en Caonillas se descarga a Dos Bocas.
- Hay veces que Dos Bocas está lleno y esta agua se descarga hacia el mar, a pesar de que Caonillas no está lleno.
- Esta situación resta del rendimiento seguro del SuperAqueducto.

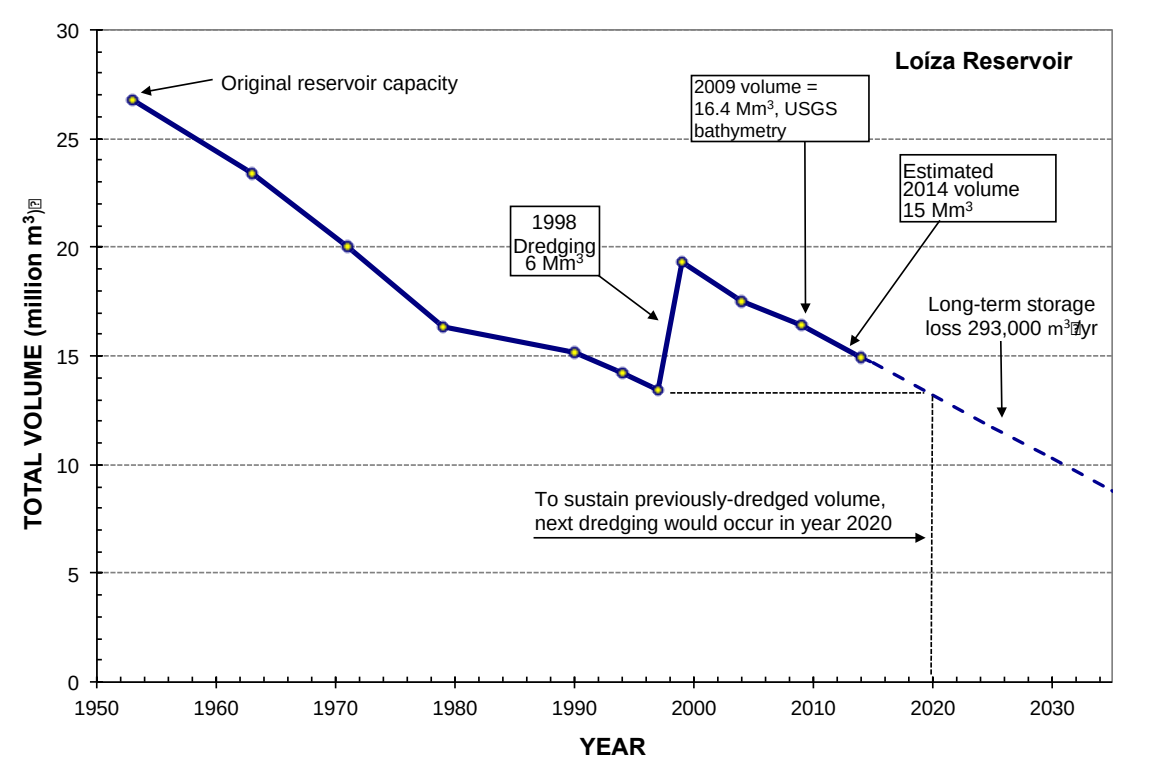


Túnel de Pellejas con sedimentos

Excavación de sedimentos del embalse Pellejas

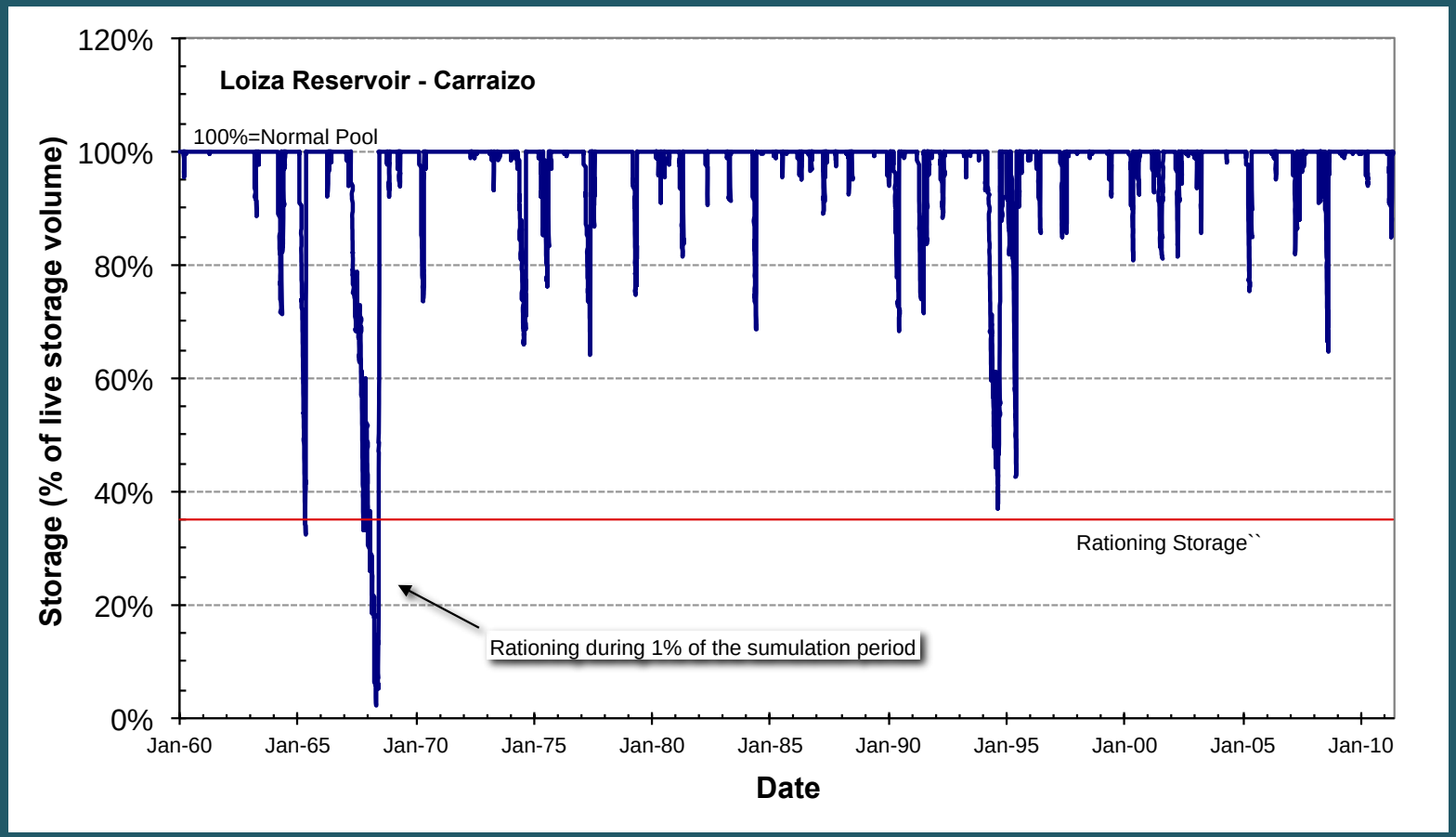
Pérdida de volumen en Carraízo, señalando la recuperación temporera de capacidad por dragado.

El primer dragado se llevó a cabo a un costo de $60M. Para mantener capacidad habría que dragar nuevamente antes del 2020, a un costo estimado en el orden de $90M. Se requiere dragado cada 20 años, y cada vez hay menos sitios para disponer del material del dragado. **NO ES UNA ESTRATEGIA SOSTENIBLE.**



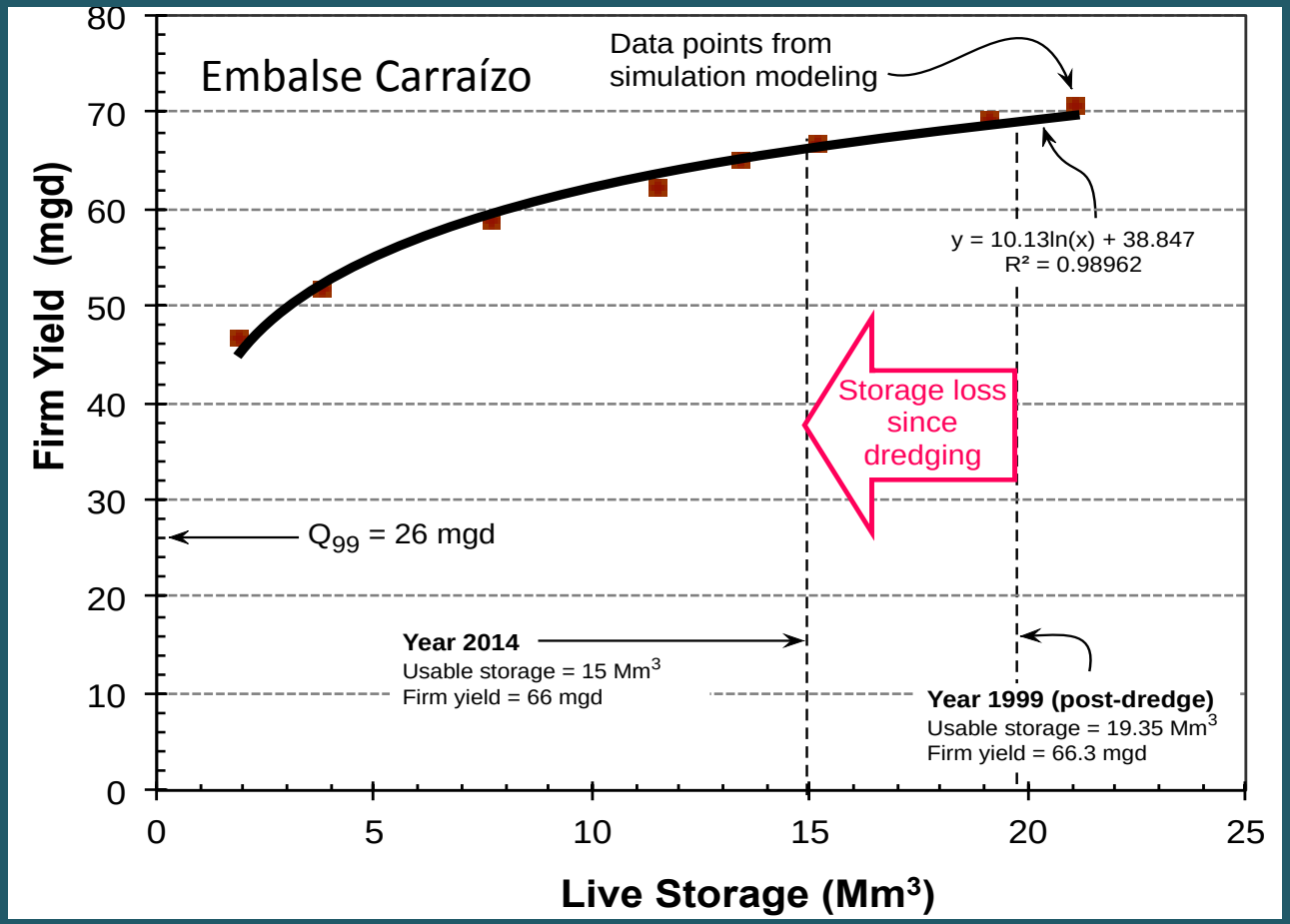
Mediante simulaciones del comportamiento del embalse para diferentes volumenes, se puede determinar el rendimiento seguro (99% disponibilidad) para diferentes volumenes del embalse

Simulación con un volumen de 14.6 Mm3, volumen en el año 2015



La consecuencia de la pérdida en volumen en el abasto de agua se puede determinar con la relación de Almacenaje – Rendimiento

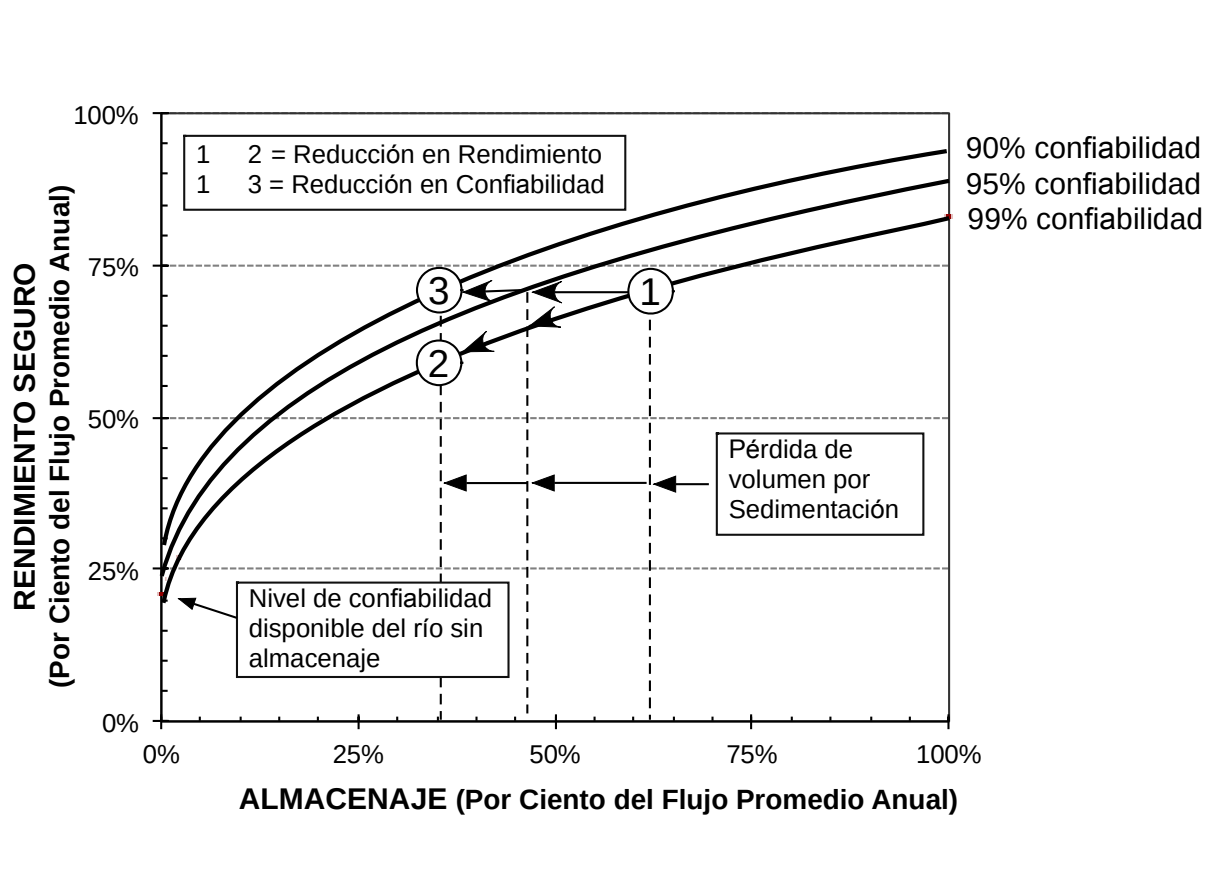
Rendimiento Seguro (Mgal/día)



Volumen de Almacenaje (millones de m^3)

Cambio en rendimiento seguro a consecuencia de la pérdida de volumen por sedimentación

- Según se disminuye el volumen de almacenaje en el embalse, se pierde su capacidad de guardar agua, y su rendimiento seguro disminuye.
- Si se sigue suministrando agua a la misma tasa después de reducir su volumen, entonces la confiabilidad del abasto se reduce.
- De aumentar la intensidad de sequías a consecuencia del cambio climático, también reduce la confiabilidad del sistema de abasto.

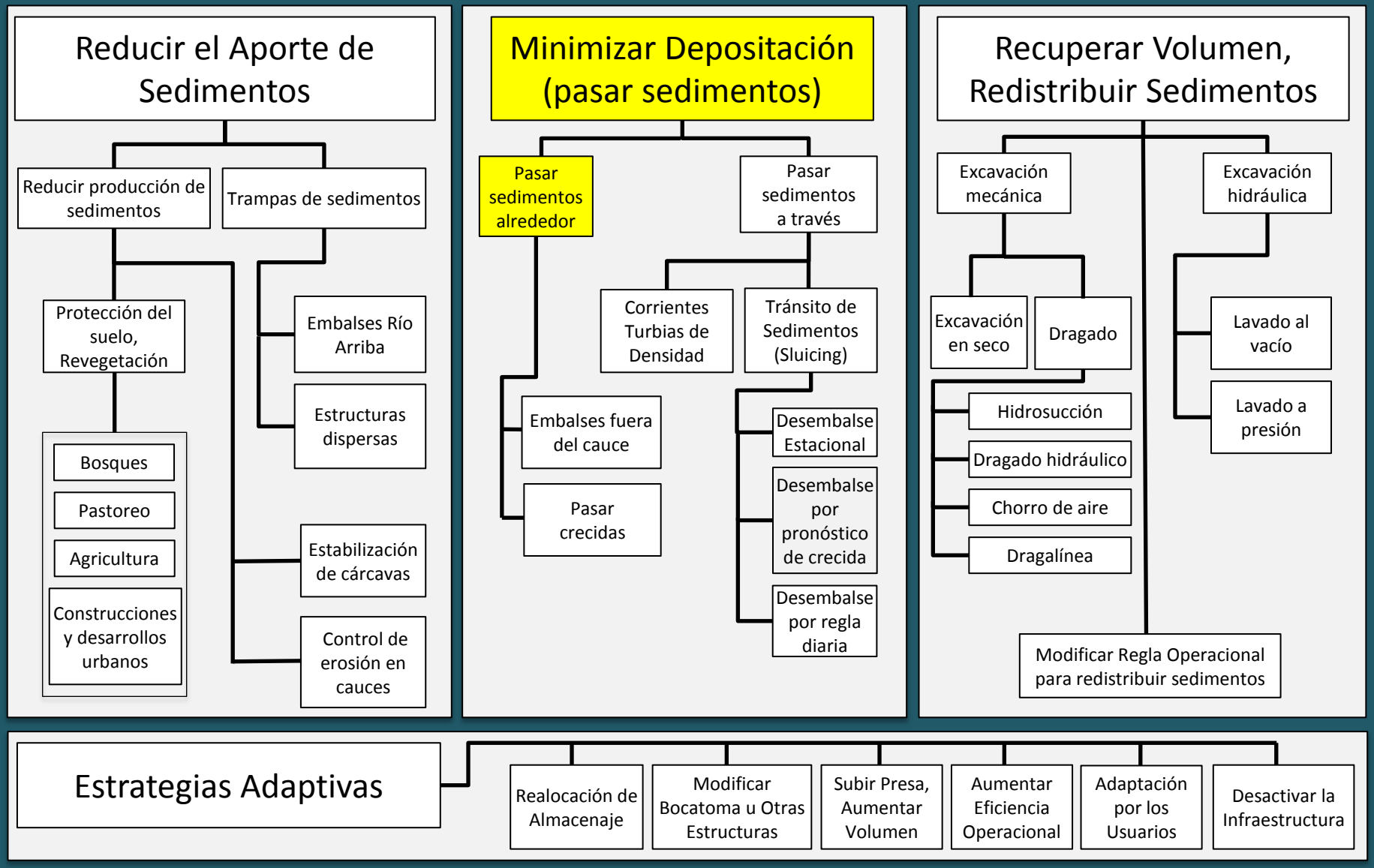


Costo Anual de dragar todos los embalses

(si se puede encontrar sitios para disponer de los sedimentos)

Embalse	Tasa Promedio de Sedimentación (m3/año)
Carite	37,326
Carraízo	308,000
Cerrillos	45,784
Cidra	14,918
Garzas	12,656
Guajataca	87,042
La Plata	280,000
Patillas	27,000
Toa Vaca	162,000
Dos Bocas	305,000
Caonillas	257,500
El Guineo	5,714
Guayabal	60,000
Matrullas	9,403
Guayo	64,146
Loco	31,224
Lucchetti	176,458
Prieto	12,857
Yahuecas	34,878
TOTAL	1,931,906
Volumen a dragar cada año, m3	**1,931,906**
Costo de dragado, $/m3	**$15.00**
Costo Annual de Dragado	**$28,978,590**

Clasificación de Técnicas de Manejo

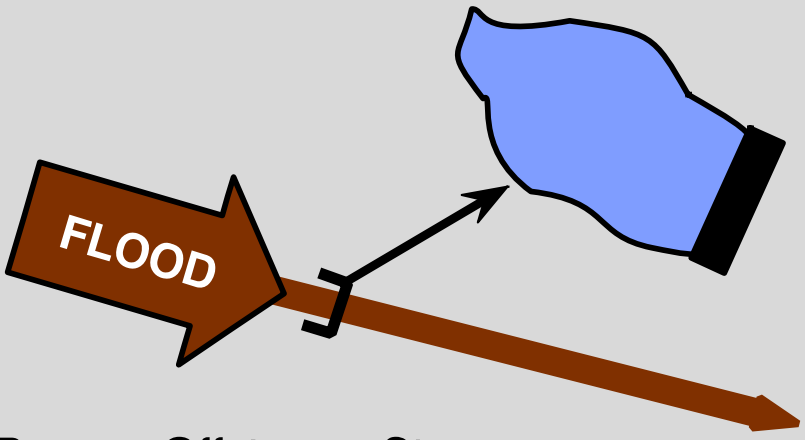


Minimizar Deposición de Sedimentos

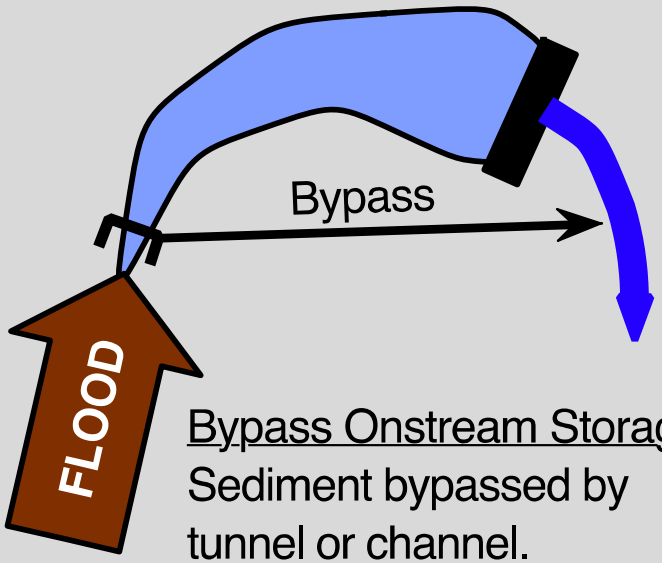
- Pasar sedimentos alrededor del embalse
  - Muy efectivo, el mejor método y se debe utilizar cuando sea factible.
  - Reduce tasa de sedimentación dramáticamente, pero no lo elimina por completo
- Pasar sedimentos a través del embalse (“sluicing”)
  - Reduce el nivel del embalse durante crecidas para maximizar velocidad y minimizar la acumulación de sedimentos
  - Una parte de los sedimentos previamente acumulados pueden ser removido por socavación, pero esto no es el objetivo principal.
- Pasar corrientes de turbiedad
  - Todos los embalses tienen corrientes de densidad, pero no todos transportan una cantidad significante de sedimentos hacia la represa.
  - Requiere descargar o aspirar sedimentos del fondo del embalse
  - Impacto mínimo en la operación del embalse.
  - Puede ser efectiva desde el inicio de la operación del proyecto, pero su efectividad puede disminuir según progresa la sedimentación.

Pasar Sedimento Alrededor del Embalse

Desviar agua limpia
hacia el embalse

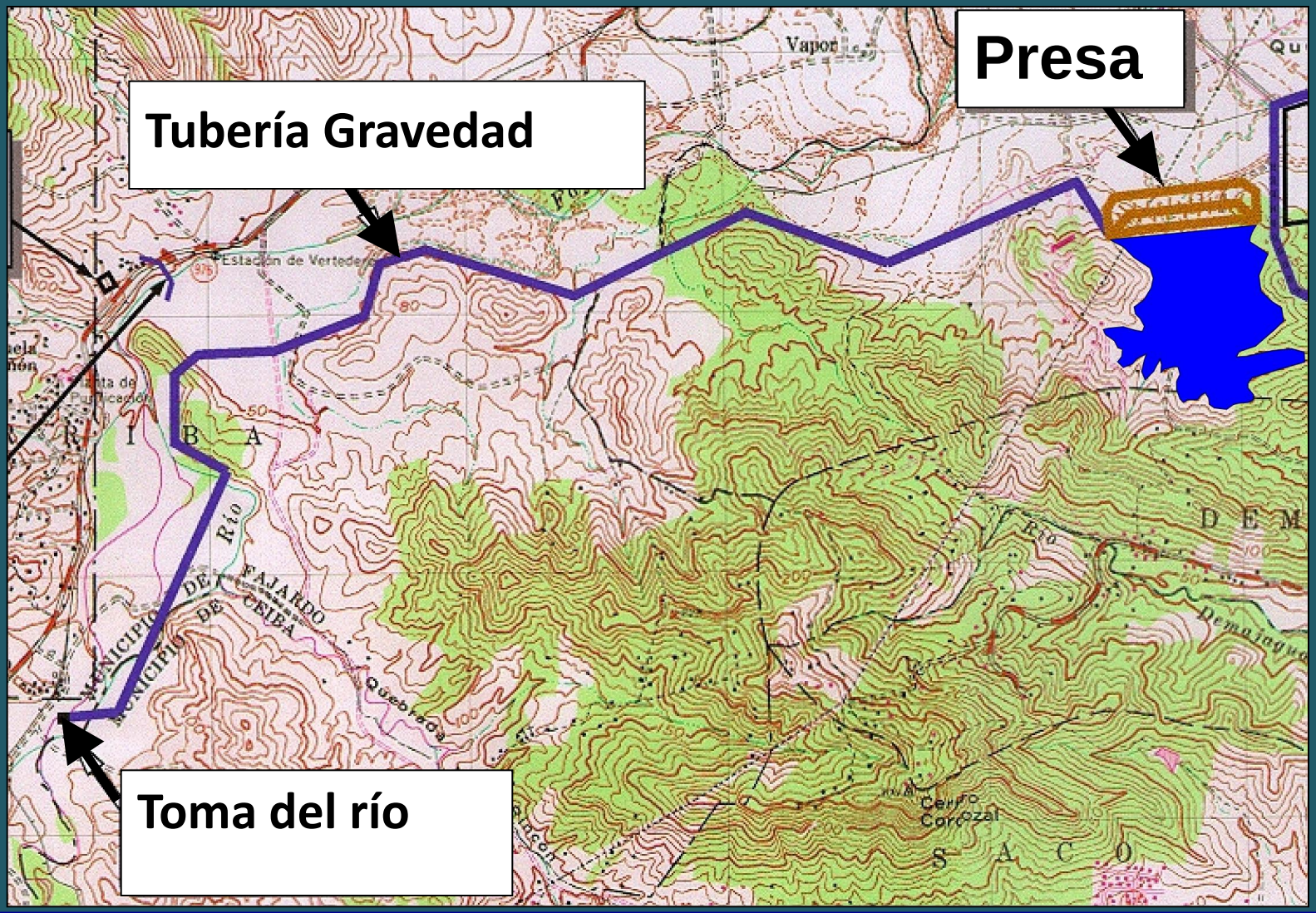


Bypass Offstream Storage:
Sediment-laden floods are bypassed around the storage pool.

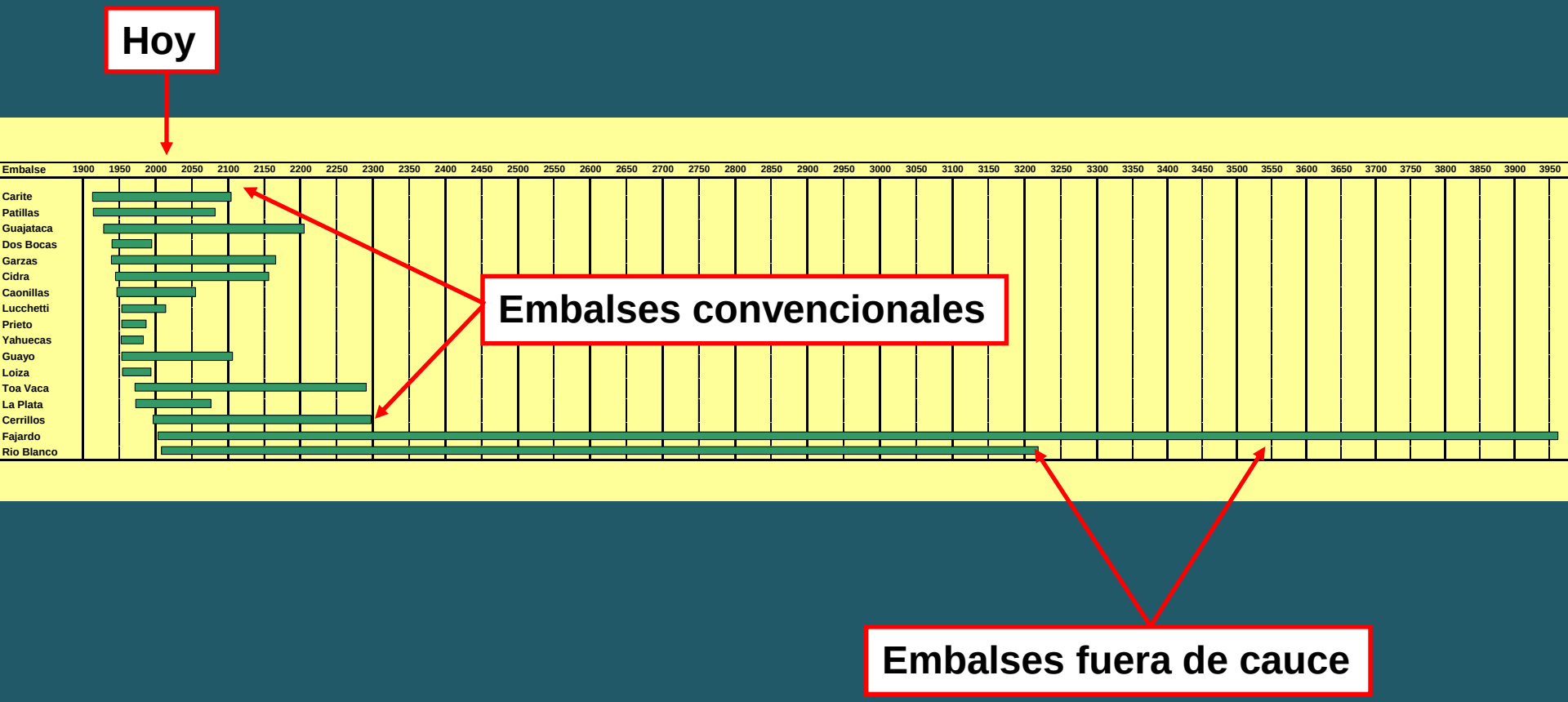


Bypass Onstream Storage:
Sediment bypassed by tunnel or channel.

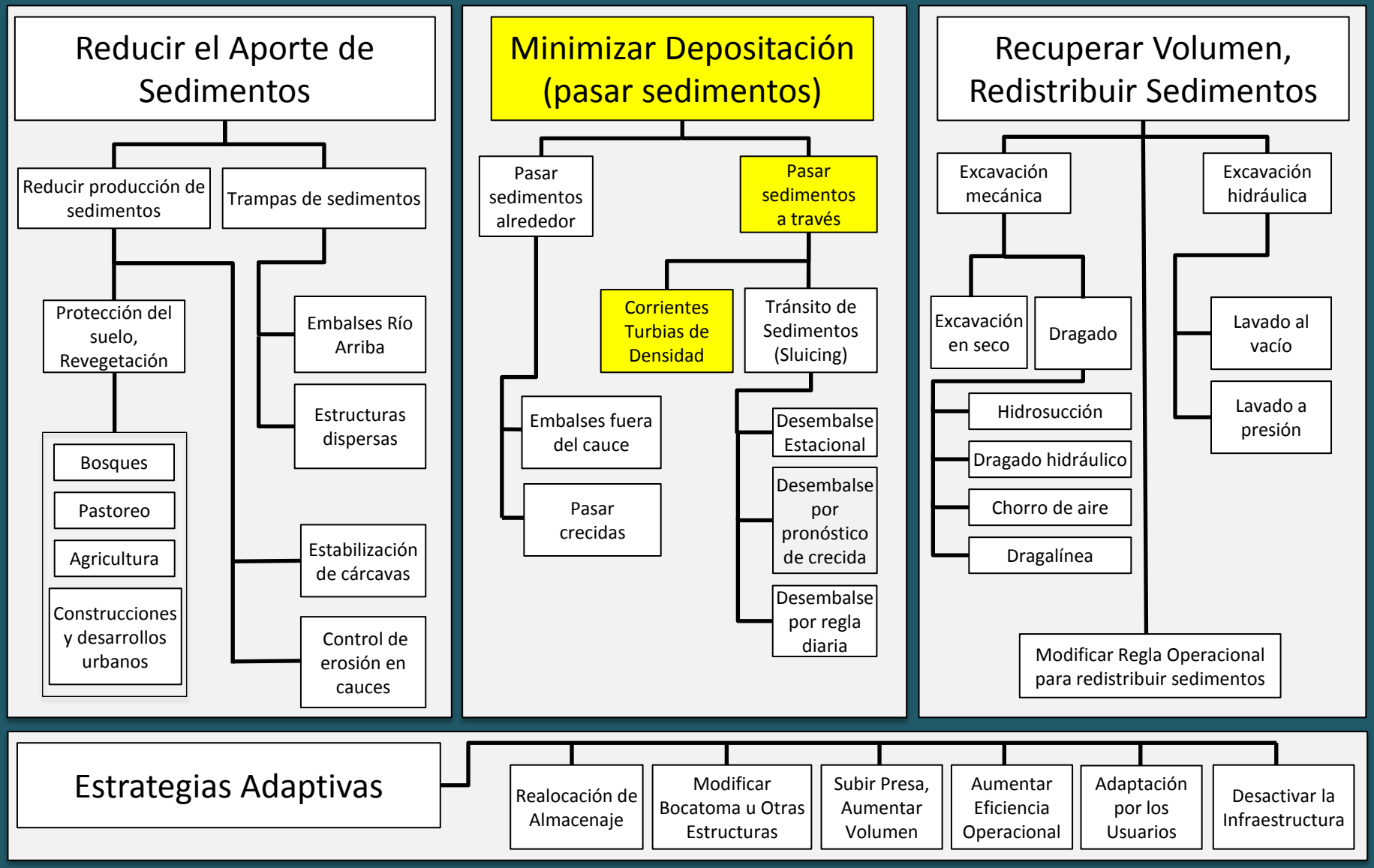
Embalse Fuera de Cauce, Río Fajardo, Puerto Rico (abasto municipal)



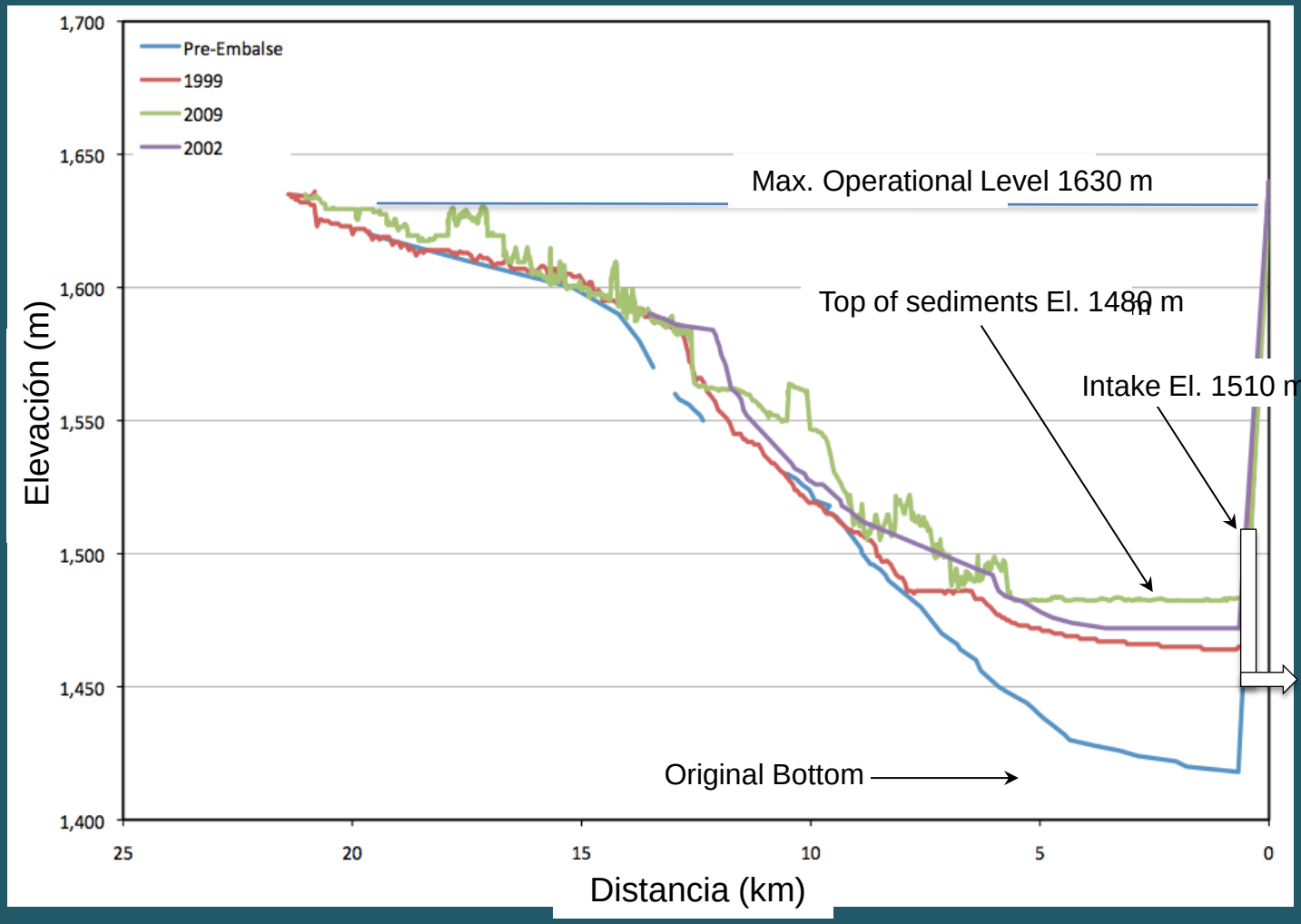
Años requerídos en perder 50% de la capacidad del embalse, Puerto Rico



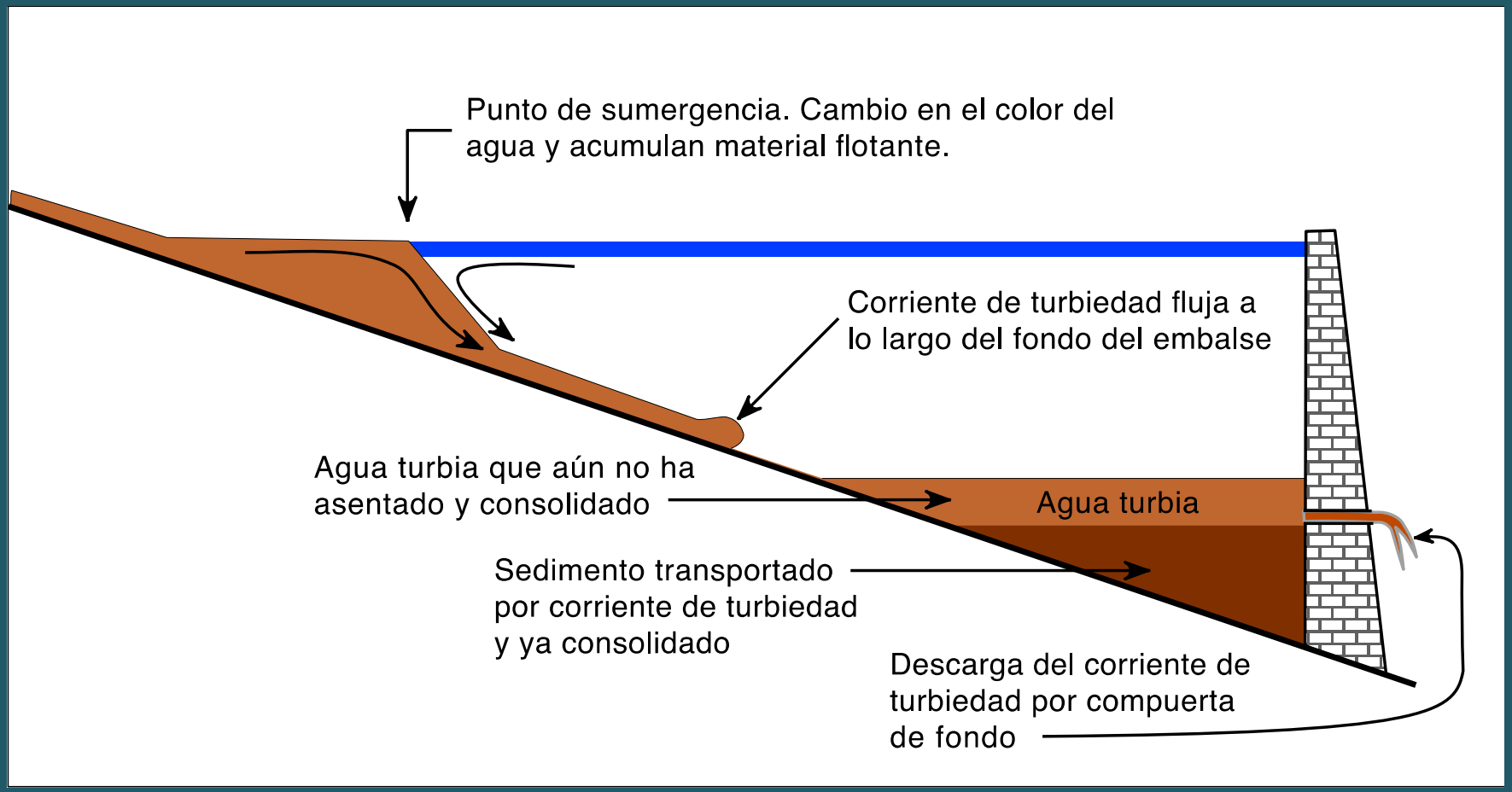
Clasificación de Técnicas de Manejo



Ejemplo de un embalse con delta pequeño y donde predominan los depósitos por corrientes de turbiedad



Corrientes de turbiedad transportan sedimentos finos hacia la represa



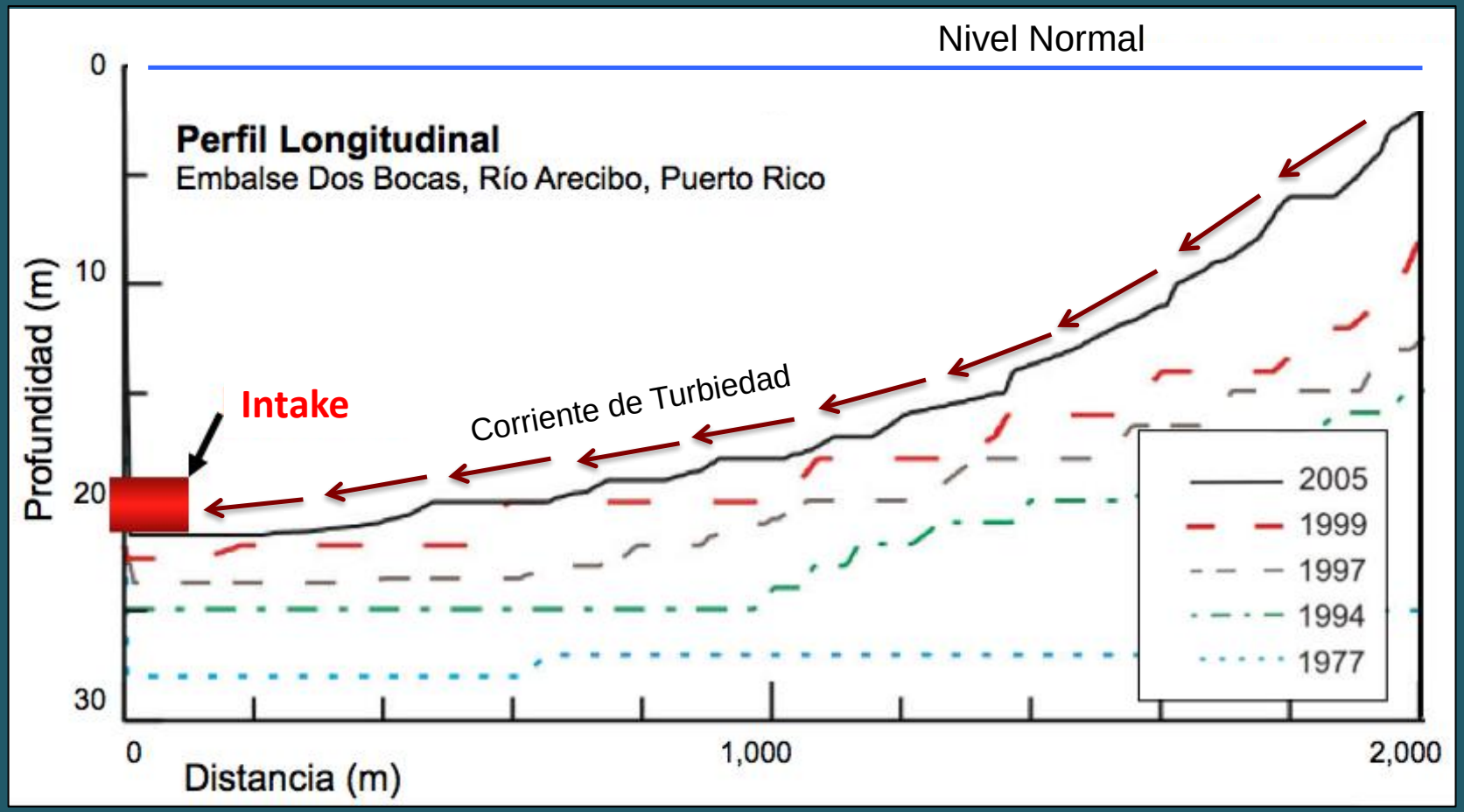
Material flotante acumulado en punto de sumergencia

Embalse Salvajinas, Colombia

Ejemplo de una corriente de turbiedad pasando por un pequeño embalse hidroeléctrico.

Represa Dos Bocas

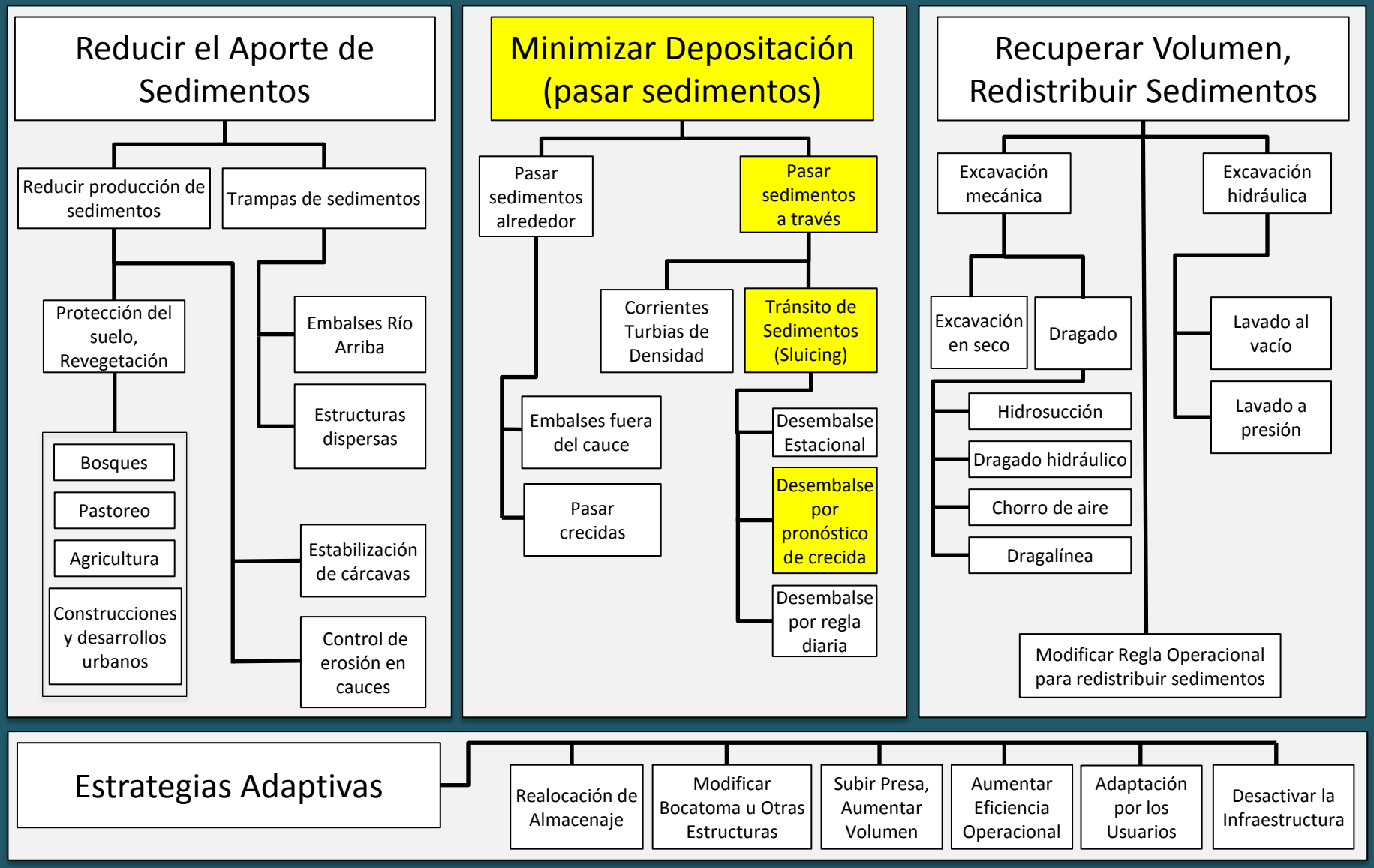
Perfiles longitudinales señalando el avance del delta con arena hacia la bocatoma



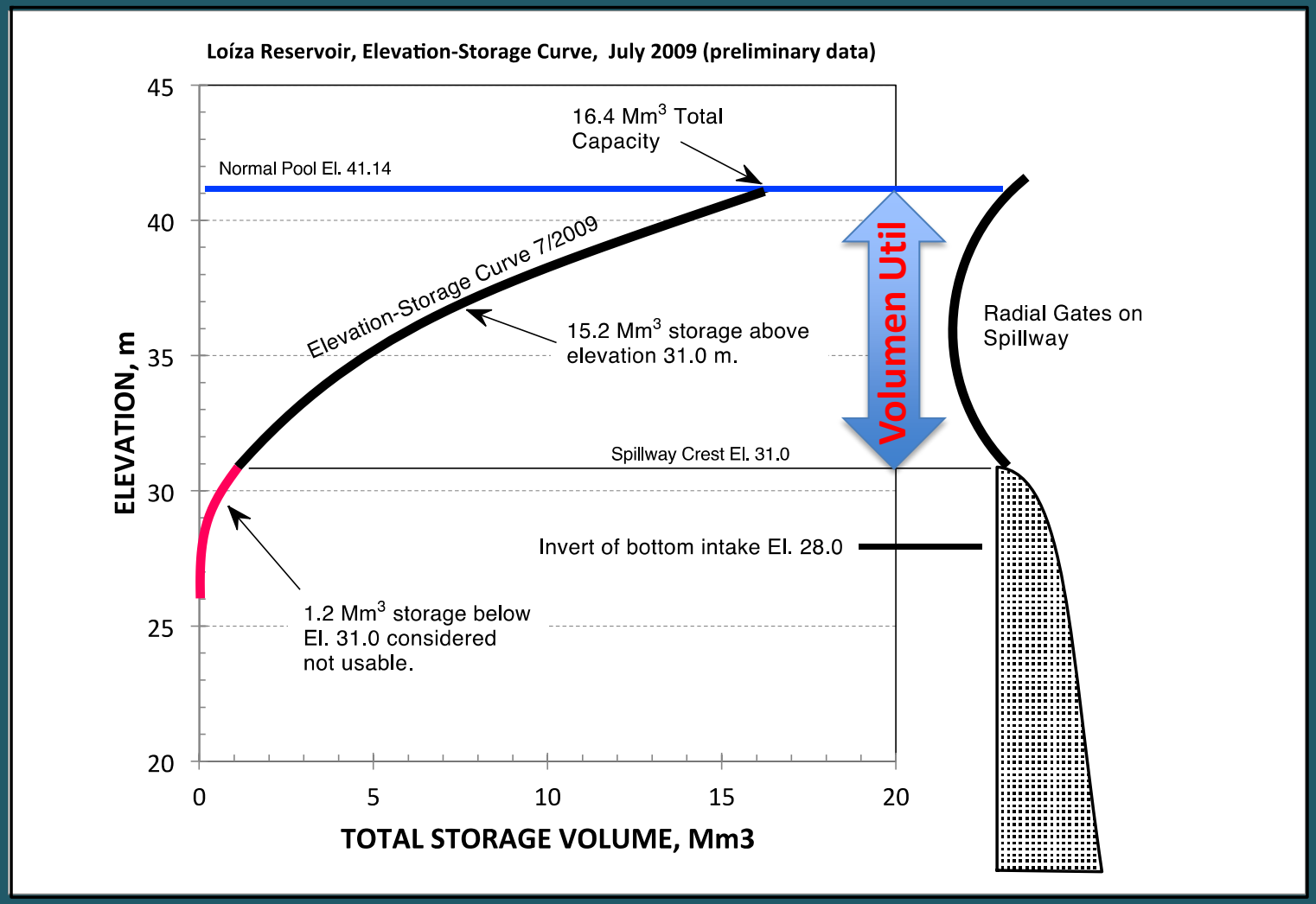
Plataforma para el monitoreo en tiempo real de corrientes de turbiedad

Embalse Shihman, Taiwan

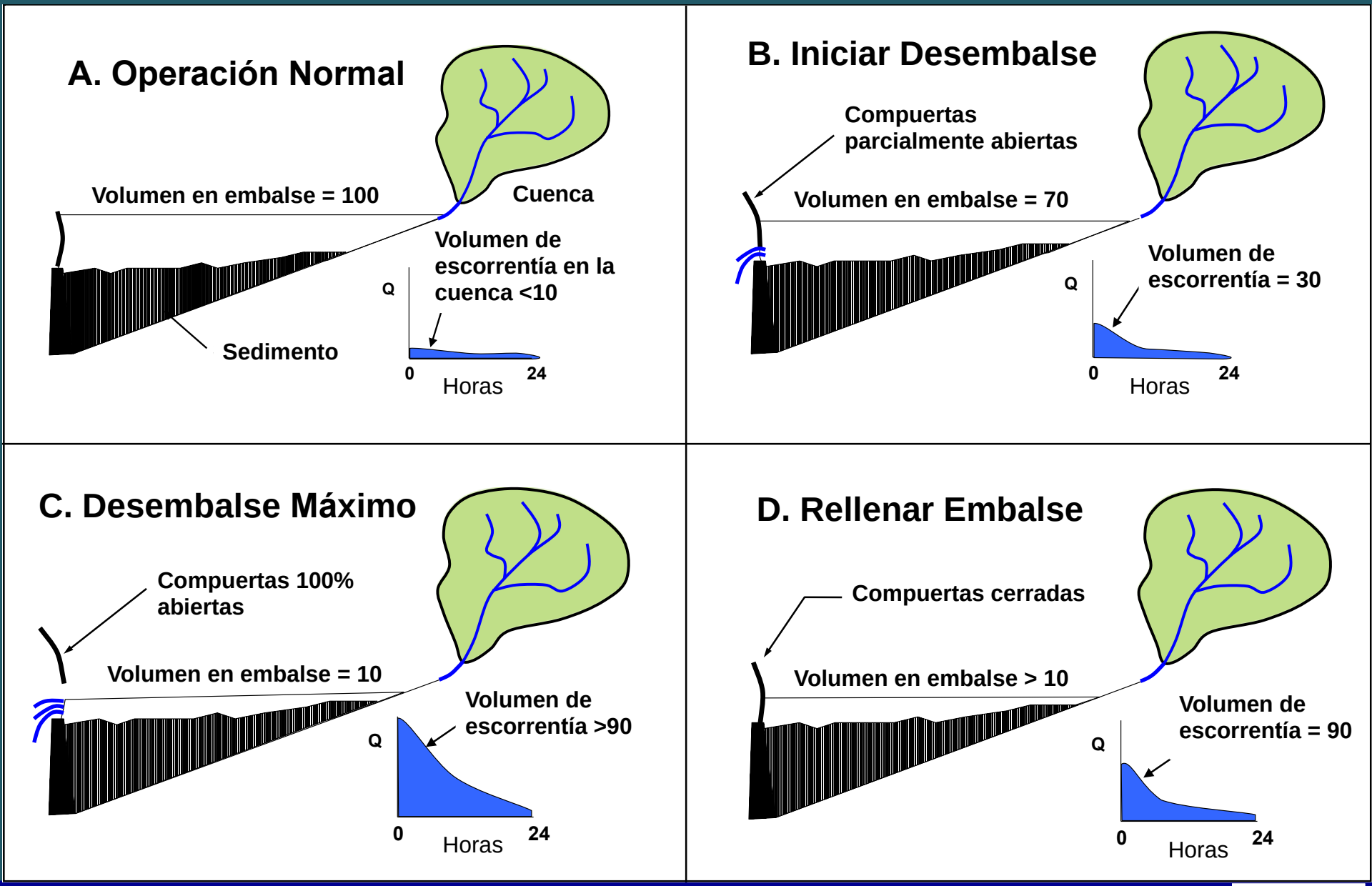
Clasificación de Técnicas de Manejo



Configuración de la Presa Carraízo



Pasando crecida con sedimentos por Carraízo



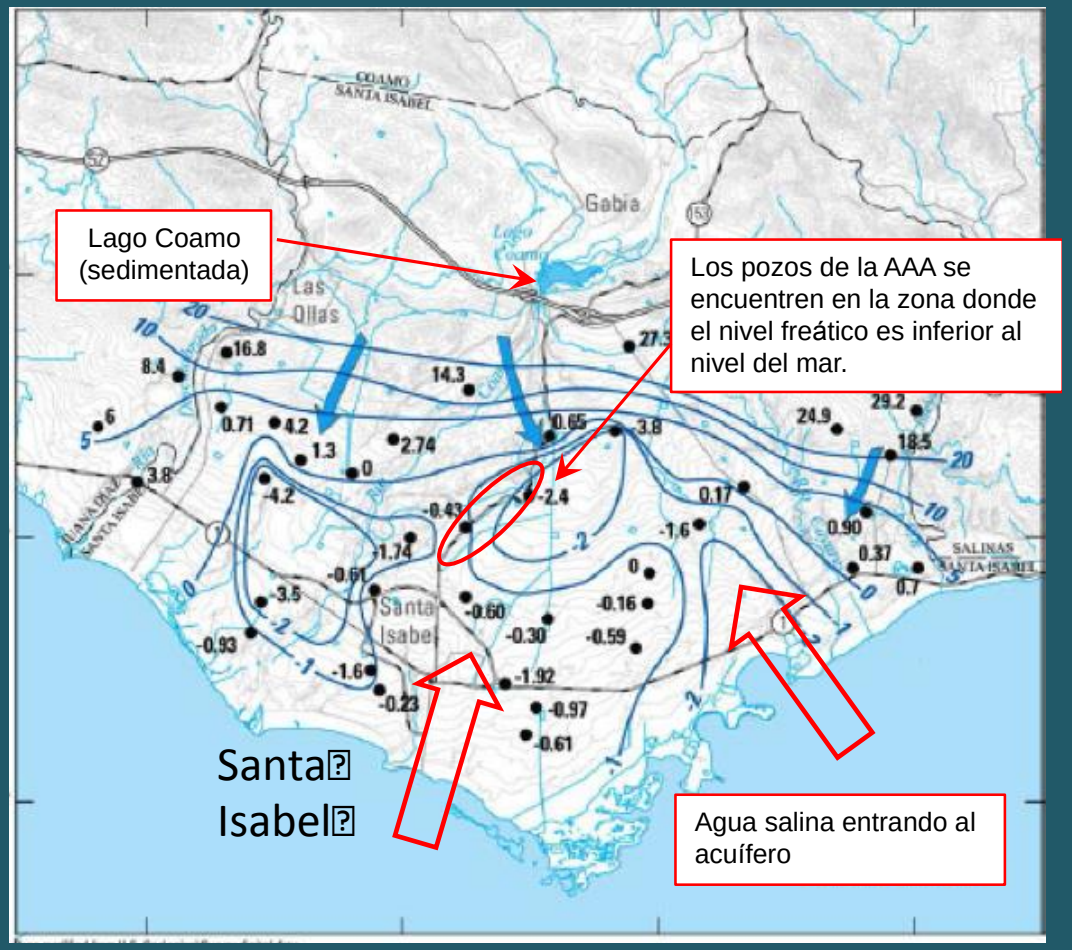
Ventajas de pasar sedimentos por el Embalse Loíza mediante operación de las compuertas de la Presa Carraízo

- Poco costoso. No requiere estructuras nuevas. Se utilizan las compuertas existentes.
- Rápido de implementar.
- Efectivo; puede reducir tasa de sedimentación en 50% o más.
- Ambientalmente amigable porque mantiene el flujo natural de agua y sedimentos a lo largo del río durante crecidas

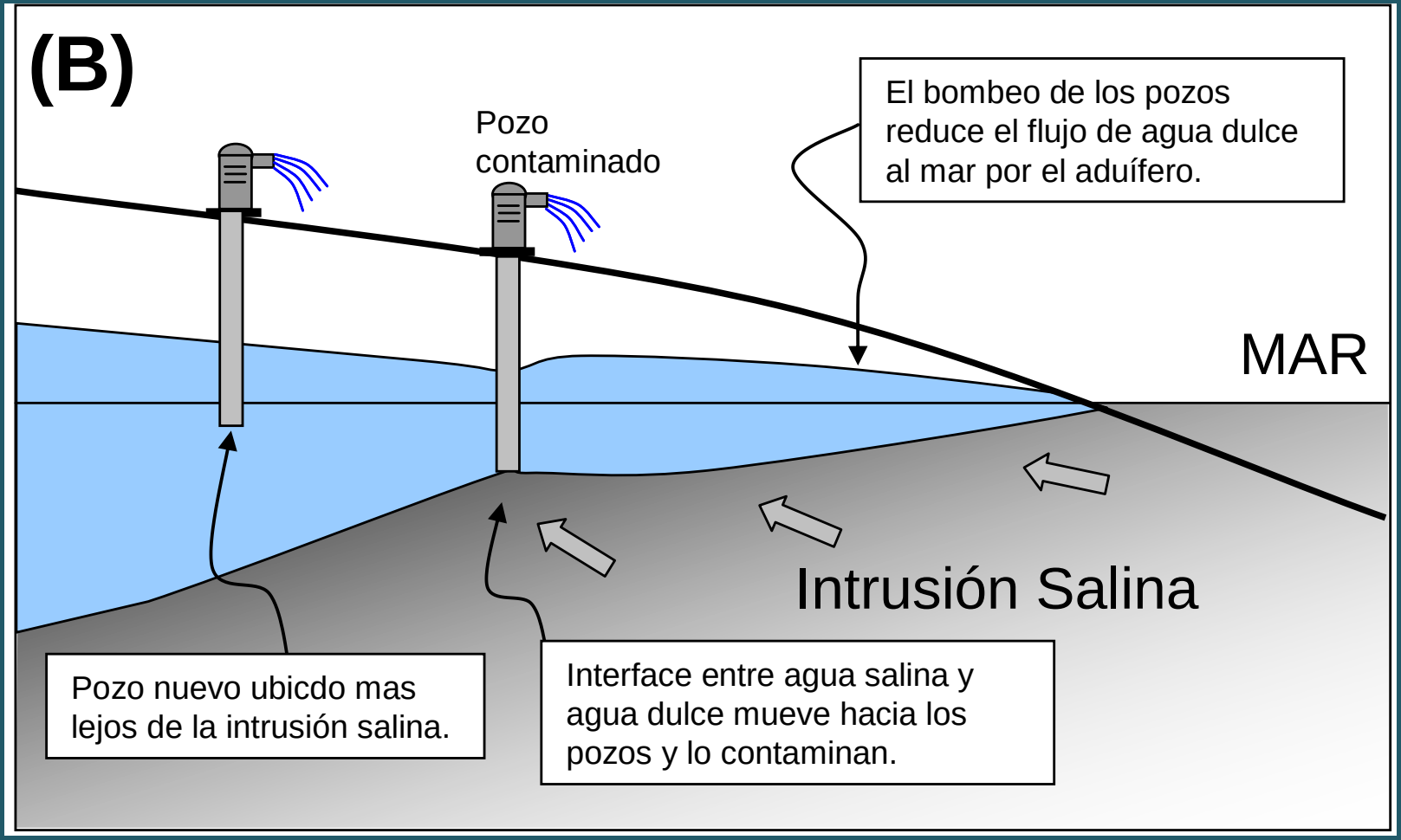
Reto: **El Agua Subterránea**

- Problema de la intrusión salina debido al sobre-bombeo y por el diseño y operación inadecuado de los pozos.
- Problema de contaminación en la zona de recarga:
  - Nitratos proveniente de fertilizantes y abonos
  - Contaminantes químicos (productos de petróleo, etc.)

Sobre-bombeo y intrusión salina en Santa Isabel



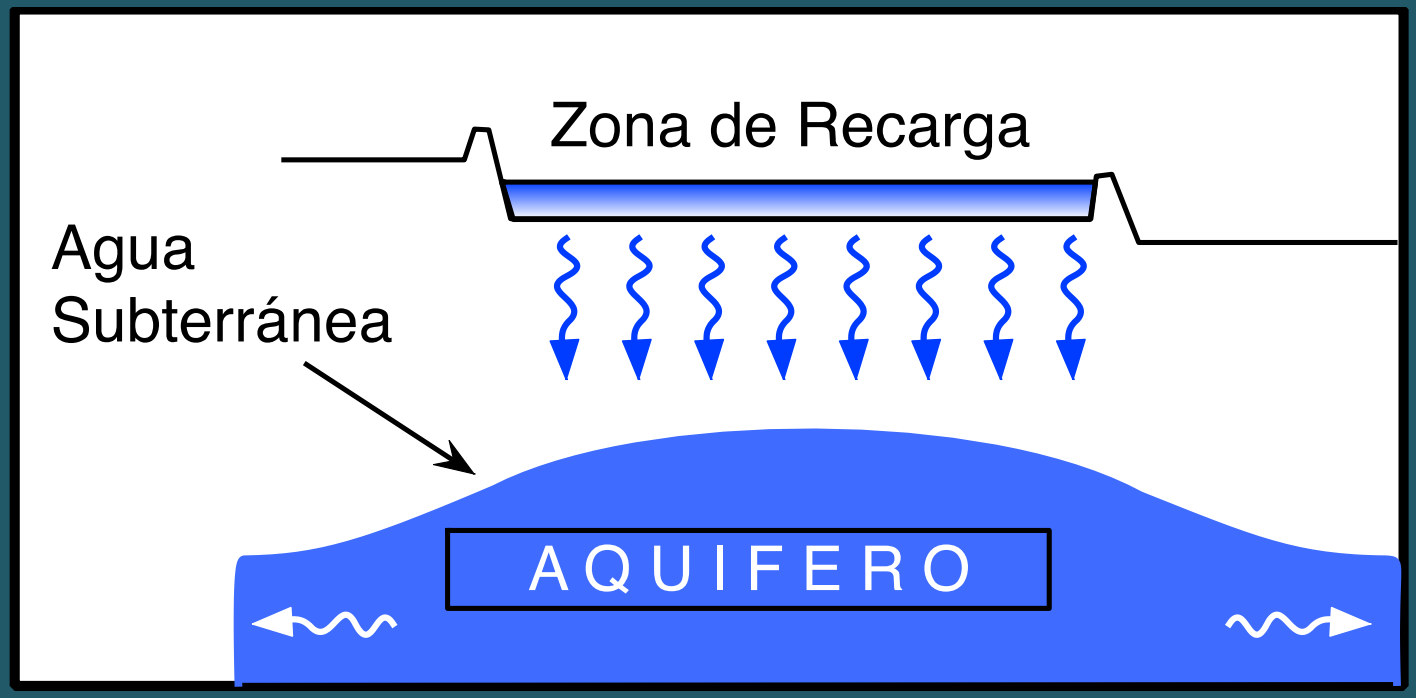
Proceso de Intrusión Salina



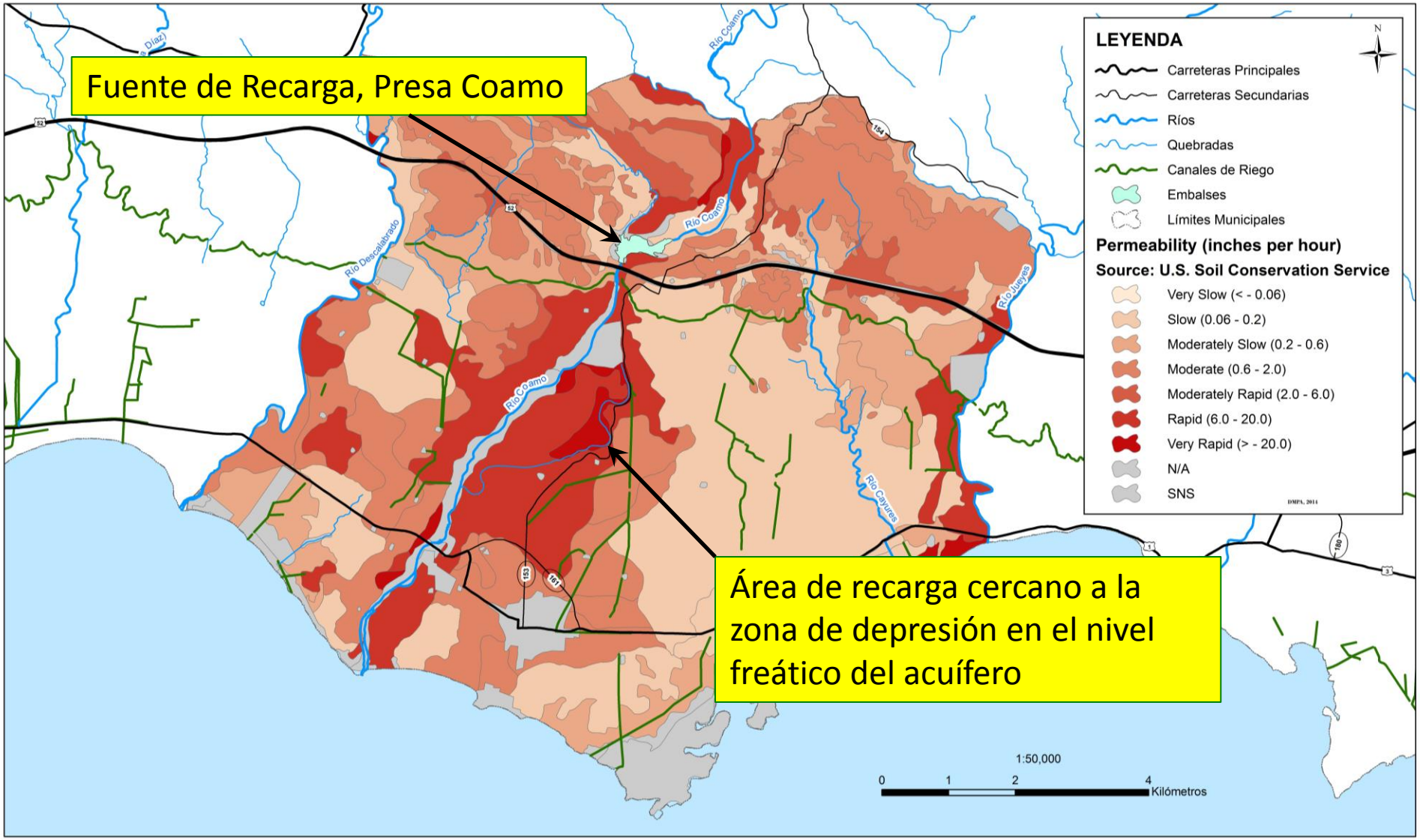
Opción de recarga del acuífero

Requerimientos técnicos:

- Fuente de agua de buena calidad
- Zona de recarga con alta permeabilidad
- Operación intermitente (aplicación intermitente)



Santa Isabel: fuente de agua y zona de recarga



Represa de Coamo: fuente del agua de recarga

Sitio de Recarga

Hay muchas oportunidades para promover la infiltración y recarga, en vez de acelerar la escorrentía de agua fresca hacia el mar. Usar áreas verdes en vez de concreto.

Los ingenieros están enamorados con el concreto!

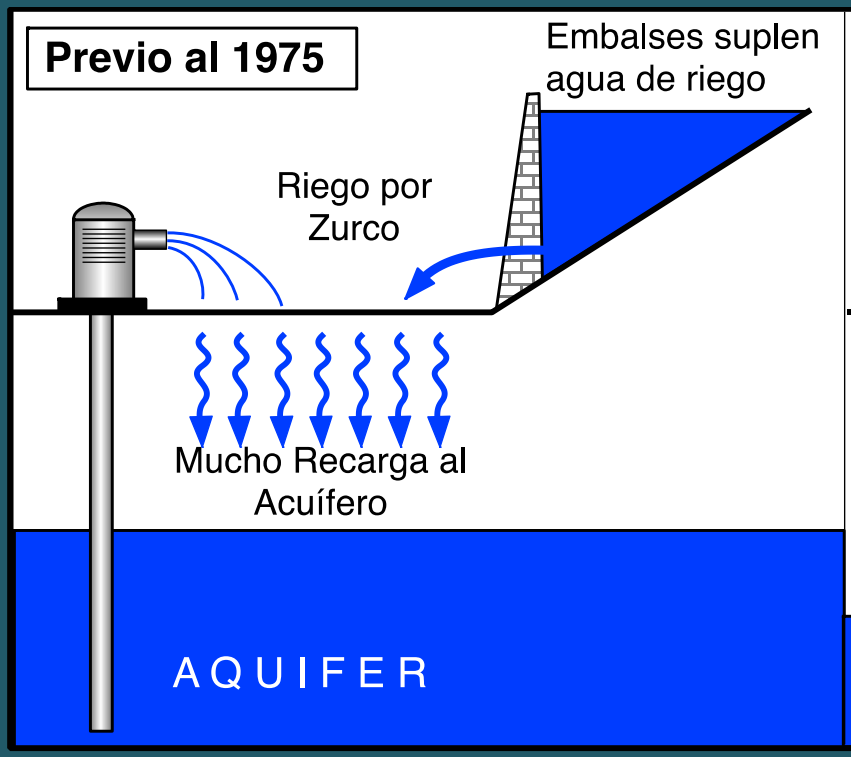
Ponce

More Problems with Traditional Designs

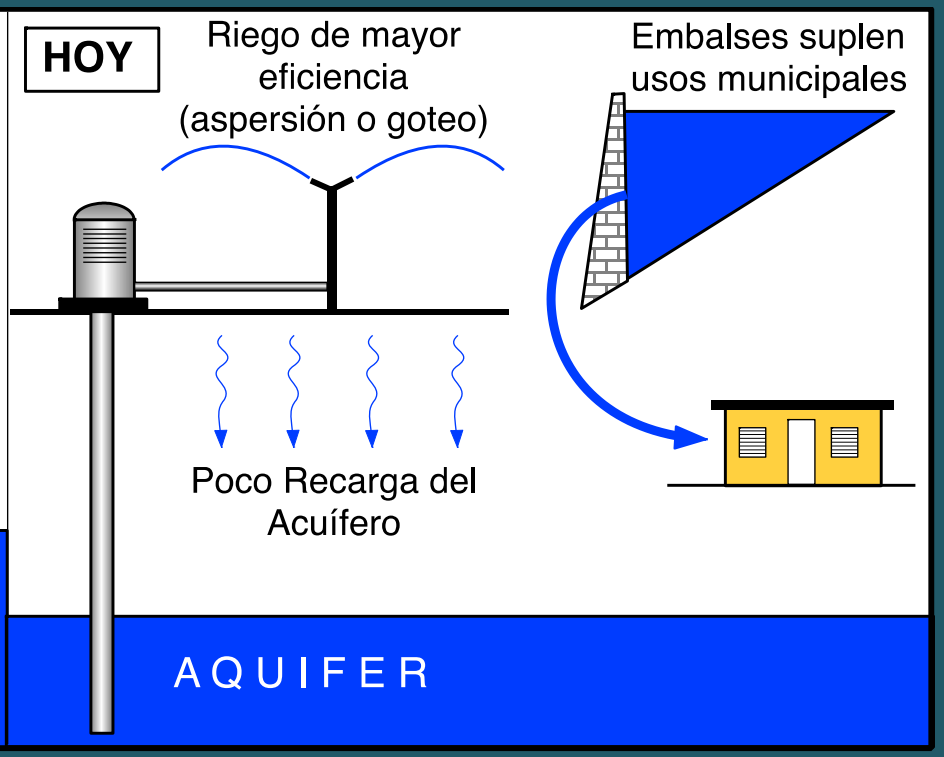
- Channelization eliminates floodplains, moves the flood downstream more rapidly, increasing downstream flood peaks.
- Channelization traps bed material needed to maintain the bed of the downstream channel.

Otro problema es el cambio en nuestro patrón de utilización del agua

Mucha Recarga

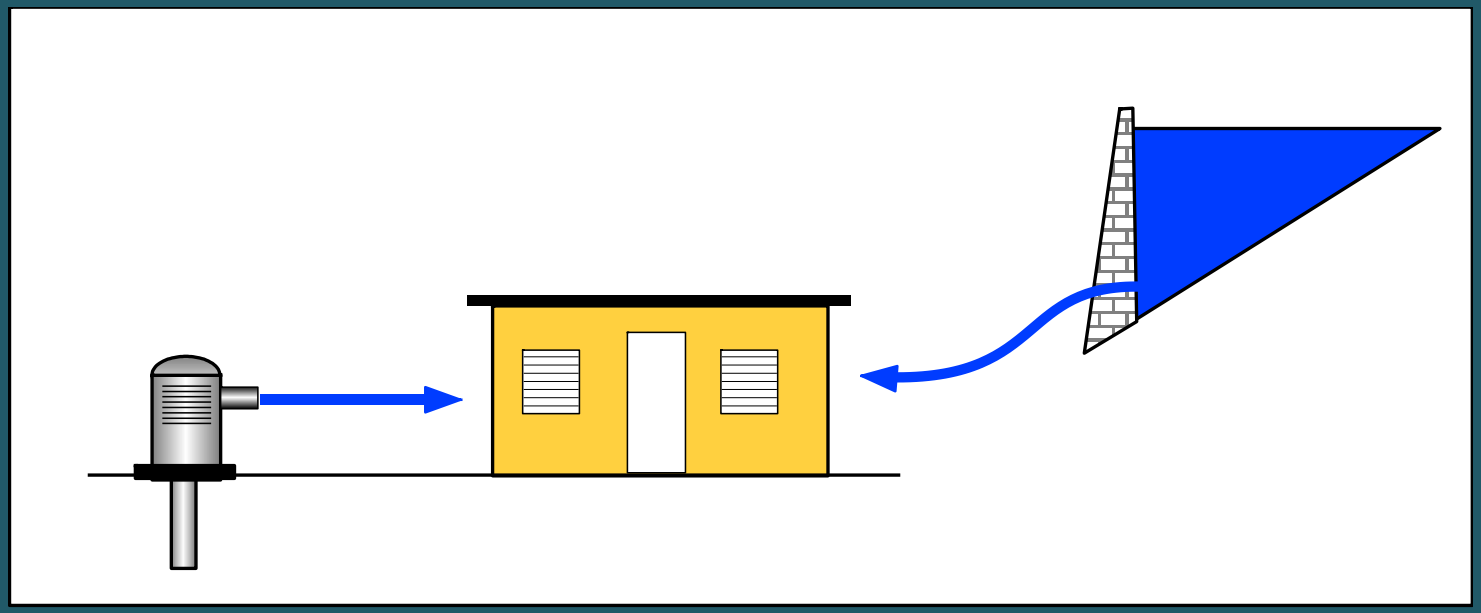


Poca Recarga

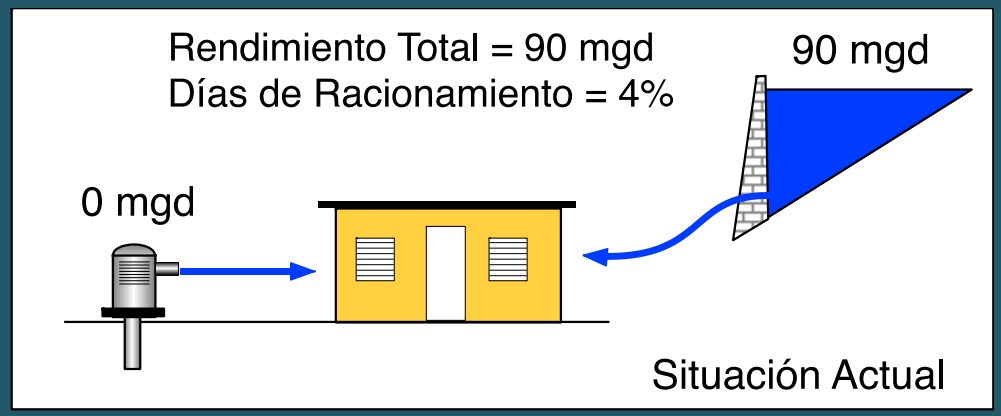


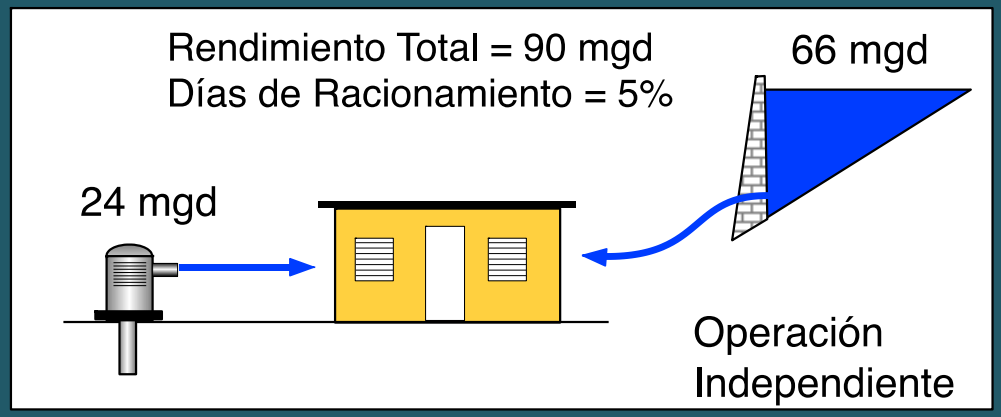
Reto: **Optimizar Utilización del Agua Superficial y Subterránea en Conjunto**

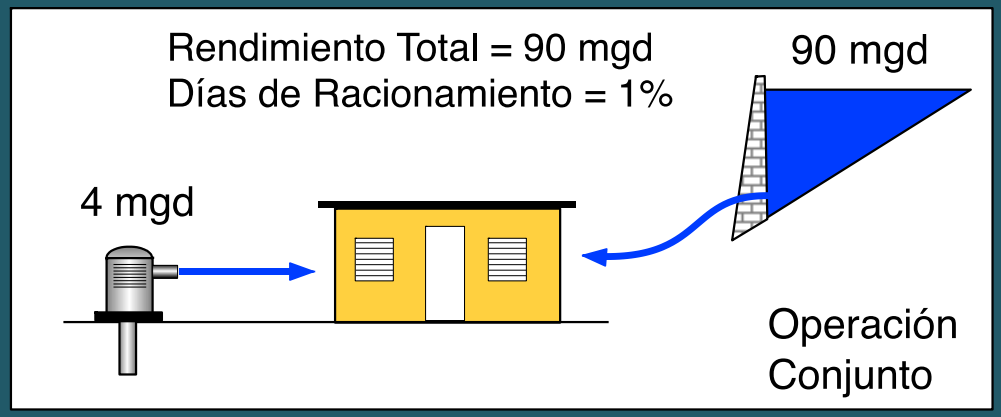
Utilizar almacenaje de los embalses y de los acuíferos como un sistema integrado.



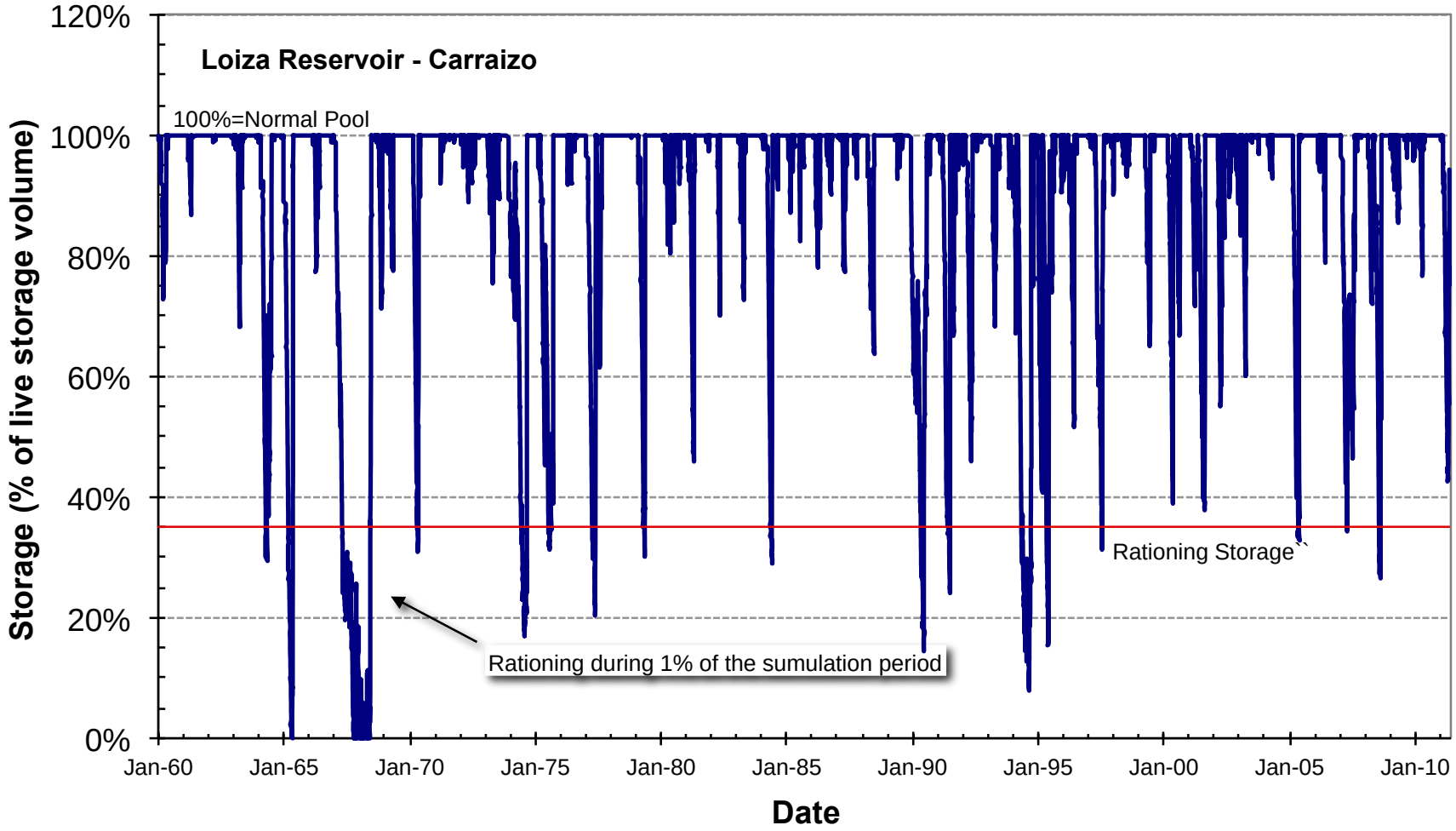
Los Beneficios de la Utilización en Conjunto para lograr 90 mgd con 99% de confiabilidad (1% días de racionamiento)



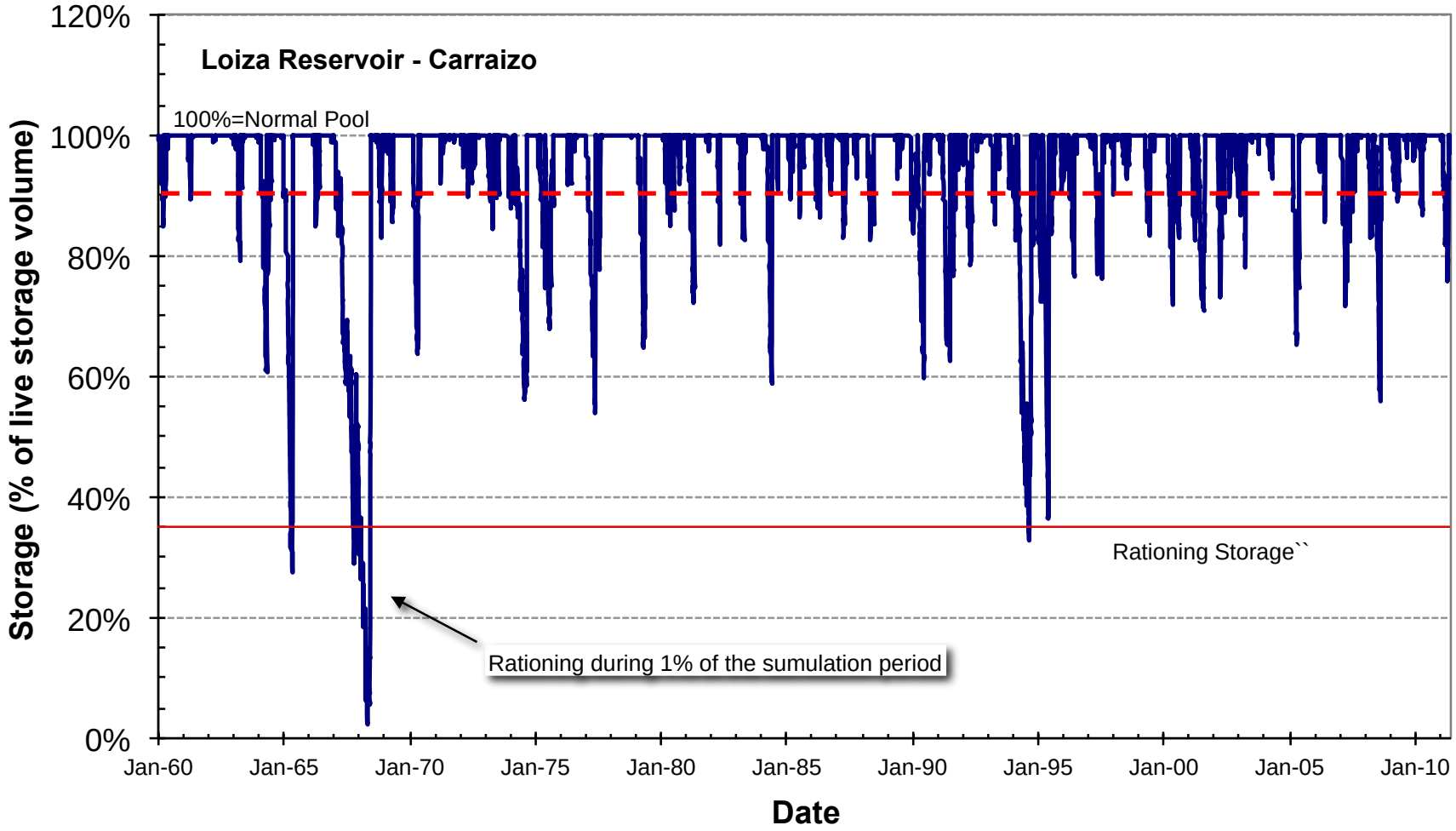




Comportamiento del Embalse para Extracción del Embalse Solamente



Comportamiento del Embalse para 90 mgd embalse + 4 mgd de pozo



El uso en conjunto aumenta el aprovechamiento del agua superficial, y guarda los pozos como fuente de abasto intermitente

- Hay 24 mgd de capacidad de bombeo en los pozos
- Los pozos se utilizan solamente cuando el nivel en el embalse empieza a bajar
- Debido a que la utilización de los pozos es intermitente, su utilización promedio es de solamente 4 mgd
- Esta estrategia sustituye el agua del pozo con el agua que de otra manera se vierte sobre el vertedero de la presa

Puntos Importantes

- Pueto Rico tiene mucha agua
- Hay muchas opciones de manejo que no se han aplicado en Puerto Rico que pueden ser muy beneficiosas
- Hay que quitarse las gringolas e implantar soluciones sostenibles y costo-efectivas
- **Hay Soluciones**.

FIN