

# Transporte de sedimentos en el Río Puyango-Tumbes durante el Fenómeno El Niño Costero 2017-Proyecto MoSARD

*Renzo Mendoza, Elisa Armijos, Sergio Morera y Manuel Figueroa*

*Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), Lima-Perú*

*Instituto Geofísico del Perú (IGP), Lima-Perú*

## INTRODUCCIÓN

La costa peruana es la región que sustenta la mayor actividad económica del país. No obstante, dicha región es altamente afectada por eventos climáticos extremos como el Fenómeno El Niño (FEN). El FEN está asociado a precipitaciones elevadas en el período de enero a marzo en la costa norte del Perú (Woodman, 1997; Woodman y Takahashi, 2014), las cuales incrementan el volumen de agua en los ríos y promueven el arrastre de grandes cantidades de sedimentos. La acumulación de estos sedimentos provoca la colmatación de los ríos haciendo que estos se desborden. Morera et al. (2017), identifican que durante el FEN los flujos sedimentarios en la costa peruana se incrementan en aproximadamente un 60%.

Esta cuantificación inicial no responde aún cómo es la distribución espacial del transporte de sedimentos en suspensión para las diferentes secciones de medición en la costa peruana. Armijos et al. (2017) aplicando el Modelo de Rouse (Rouse, 1938), determinaron que este modelo consigue describir correctamente la distribución de sedimentos en suspensión en la sección para ríos tropicales, como el río Amazonas. De igual manera Higgins et al. (2017) aplicaron el Modelo de Rouse, para caracterizar el transporte de sedimentos en suspensión en el río Magdalena (Colombia), mostrando que es necesario realizar un ajuste en los parámetros para describir mejor las épocas de estiaje.

Aplicando el modelo de Rouse, este estudio muestra las diferencias que pueden existir en el transporte de sedimentos en suspensión durante un evento FEN y un año neutral, para lo cual se han utilizado mediciones de abril de 2017 y 2018. Según el ENFEN, el año 2017 fue catalogado como un FEN Costero, donde las lluvias se iniciaron en febrero y se extendieron hasta abril (Martínez y Morón, 2017, SENAMHI, 2017), mientras que para abril de 2018 La Niña costera estaba en fase de finalización, es decir, fue un período sin lluvias (comunicados ENFEN en <http://enfen.gob.pe/>).

## DATOS Y MÉTODOS

La cuenca binacional del río Puyango-Tumbes se localiza en la costa norte del Perú, al sur de Ecuador. La estación hidrológica El Tigre, -operada por el Proyecto Especial Binacional Puyango-Tumbes (PEBPT) y el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI)-, está localizada 40 kilómetros antes de la desembocadura al Océano Pacífico y tiene un área de cuenca colectora de aproximadamente 4,380 km<sup>2</sup> (Figura 1a).

Los datos utilizados en la estación El Tigre en el mes de abril de 2017 y 2018, son mediciones realizadas *in situ* con equipos del Instituto Geofísico del Perú (IGP), obteniéndose: **i)** la medición de caudales líquidos utilizando un correntómetro acústico de efecto Doppler

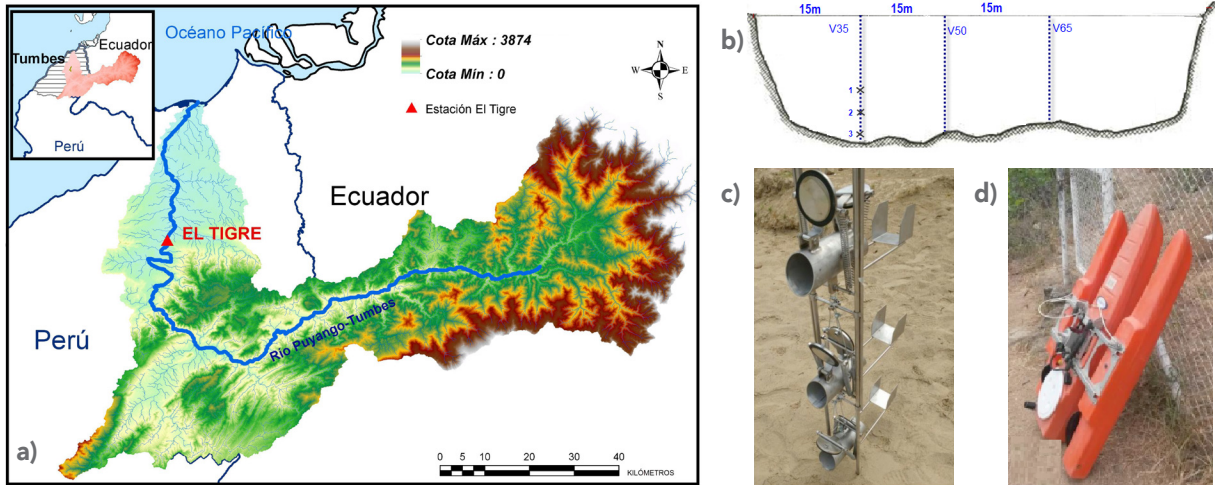


Figura 1. a) Localización de la Cuenca de Tumbes, estación hidrológica El Tigre, b) diagrama de la sección de aforo Perfiles separados a 15m: V35, V50, V65, c) muestreador triple de sedimentos en suspensión, d) Correntómetro de efecto Doppler (ADCP).

(ADCP) Rio Grande de 1200 KHz y ii) la toma de muestras de sedimentos en suspensión en diferentes profundidades y en tres verticales (V35, V50, V65) las cuales están separados cada 15 m de distancia (Figura 1 b,c,d).

También se utilizaron datos de precipitación del producto PISCO (Peruvian Interpolation data of the SENAMHI's Climatological and hydrological Observations; SENAMHI, 2015) con una resolución espacial aproximada de 5 x 5 km.

El Modelo de Rouse (Rouse, 1938), es un modelo matemático basado en la hipótesis que postula que existe un equilibrio entre las fuerzas de gravedad y turbulencia para mantener a los sedimentos en suspensión (Ecuación 1). Fue calibrado a partir de una concentración de referencia cerca del fondo ( $C_a$ ), y el exponente  $Z$ , se obtuvo calculando la velocidad de sedimentación de la partícula y la velocidad de corte, a partir de datos de velocidad media del ADCP (Ecuación 2 y 3).

$$\frac{c_h}{c_a} = \left( \frac{y-h}{y-a} \cdot \frac{a}{h} \right)^Z \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

$y$  es el tirante de agua (m),

$a$  es el espesor de la capa de fondo,  $0.05 \cdot y$  (m)

$C_h$  es la concentración de sedimentos a una altura  $h$  desde el fondo (mg/l),

$C_a$  es la concentración de sedimentos de referencia a la altura  $a$  (mg/l).

$$Z = \frac{W_s}{KV^*} \quad \text{Ecuación 2}$$

$W_s$  es la velocidad de sedimentación (m/s) (Ecuación 3) y  $V^*$  velocidad de corte (m/s)

$$W_s = \frac{1}{18} \left( \frac{\gamma_s - \gamma}{\nu} \right) d^2 \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

$\gamma_s$  es la densidad específica del sedimento (kg/m<sup>3</sup>);

$\gamma$  es la densidad específica del agua (kg/m<sup>3</sup>);

$d$  es el diámetro de la partícula (m)

$\nu$  es la viscosidad el agua (Kg/m.s)

$V^*$  es la velocidad de corte (m/s) y se calcula a partir de los perfiles de velocidad de cada perfil muestreado a partir de la ecuación de Prandtl-Von Karman Ecuación 4

$$V^* = a K \quad \text{Ecuación 4}$$

$a$  está en función de la velocidad y  $K$  es la constante de Van Karman = 0.41.

Finalmente, el caudal sólido (Kg/s) en la sección es calculado de la integración de la concentración obtenida del Modelo de Rouse para cada célula de velocidad dada por el ADCP.

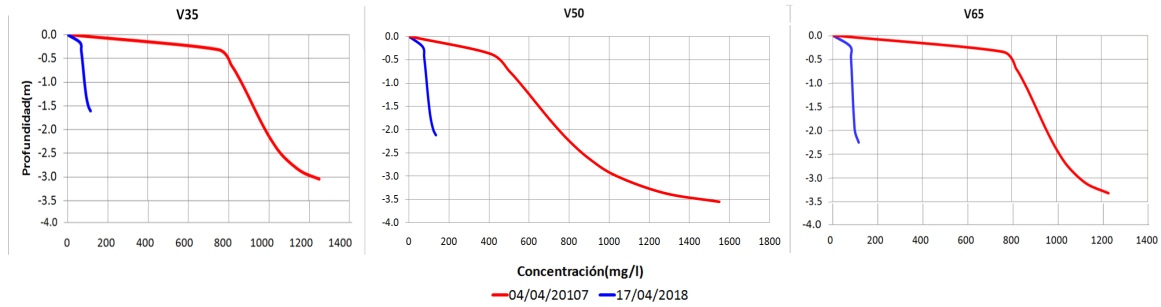


Figura 2. Perfiles de concentración de sedimentos en suspensión en las verticales V35 (izquierda), V50 (centro), V65(derecha). En rojo año El Niño Costero abril 2017 y en azul año normal abril 2018.

## RESULTADOS

Los resultados evidencian las grandes diferencias hidráulicas y de concentración de sedimentos encontradas durante un escenario FEN Costero 2017 y otro en condiciones la Niña Costera. Se observó que la profundidad de la sección se incrementa en casi el doble y las concentraciones de sedimentos en suspensión pueden ser 10 veces mayores entre FEN Costero 2017 y un año sin lluvias (Figura 2 y Tabla 1).

La forma de los perfiles es diferente, lo cual se constata a través de los parámetros que caracterizan a los perfiles, como es la velocidad de corte. Está velocidad representa el doble para las verticales V35 y V50.

Un resultado interesante, es que la velocidad de sedimentación es casi similar para ambas condiciones climáticas, lo que significa que se está transportando el mismo tamaño de sedimentos en suspensión; sin embargo necesitamos verificar este resultado con el granulómetro láser que está siendo adquirido con el proyecto MoSARD. Otra observación importante es que si bien existen diferencias entre ambas condiciones, existe una homogeneidad entre las verticales cercanas a las orillas izquierda y derecha en el mismo período, es decir, las verticales presentan los mismos parámetros de modelización para una fecha determinada.

De igual manera para ambos condiciones climáticas se observa que el canal principal está en el centro de la sección. Si estos resultados se repiten en nuevas mediciones, significaría que con un solo perfil se puede ya modelar el 50% de la sección (Tabla 1).

	V35		V50		V65	
	04/04/17	17/04/18	04/04/17	17/04/18	04/04/17	17/04/18
y(m)	3.2	1.7	3.7	2.2	3.5	2.3
$\alpha$ (m)	0.16	0.08	0.19	0.11	0.17	0.11
$V_c$ (m/s)	0.08	0.03	0.07	0.04	0.04	0.03
$d_{50}$ (um)	60	40	90	50	40	40
$w_s$ (m/s)	0.003	0.001	0.007	0.002	0.001	0.001
$C_{a\text{ref}}$ (mg/L)	1250	115	1550	135	1232	115
z	0.10	0.12	0.26	0.13	0.09	0.13

Tabla 1. Parámetros de los Perfiles de Concentración de Sedimentos del Modelo de Rouse en las verticales V35, V50, V65.

La velocidad media para el 04/04/2017 es de 1.9 m/s mientras que para el 17/04/2018 es 0.6 m/s. Esto da como consecuencia que el caudal líquido en abril de 2017 es aproximadamente 4 veces mayor que el caudal de abril de 2018. Esto se debe a que las precipitaciones sobrepasaron los 650 mm en el mes de abril de 2017 en la cuenca alta, en comparación con el 2018 que no sobrepasan los 100 mm en el mismo mes (Figura 3 a, b).

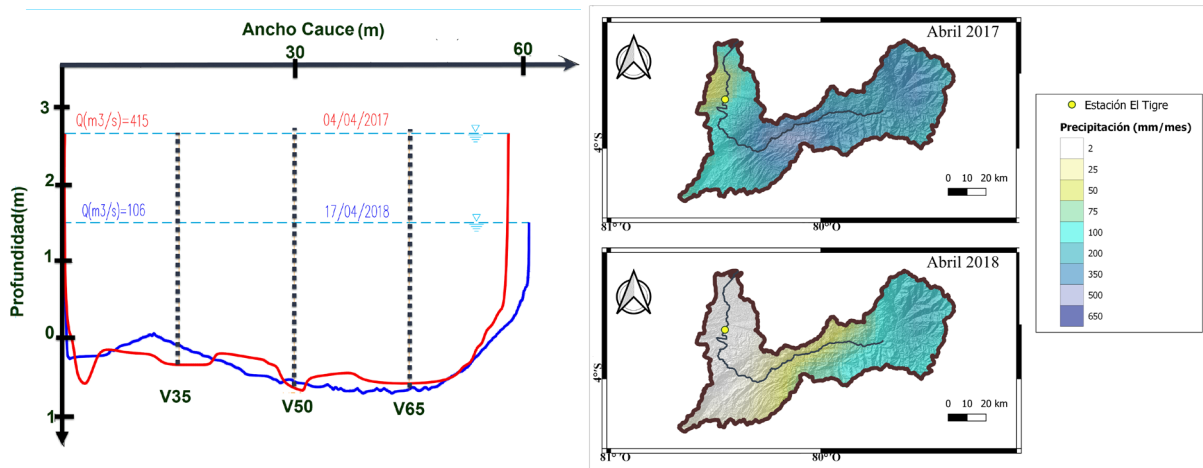
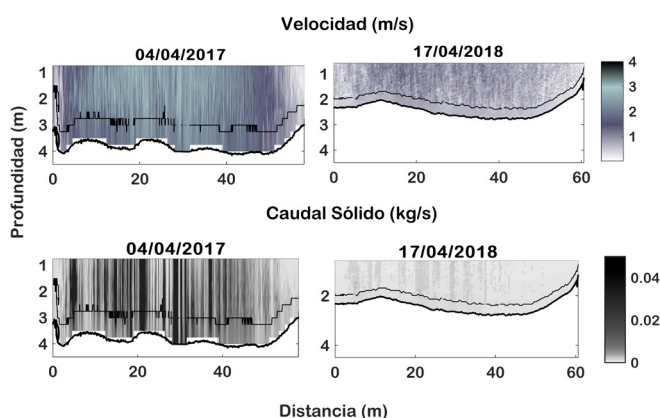


Figura 3. a) Sección de medición en rojo 04/04/2017, y en azul sección el 17/04/2018, la línea en celeste indica el espejo de aguas b) Distribución de precipitaciones para abril 2017 y 2018.

De igual manera se observa que existe una modificación en la distribución espacial de las precipitaciones. Durante el 2017 se activa la cuenca media con precipitaciones mayores a 500 mm/mes, mientras que en 2018 esta zona no sobrepasa los 50 mm/mes, resultado similar al encontrado por Morera et al. (2017). La activación de estas zonas que generalmente están compuestas por suelo fácilmente erosionable y el aumento de las lluvias, permite el lavado de material que se dirige al canal principal incrementado no solo la capacidad de transporte sino también el material a ser transportado por lo que se obtuvo un valor de caudal sólido para abril del 2017 de 437 kg/s, mientras que para abril del 2018 el valor observado fue de 9 kg/s es decir aproximadamente 50 veces mayor en un año FEN Costero que en condiciones La Niña Costera en fase final (Figura 4 a, b).



**Figura 4.** Sección de medida en la estación El Tigre para 04/04/2017 (izquierda) y 17/04/2018 (derecha): a) Distribución de velocidades en la sección en m/s, b) Caudal sólido en la sección en kg/s. El eje vertical indica la profundidad y el eje horizontal la distancia entre márgenes.

## CONCLUSIONES

Las diferencias encontradas entre un año en condiciones climáticas La Niña Costera 2018 y un año FEN Costero 2017, son evidentes desde el punto de vista de incremento de lluvias, caudales líquidos e incremento de las concentraciones de sedimentos en suspensión, lo que resulta en los flujos de sedimentos, que pueden llegar a ser 50 veces mayor en un año FEN Costero, en comparación a un año neutral. Sin embargo, a pesar de estas diferencias notorias entre una variedad de condiciones climáticas, existe una similitud de las verticales modelados cercanos a las orillas, lo cual indica que a través del modelado se puede simplificar el proceso de monitoreo, reduciendo tiempo y costos.

Hay que señalar que aún es necesario realizar otras mediciones con el mismo procedimiento para corroborar estos resultados.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Proyecto Monitoreo de Sedimentos ante Riesgos y Desastres (MoSARD) Convocatoria Fondecyt E044-2018-01-BM- Equipamiento científico por el apoyo para realizar este estudio, el cual forma parte de la tesis de ingeniería de Renzo Mendoza.

## REFERENCIAS

Armijos, E., Crave, A., Espinoza, R., Fraizy, P., Santos, A. D., Sampaio, F., Autin, P. (2017). Measuring and modeling vertical gradients in suspended sediments in the Solimões/Amazon River. *Hydrological processes*, 31(3), 654-667.

Aybar, C., Lavado-Casimiro, W., Huerta, A., Fernandez, C., Vega, F., Sabino, E., Felipe

Obando, O. (2017) Uso del Producto grillado 'PISCO' de precipitación en estudios,

investigaciones y sistemas operacionales de monitoreo y pronóstico hidrometeorológico. Nota Técnica 001 SENAMHI-DHI-2017, Lima- Perú.

ENFEN (2017), El Niño costero 2017, Informe Técnico Extraordinario N°001-2017/ENFEN 31

pp., [www.imarpe.pe/imarpe/archivos/informes/imarpe\\_infctco\\_informe\\_tecnico\\_extraordinario\\_001\\_2017.pdf](http://www.imarpe.pe/imarpe/archivos/informes/imarpe_infctco_informe_tecnico_extraordinario_001_2017.pdf)

Higgins, A., Restrepo, J. C., Otero, L. J., Ortiz, J. C., & Conde, M. (2017). Distribución vertical de sedimentos en suspensión en la zona de desembocadura del Río Magdalena, Colombia. *Latin american journal of aquatic research*, 45(4), 724-736.

Martínez, A. y Morón, K. (2017). Comparación entre los impactos de los eventos El Niño costero 1925 y 2017. *Boletín Técnico "Generación de información y monitoreo del Fenómeno El Niño"*, 4 (4), 8-9.

Morera, S. B., Condom, T., Crave, A., Steer, P., & Guyot, J. L. (2017). The impact of extreme E Niño events on modern sediment transport along the western Peruvian Andes (1968–2012). *Scientific reports*, 7(1), 11947.

Rouse, H. (1938). Nomogram for the settling velocity of spheres. *Annual Report, Committee on Sedimentation. National Research Council, California Institute of Technology.*

Woodman Pollit, Roland. 1997. El fenómeno El Niño y el clima en el Perú.

SENAMHI (2017), El Niño Costero 2017 Condiciones Termo-Pluviométricas a Nivel Nacional, INFORME TÉCNICO N° 028-2017/SENAMHI/DMA-SPC.

Woodman Pollit, Roland. 1997. El fenómeno El Niño y el clima en el Perú.

Woodman R. y K. Takahashi, 2014: ¿Por qué no llueve en la costa del Perú (salvo durante El Niño)?, *Boletín Técnico "Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño"*, Instituto Geofísico del Perú, Junio, 1, 6, 4-7.