Simulación de la resuspensión de sedimentos en el Lago Tahoe

Patricio A. Moreno, M.Sc., Ph.D.
Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas
Universidad de los Andes

Contexto

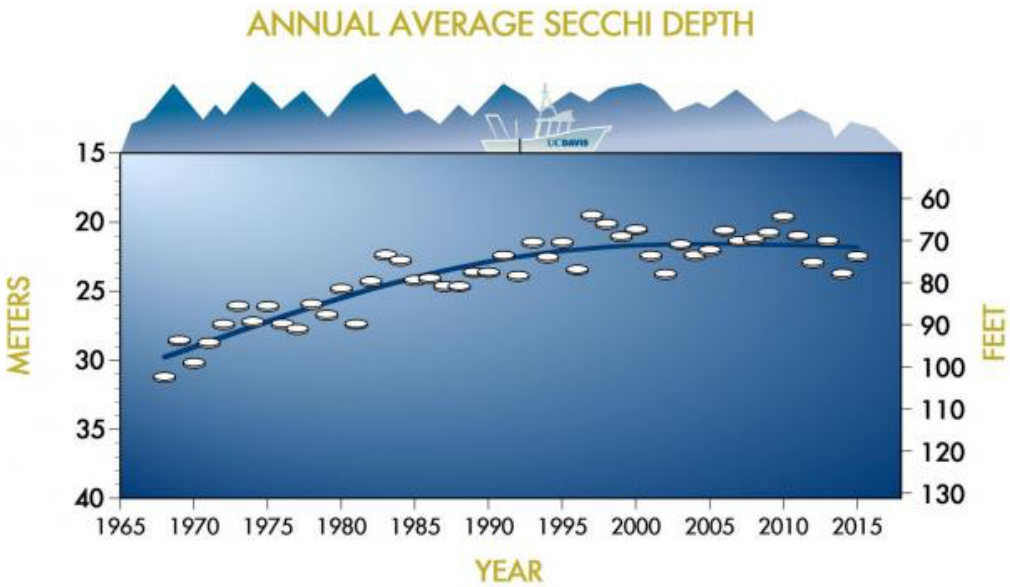
- Muchos lagos sufren problemas de calidad de agua asociados a la resuspensión de partículas sedimentarias

- En el tiempo partículas, nutrientes y contaminantes se acumulan en el fondo de lagos

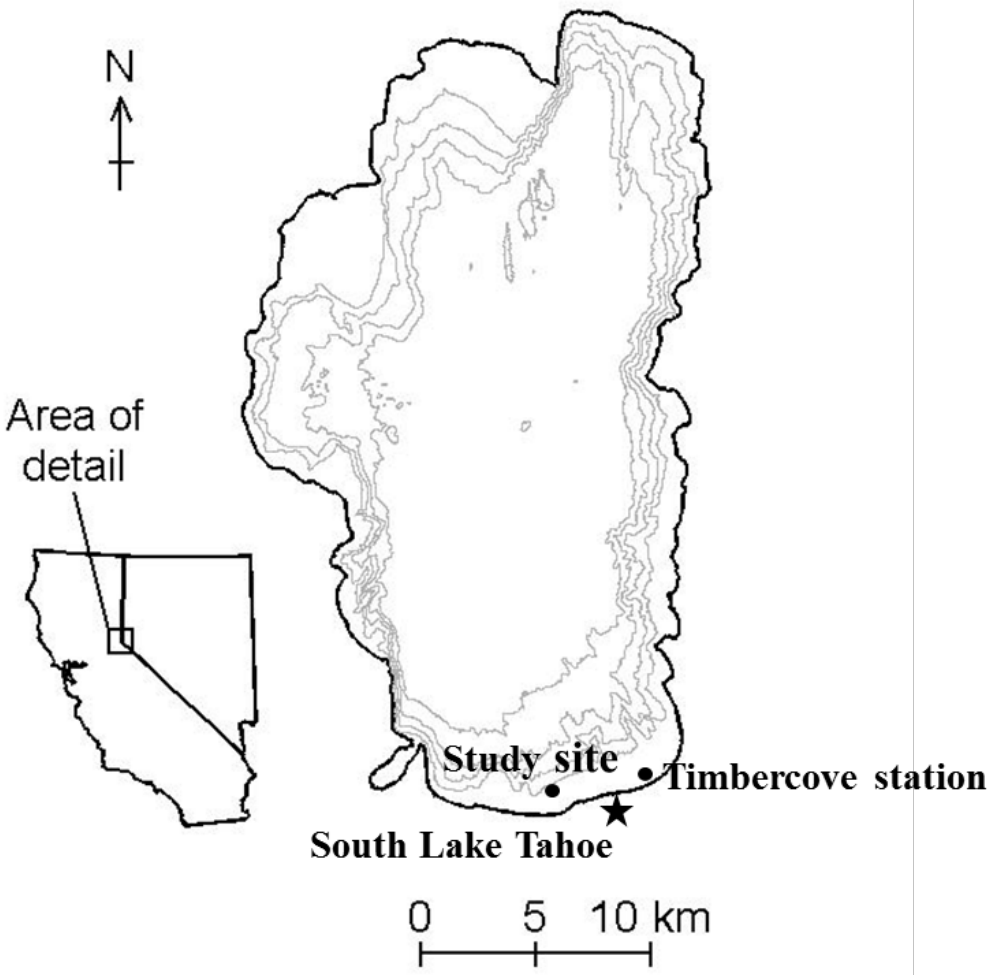
- La resuspensión de estos sedimentos es de interés porque puede alterar la calidad del agua
    1. Aumento de la turbiedad (cambio de $T°$ y claridad)
    2. Liberación de nutrientes acumulados (eutrofización)
    3. Liberación de contaminantes acumulados

Motivación

- La calidad del agua del Lago Tahoe se ha deteriorado en los últimas décadas, y se cree que una de las fuentes de dicha degradación es la resuspensión de sedimento



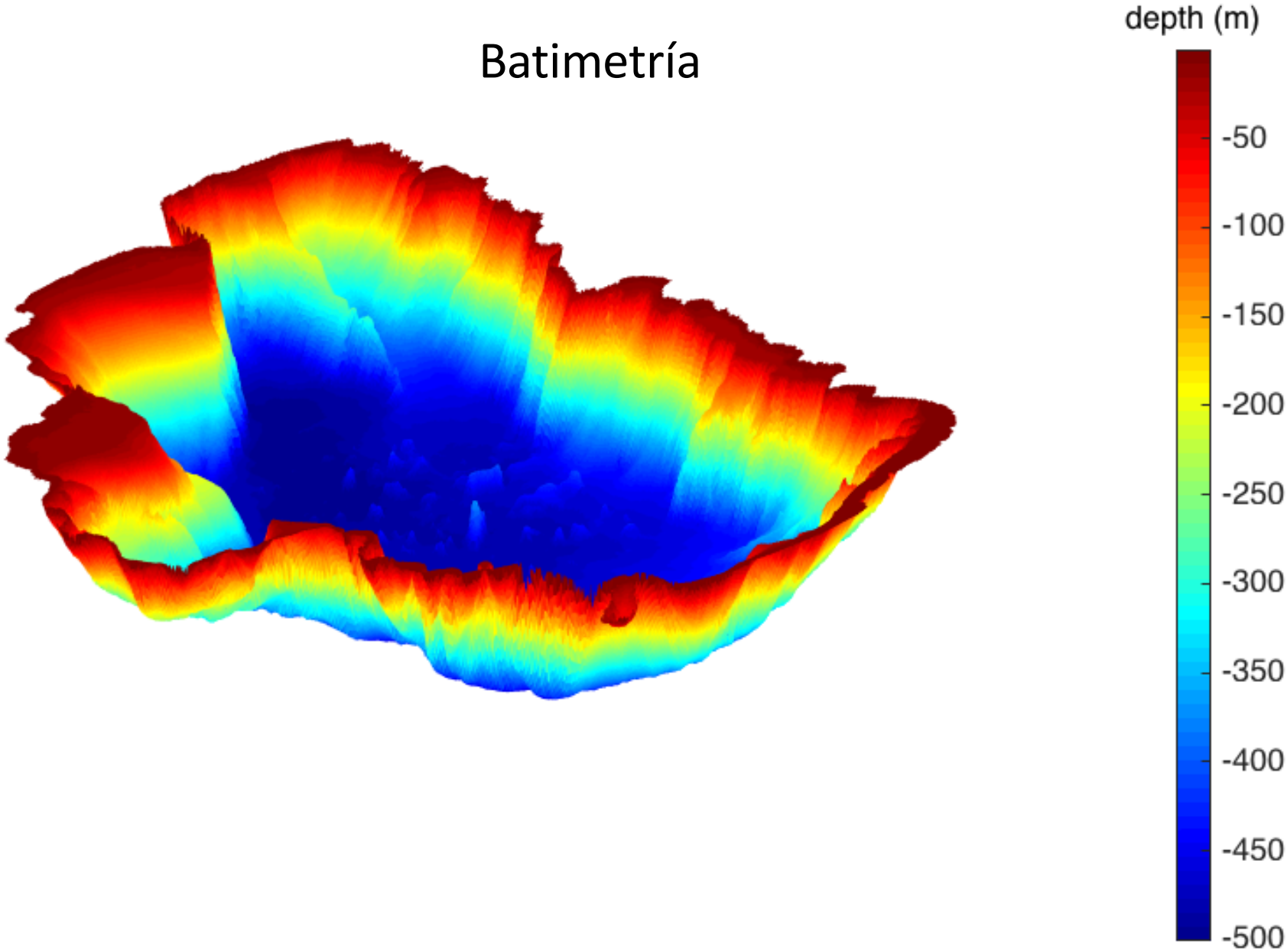
Características del Lago Tahoe



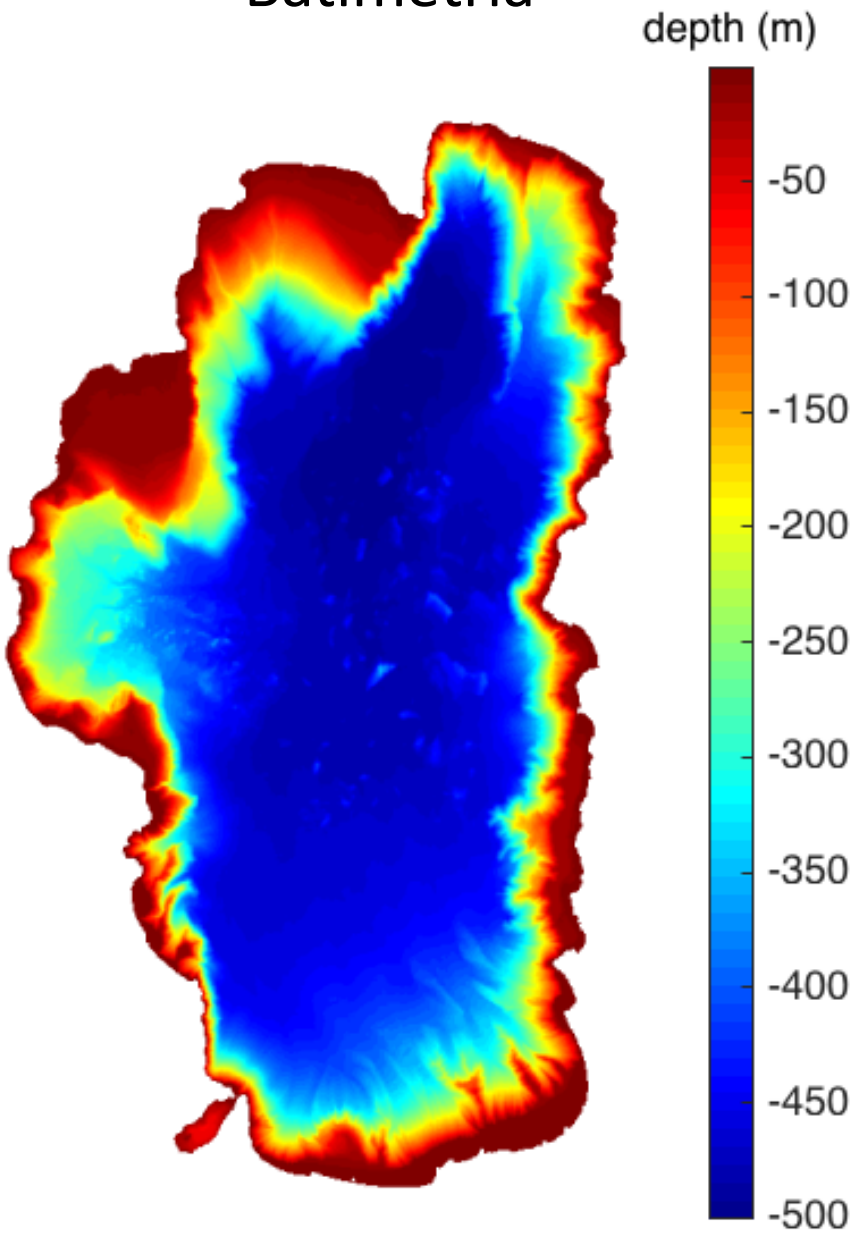
- Ubicado en CA-NV, EE.UU.

- Altitud : $1897\ msnm$
- Max. Longitud : $35\ km$
- Max. Ancho : $12\ km$
- Área superficial : $490\ km^2$
- Max. Prof. : $505\ m$
- Volumen : $156\ km^3$

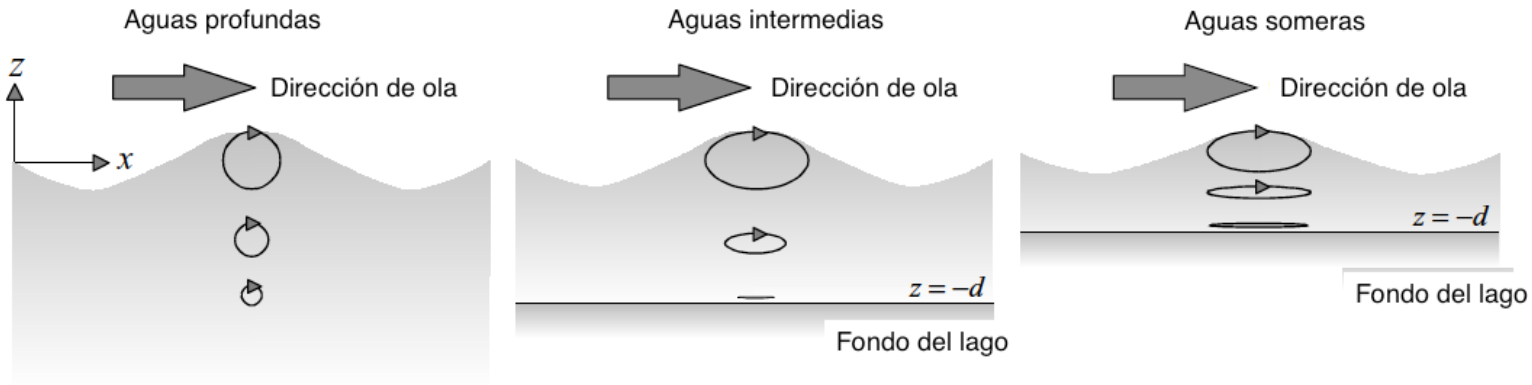
Batimetría

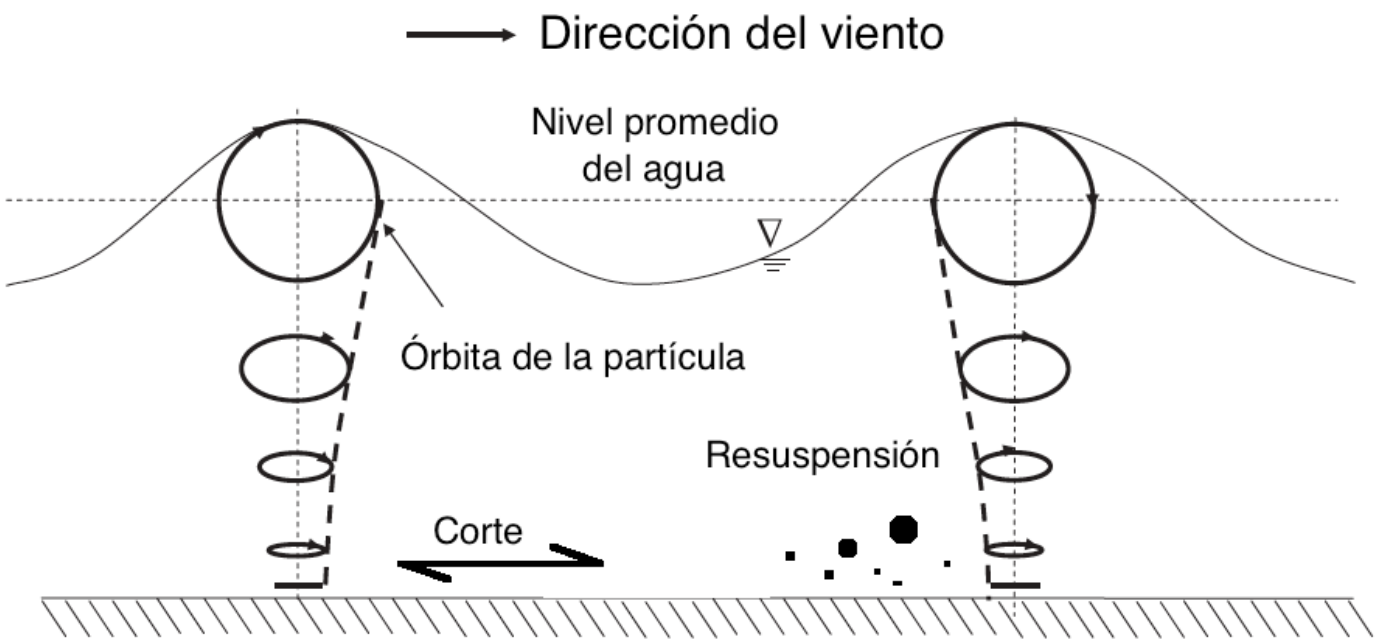


Batimetría



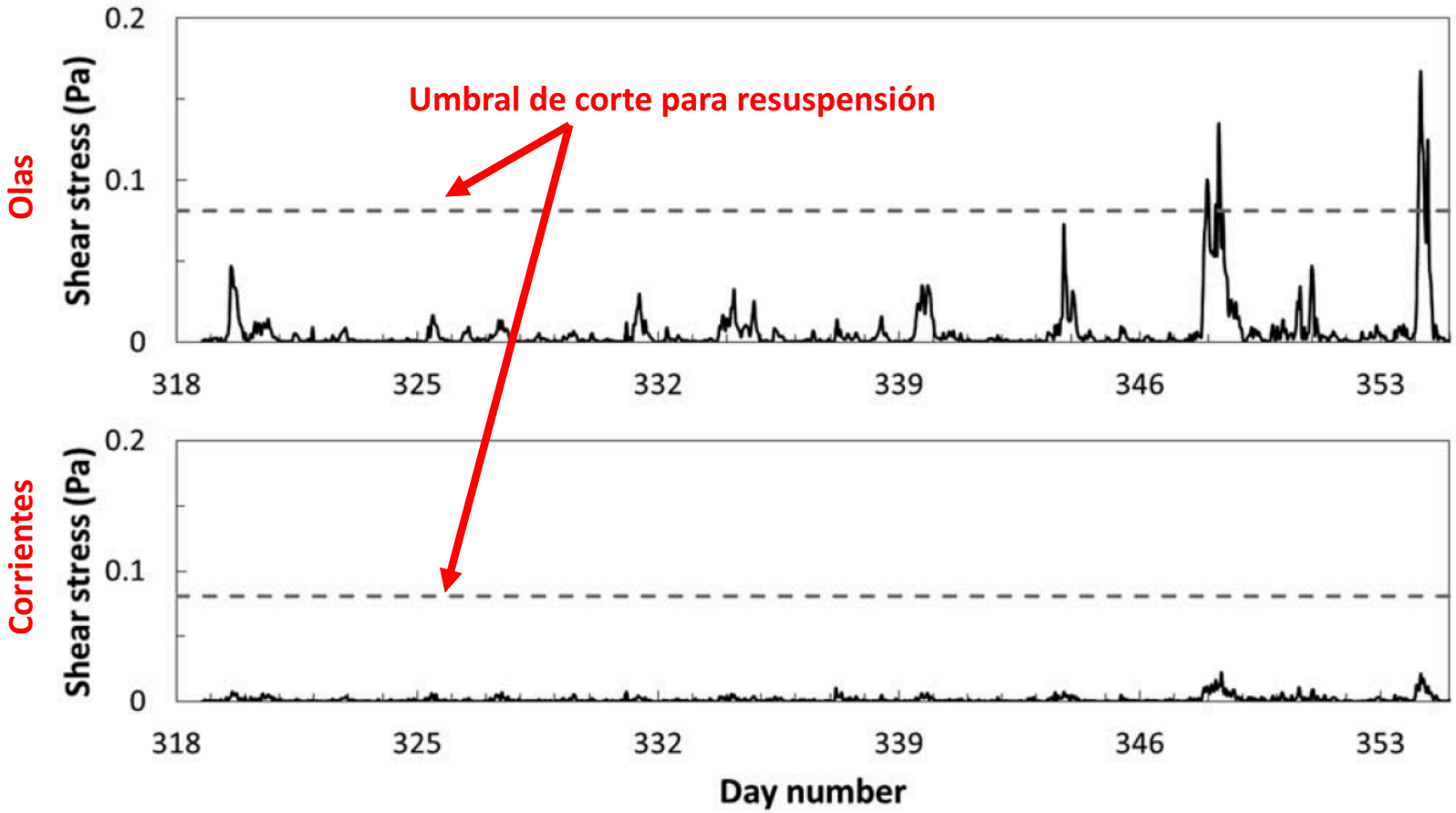
Causas de resuspensión





Causas de resuspensión

- Potenciales generadores de esfuerzos de corte en el fondo:



Comparación del esfuerzo de corte en el fondo generado por **(arriba) olas y (abajo) corrientes**, medido *in situ*. La línea segmentada indica el esfuerzo de corte crítico para partículas de $150\ \mu m$ de diámetro

Simulación de olas

- Se utilizará el programa STWAVE
  - Programa del US Army Corps of Engineers (USACE
  - Permite simular olas generadas por el viento en 2D
  - Utiliza diferencias finitas
  - Flujo permanente
  - Método espectral
  - Resuelve la generación y transformación de olas por refracción, shoaling, rompimiento de olas, y generación de olas inducidas por viento, interacción entre olas, etc.

- PROBLEMA: STWAVE esta diseñado para ser utilizado en zonas costeras, no en lagos
  - Altos números de Reynolds de olas
  - Ocupa **Manning** para representar la fricción en el fondo (**completamente turbulento**)

- SOLUCIÓN: Cambiar la forma de calcular fricción a **régimen viscoso** (bajos números de Reynolds)
  - Acceso a código fuente
  - Modificar subrutina de calculo de esfuerzo de corte por fricción

Esfuerzo de corte viscoso

- Utilizamos definición de arrastre (drag) por corte

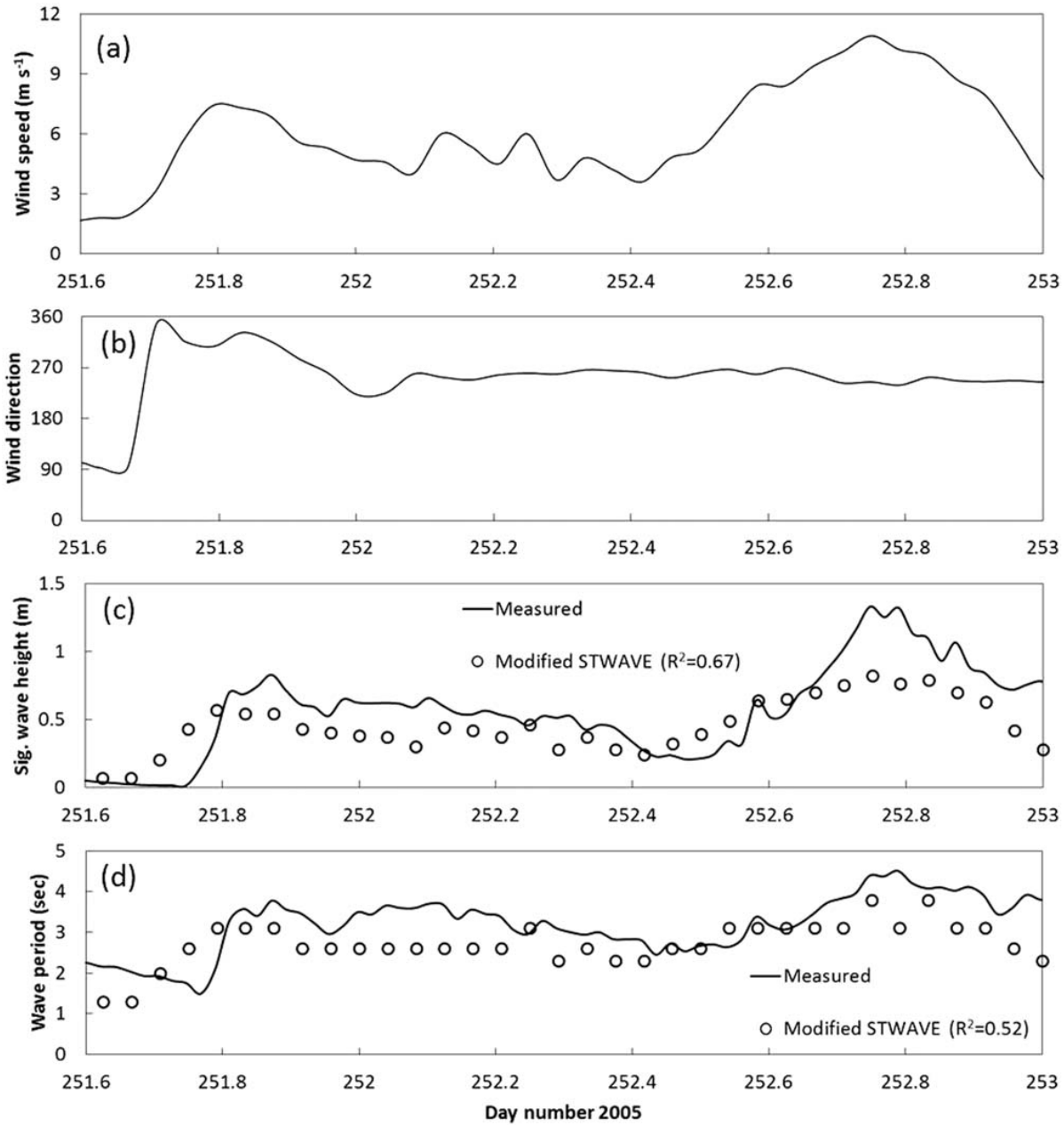
$$\tau_{w_{olas}} = \frac{1}{2}\rho\, {u_b}^2\, C_f$$

- Donde $\tau_{w_{olas}}$ es el esfuerzo de corte en el fondo generado por el movimiento de olas, ρ es la densidad del agua, u_b la velocidad del flujo cerca del fondo (generada por las olas), y C_f es el coeficiente de fricción viscoso, para el que se puede usar la siguiente expresión

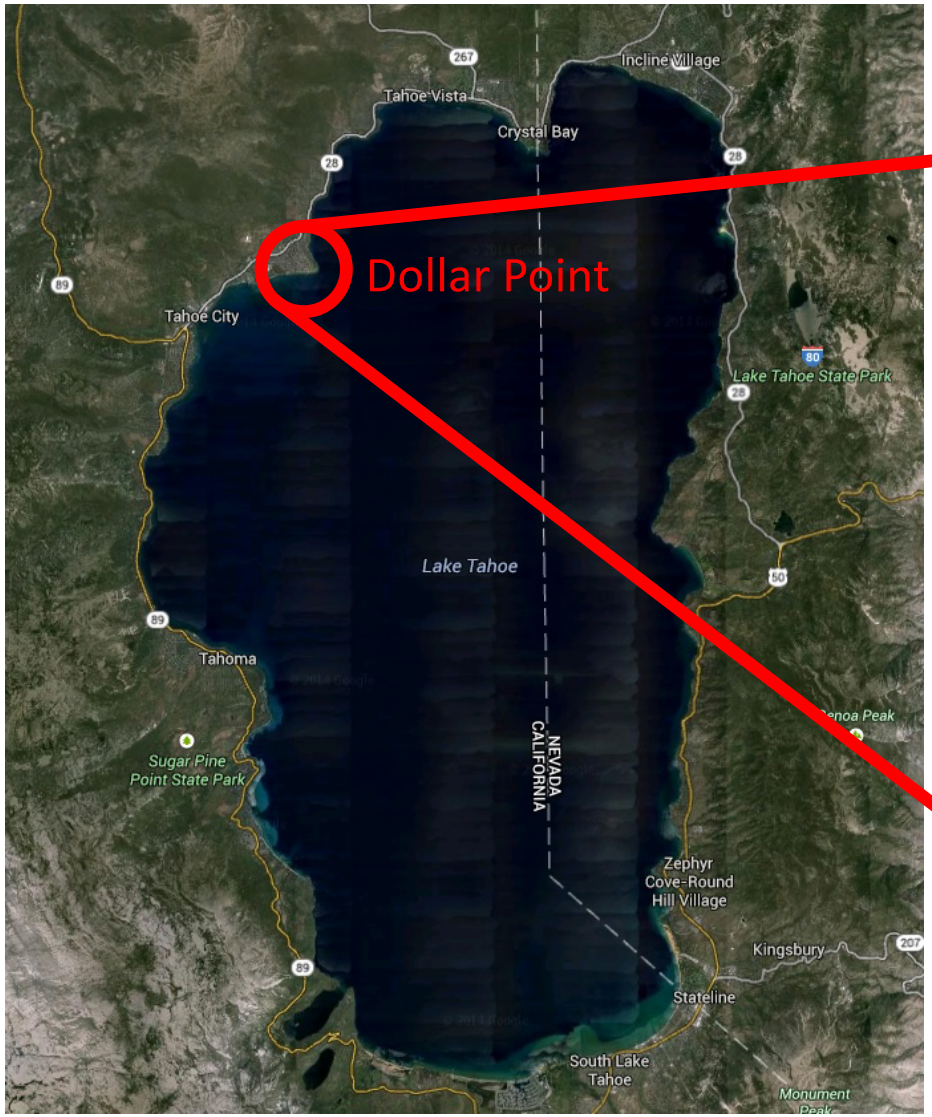
$$C_f = \frac{2}{\sqrt{R_{e_w}}}$$

- Donde $R_{e_w} = u_b A_w / \nu$ es el número de Reynolds de olas, ν es la viscosidad cinemática, y $A_w = 2\pi\, u_b / T_p$, con T_p representando el periodo de olas

- Pero antes hay que validar
- Para ello se utilizó el Lago Salton Sea
- Lago somero ubicado cerca de Los Ángeles, CA, EE.UU.
- Validación para altura y periodo de olas

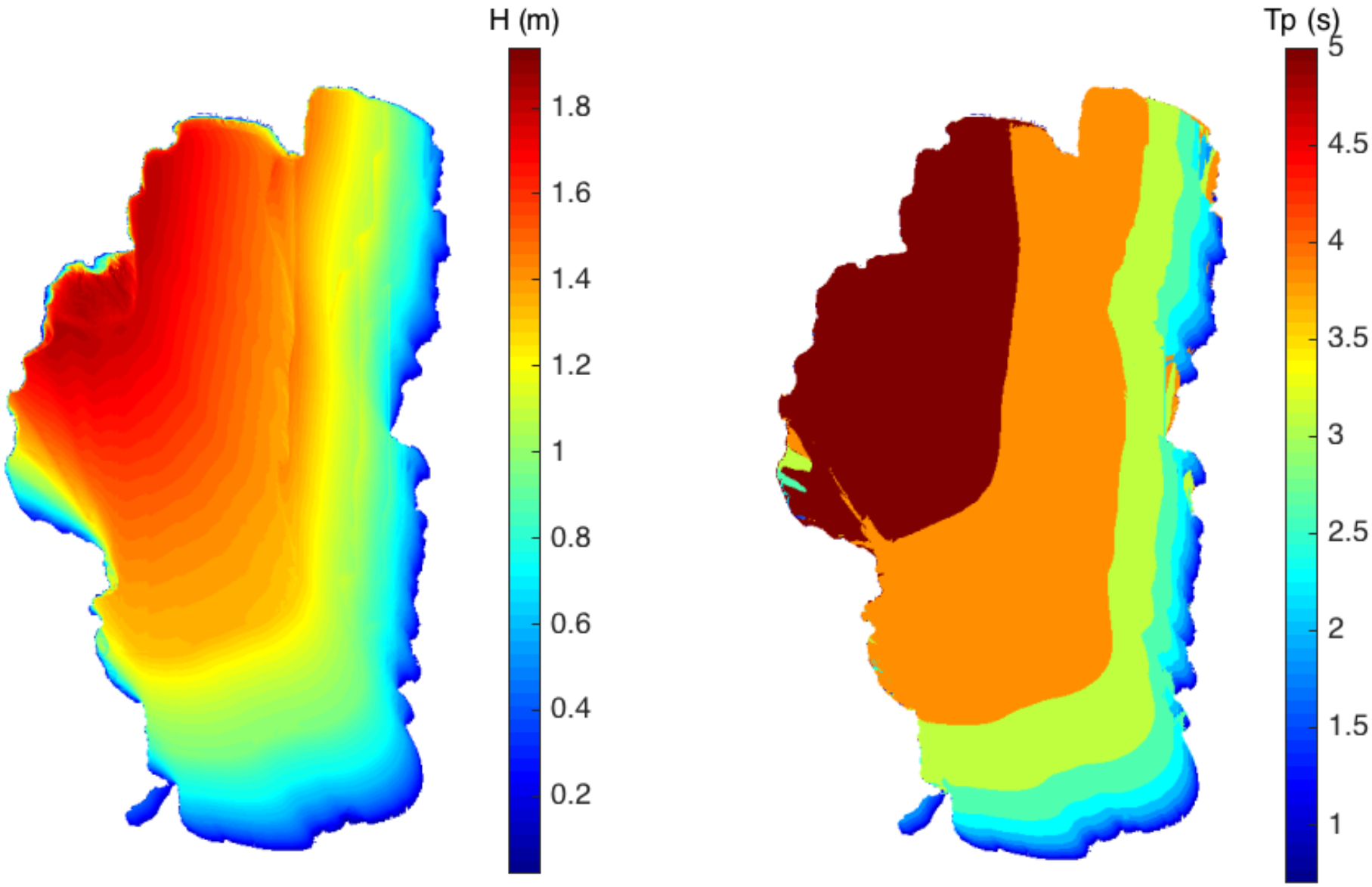


Elegir un punto (Dollar Point 2 m profundidad)

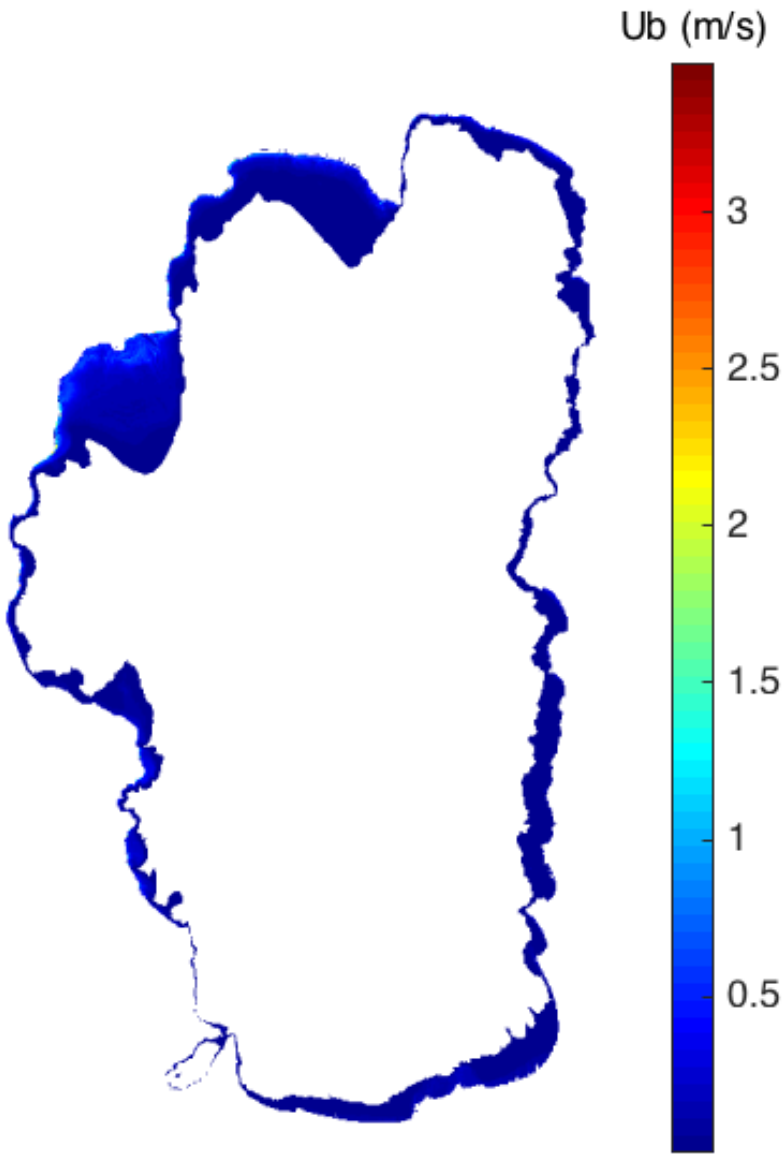


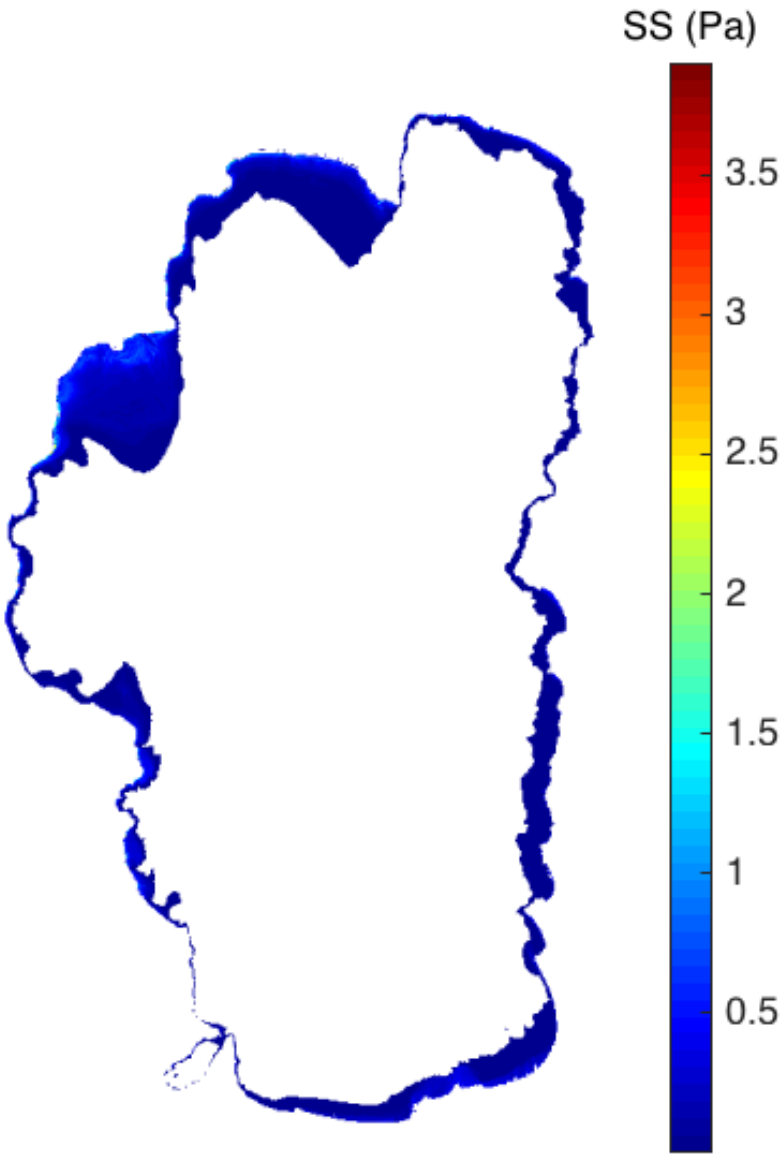
- Altura de ola
- Periodo de ola
- Velocidad de viento
- Turbiedad
- Granulometría de fondo del lago

Resultados simulación (velocidad 19 m/s)

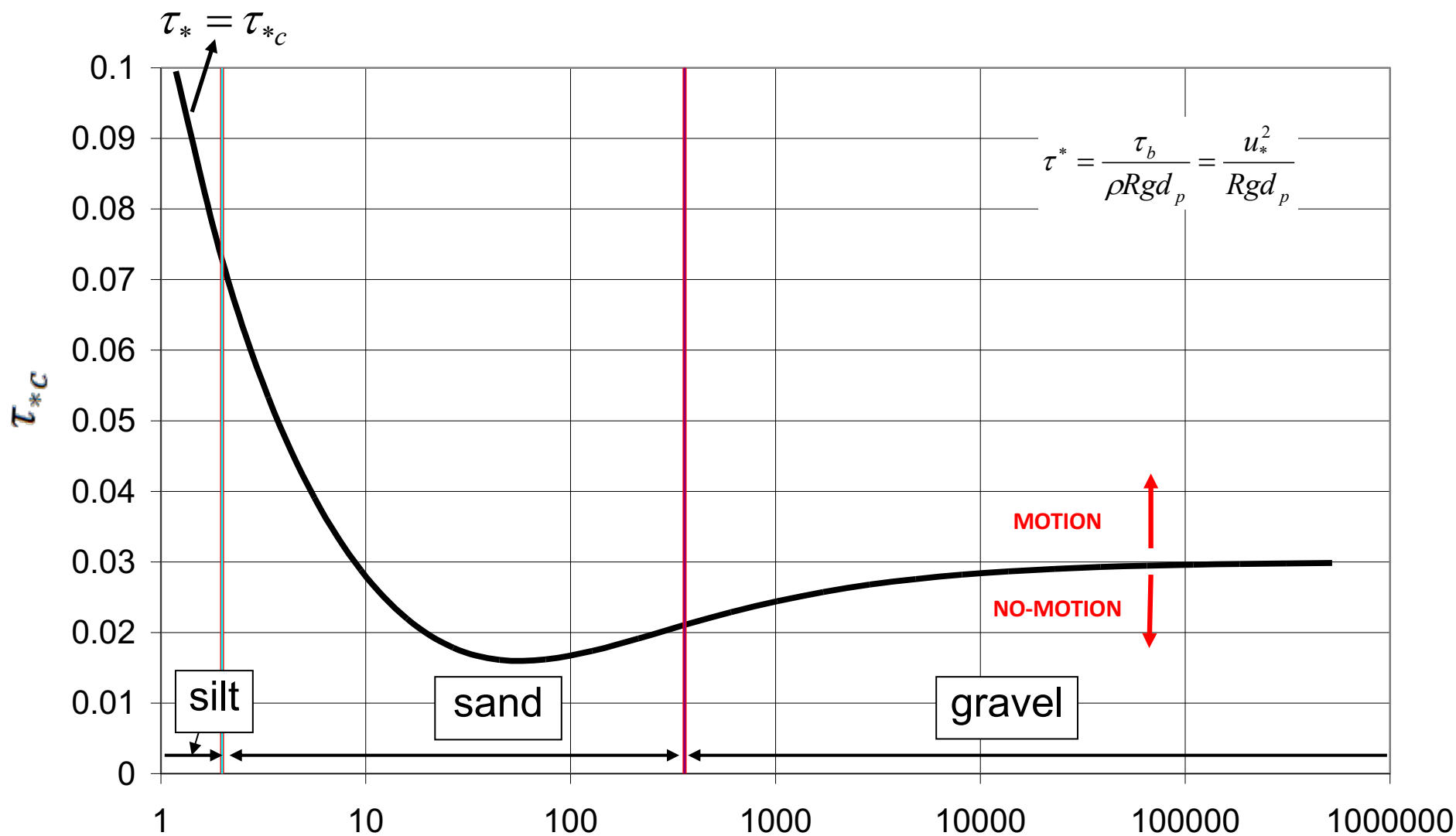


Resultados simulación (velocidad 19 m/s)





Resuspensión



$\tau_{*c} = critical\ shear\ stress$ $\quad u_* = shear\ velocity$

$d_p = particle\ diameter$ $\quad \mathrm{Re}_p = explicit\ particle\ \mathrm{Re}$

$\tau_* = shear\ stress$ $\quad R = submerged\ density$

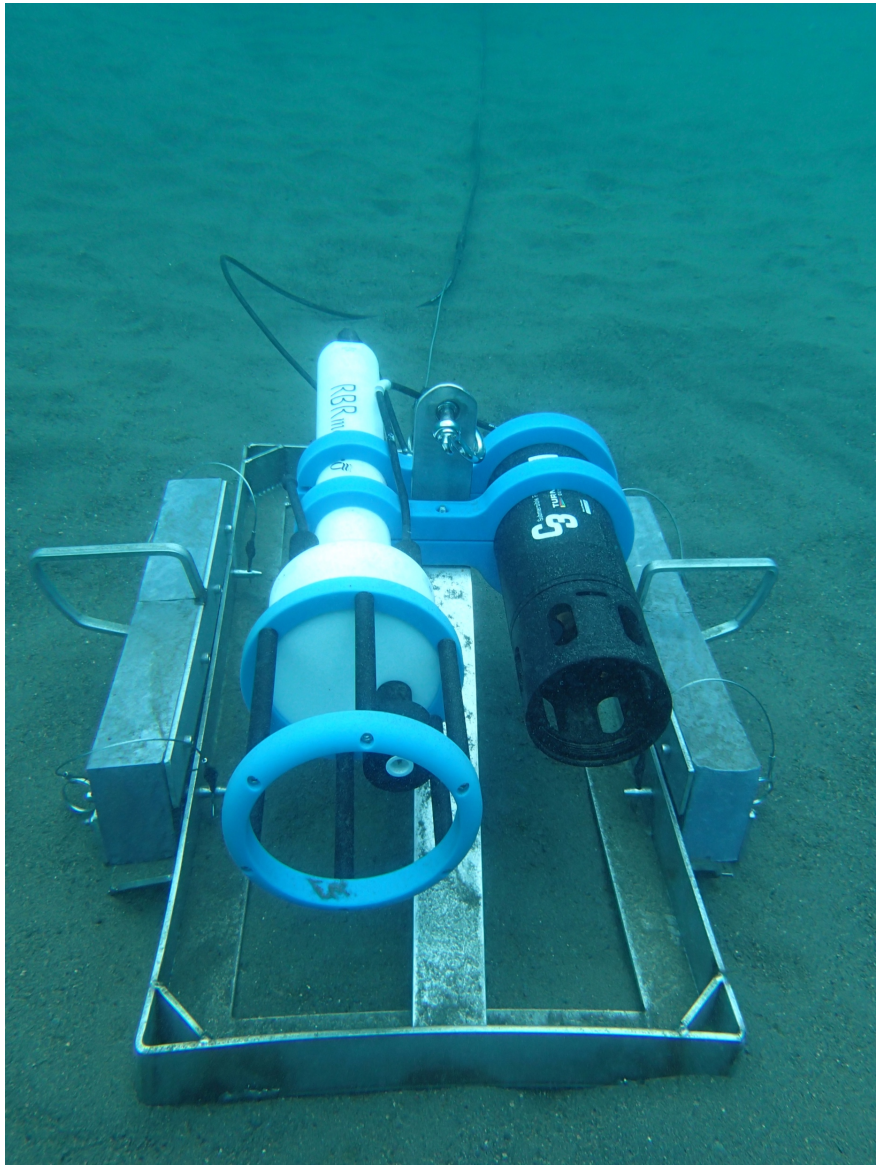
$$\mathbf{Re}_p = \frac{\sqrt{Rgd_p}\, d_p}{\nu}$$

Source: Parker's E-book

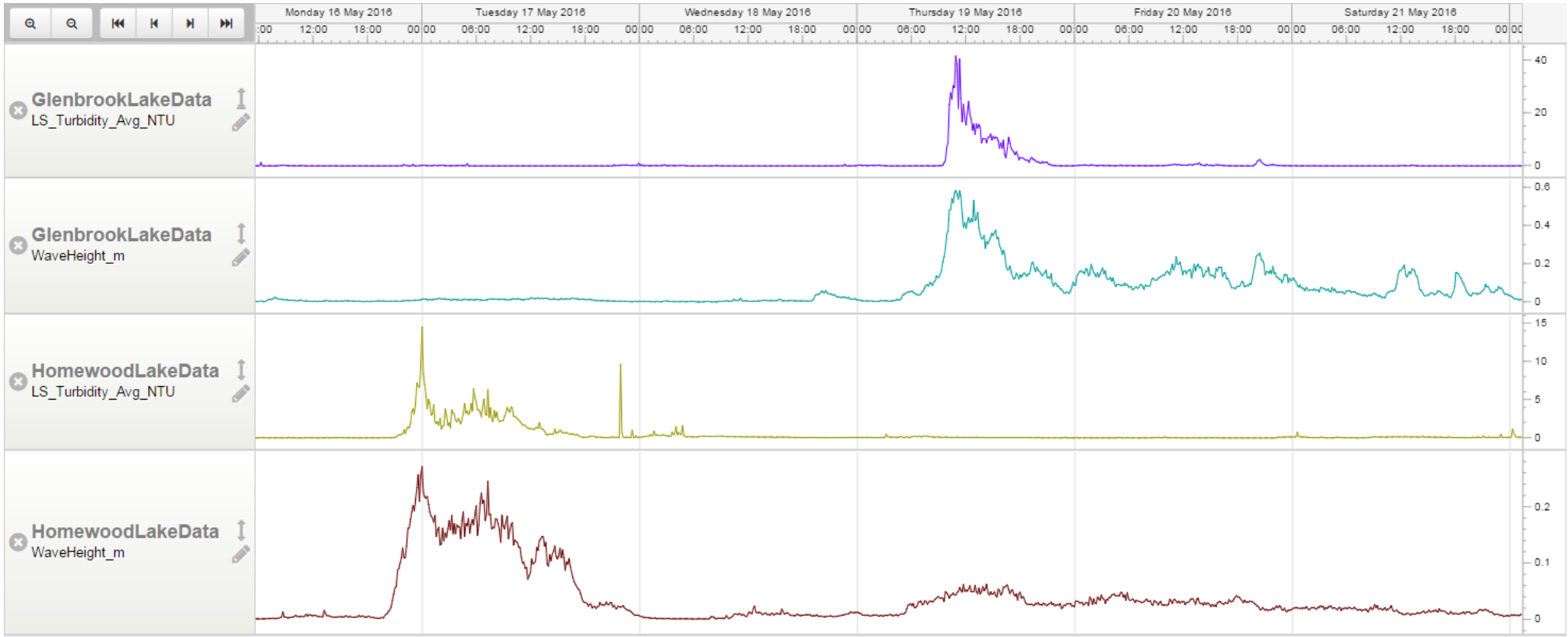
Nuevas validaciones

- Se validará altura de ola en 6-8 puntos en el lago, usando un CDT (conductivity, density, tempertature), donde se mide presión de agua en la columna asumiendo densidad constante

- Se medirá turbiedad con turbidimetro Turner C-3 Fluorometer

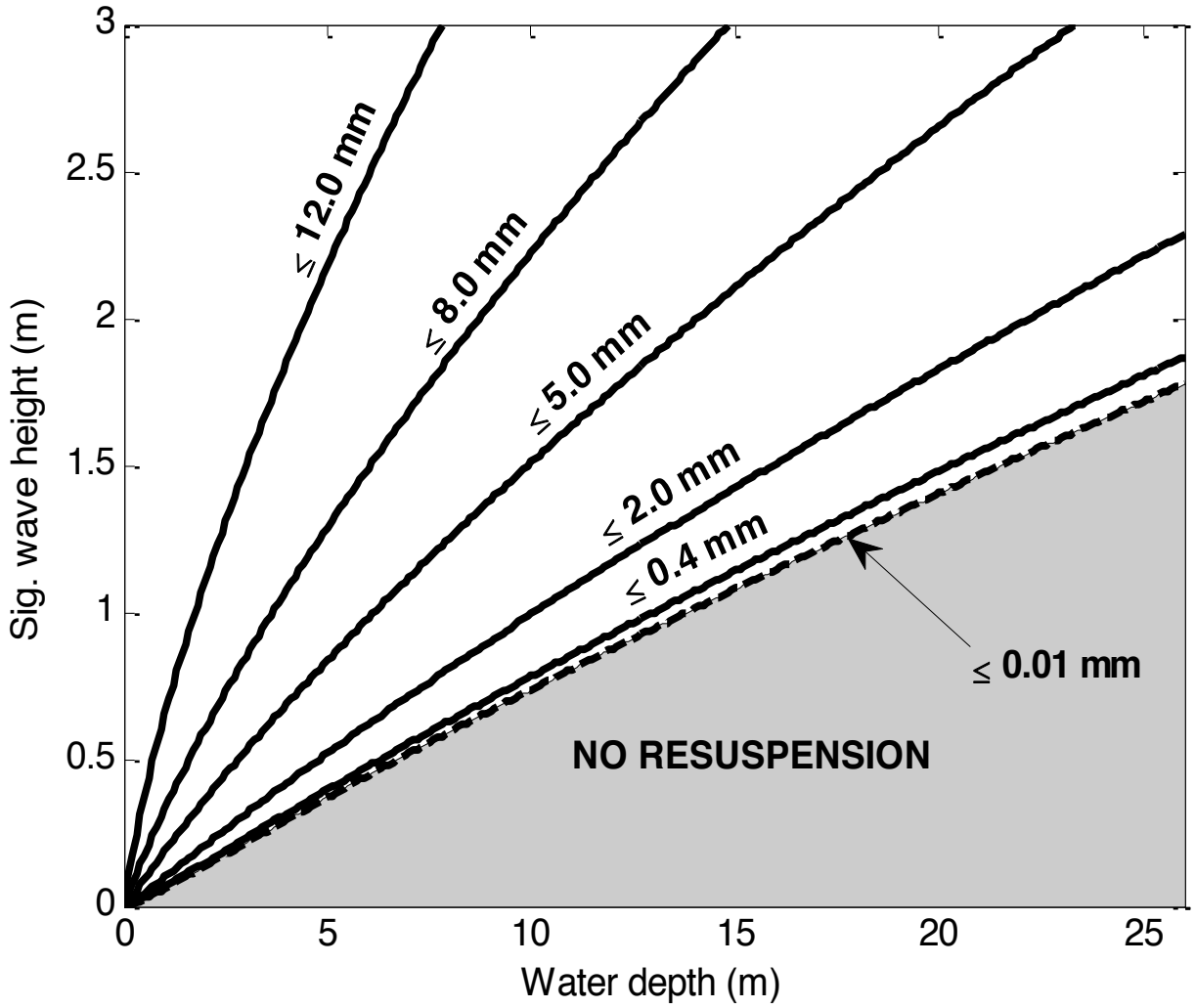


Correlación entre resuspención y olas en dos puntos del lago

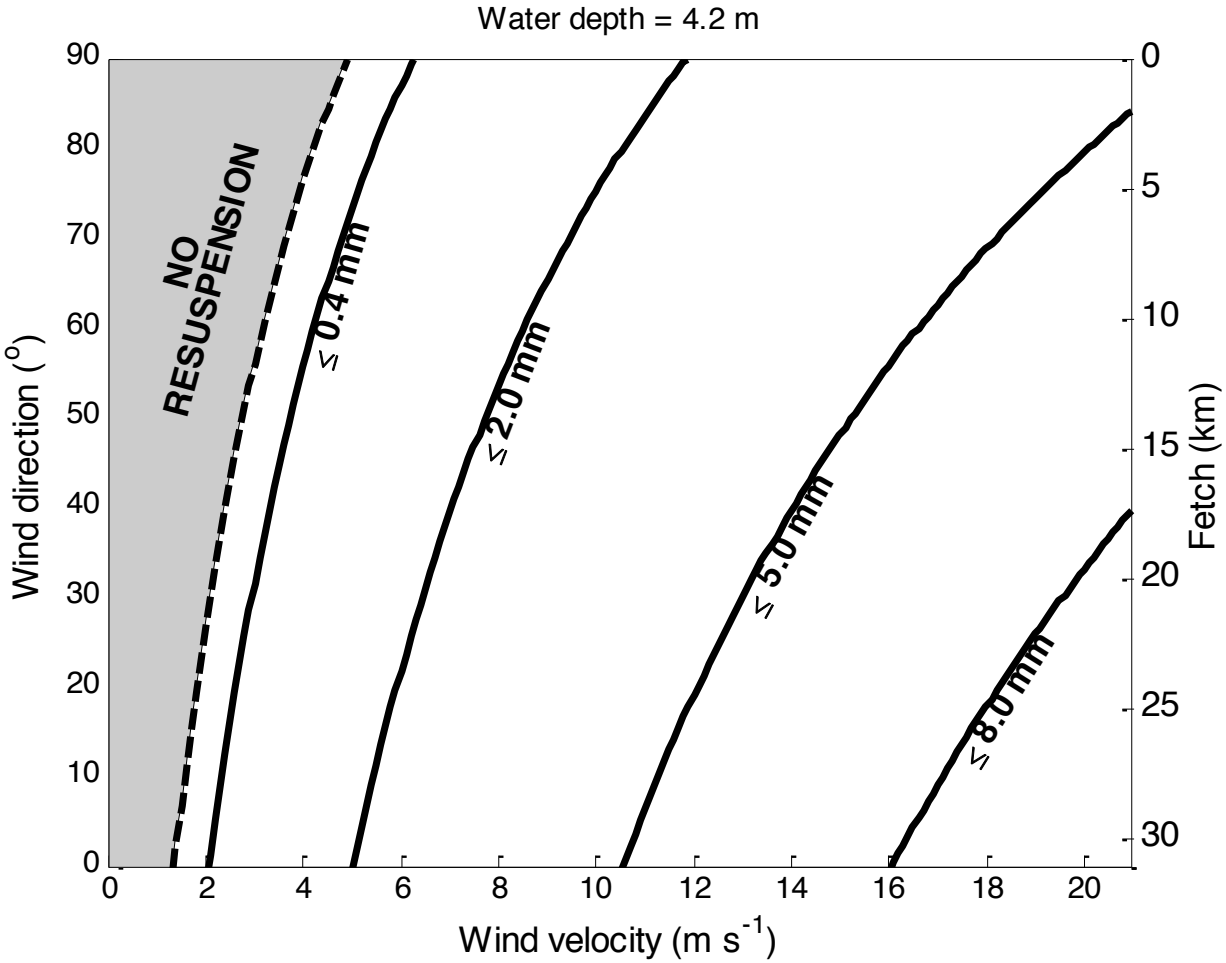


Simular resuspensión para 6-8 puntos en el lago

Estamos buscando un modelo simple de identificación de potenciales eventos de resuspensción



Estamos buscando un modelo simple de identificación de potenciales eventos usando solo parámetros metereológicos



Potencial de resuspensión para distintas elevaciones de la superficie libre (sequía)

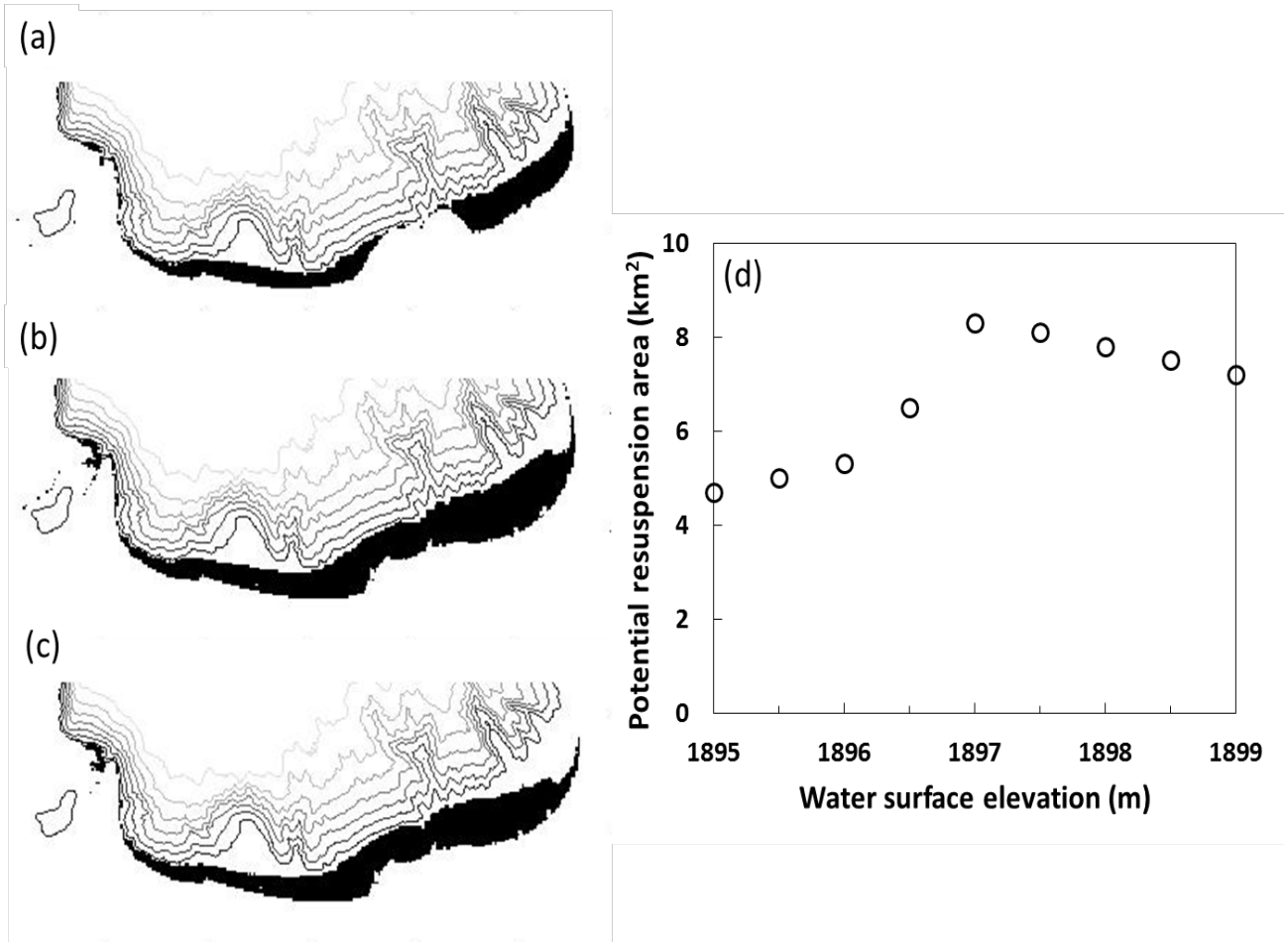


Figure: The areal extent of wind-driven sediment resuspension (denoted by black) in Lake Tahoe's southern nearshore zone, considering lake water level equal to (a) 2 m below the natural rim (1895 m), (b) the natural rim (1897 m), and (c) the maximum legal limit (1899 m). The area potentially affected by wind-driven sediment resuspension is (a) 4.7 km^2, (b) 8.3 km^2, and (c) 7.2 km^2. Contours are shown at 50 m intervals. (d) Potential resuspension area with changing water surface elevation.

Chile

- Algunos lagos han visto disminuir sus niveles de agua debido a la sequía
- Esto puede generar un aumento en los eventos de resuspensión de sedimentos
- Un ejemplo es el lago Llanquihue
- Este tipo de estudios para lagos con importantes concentraciones de metales (Hg, Cd, Pb): Lago Chungará, Laja y Castor, Titicaca