

SIMULACIÓN DE LA SALINIDAD Y TEMPERATURA DEL AGUA EN EL RÍO SALADO (SANTA FE)

Gustavo M. Baratti, Alfredo Trento y Ana M. T. Alvarez

Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, Universidad Nacional del Litoral, Ciudad Universitaria - CC 217 Ruta Nac. N° 168 - km 472.4 (3000) Santa Fe. Tel: 54(342)4575233/34 int 169, email: gustavob_12@hotmail.com

Introducción

La temperatura, T , es una importante variable indicadora de la calidad de un curso de agua, pues incide en los procesos biológicos, físicos y químicos, por ejemplo cambios de densidad y solubilidad de gases disueltos. Todos los parámetros de calidad de aguas dependen de T , y en el caso particular de los coeficientes de partición de metales pesados en la columna de agua, también dependen de la salinidad, S , (Turner, 1996). A la vez, ambas variables T y S se relacionan, de tal manera que para una concentración iónica dada, S aumenta con T . El sistema computacional HEC-RAS 4.0 (Bruner, 2008) permite simular el transporte de escalares, en este caso S y T .

El presente estudio se realizó en un tramo inferior de 58 km de longitud del río Salado, comprendido entre las secciones de la Ruta Provincial 6, RP6, y la Ruta Provincial 70, RP70 (Figura 1). El río en este tramo presenta una elevada sinuosidad, con un valor medio de 1.96, aunque en algunos tramos alcanza valores extremos de 2.30. Su cauce es meandriforme, con una dirección general N-S y su caudal medio anual es de $144.7 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$.



Figura 1.- Tramo en estudio del río Salado.

Objetivo

Simular numéricamente las variaciones espaciales y temporales de temperatura y salinidad del agua, para un escenario hidrodinámico no estacionario, caracterizado por un estado de aguas bajas y medias.

Materiales y métodos.

La hidrodinámica correspondiente al tramo en estudio fue calculada con el sistema HEC-RAS 4.0 (Bruner, 2008), para una condición no estacionaria del escurrimiento, de 20 días de duración. Este modelo es particularmente apropiado para simular escurrimientos fluviales gradualmente variados, permanentes y no permanentes con geometría variable. El modelo se calibró con información de aforos realizados en aguas bajas y profundidades medidas en distintas secciones del tramo.

Se implementaron las geometrías de 22 secciones transversales, que fueron determinadas por relevamientos de campo.

La condición de borde aguas arriba, en RP6, se definió con una serie de caudales estimados con una relación altura-caudal y en el borde de salida se impuso una curva de descarga en base a mediciones. La rugosidad del cauce fue establecida según coeficientes n de Manning a partir de estudios antecedentes (Trento et al., 2000), con valores típicos en el intervalo 0.025-0.06.

El modelo matemático que representa el transporte de escalares en un curso de agua unidireccional, se expresa con la siguiente ecuación diferencial en derivadas parciales:

$$\frac{\partial(V\phi)}{\partial t} + \frac{\partial(Q\phi)}{\partial x} \Delta x = \frac{\partial}{\partial x} \left(\Gamma A \frac{\partial \phi}{\partial x} \right) \Delta x + F \quad [1]$$

Con ϕ el escalar en cuestión, V el volumen del segmento considerado (m^3), Q el caudal del río (m^3s^{-1}), Γ el coeficiente de dispersión longitudinal (m^2s^{-1}), A el área de la sección transversal (m^2), F el término fuente o sumidero, que se define según la cinética específica para cada indicador, con las unidades del escalar considerado.

HEC-RAS aproxima la ecuación [1] mediante el algoritmo QUICKEST (Quadratic Upstream Interpolation for Convective Kinematics with Estimated Streaming Terms) propuesto por Leonard (1979). Este esquema numérico presenta un error de truncamiento de tercer orden espacial y temporal, que atenúa las oscilaciones propias de los esquemas centrados y de la disipación numérica característica de los esquemas regresivos, aún para condiciones altamente advectivas. El sistema dispone también la opción del algoritmo QUICKEST-ULTIMATE (Leonard 1991), para el caso en que se presenten oscilaciones sin correspondencias físicas.

Se especificó para la condición de borde aguas arriba, en RP6, series temporales de T y S del agua con paso horario. Las condiciones de borde aguas abajo se representaron mediante una condición de gradiente espacial nulo para ambas variables dependientes. Las condiciones iniciales se determinaron en base a valores promedio registrados a lo largo del curso. Se empleó un intervalo temporal $\Delta t=360 \text{ s}$, y un intervalo espacial máximo $\Delta x=400 \text{ m}$. El coeficiente de dispersión longitudinal fue calculado con una fórmula empírica. Los valores de la salinidad se obtuvieron a partir de su relación con la conductividad eléctrica, CE , según la ecuación (EPA, 1985):

$$S(\text{psu}) = 5.572 \cdot 10^{-4} CE + 2.02 CE^2 \quad [2]$$

con CE en mS/cm .

Las mediciones de T y CE en la sección de RP6 se realizaron desde una estación de monitoreo remoto ubicada en la margen derecha del Río Salado, en un sitio cercano a la ciudad de Esperanza (Figura 1). Se utilizaron

sensores a los que llega el agua del río mediante un sistema de bombeo automático. Posteriormente, los valores medidos se informan a intervalos pre-establecidos con un equipo de transmisión de datos. Mayores detalles pueden consultarse en Kofman et al. (2009).

Las variables meteorológicas intensidad del viento, nubosidad, presión atmosférica y humedad relativa se obtuvieron de la información que registra diariamente el Centro de Información Meteorológica (CIM) de la FICH-UNL en la estación El Pozo, en Santa Fe. La radiación de onda corta en el tope de la atmósfera a nivel estacional se obtuvo de EPA (1985), calculándose los valores medios diarios con la siguiente ecuación:

$$Q_{scd} = Q_{sce} + \alpha \cos\left(\frac{2\pi \text{ tiempo}}{\text{periodo}} + \text{fase}\right) \quad [3]$$

con Q_{scd} la radiación solar de onda corta diaria, Q_{sce} la radiación solar de onda corta estacional y α la amplitud. La radiación de onda corta a escala horaria se obtuvo con una ecuación similar a [3].

Evaluación de Resultados

La simulación hidrodinámica muestra que el escurrimiento estuvo caracterizado por velocidades medias entre 0.05 y 0.3 ms⁻¹ y las profundidades medias en el río entre 0.5 y 1.3 m, con un rango de caudales de 3 a 5 m³s⁻¹, (Figura 2).

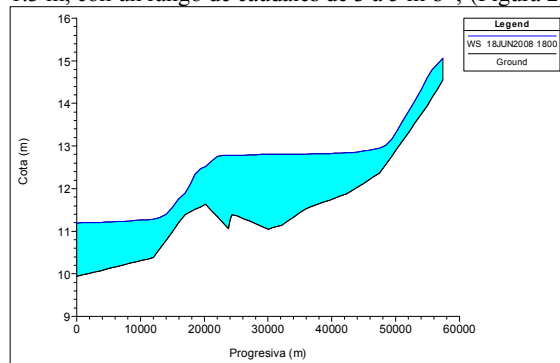


Figura 2.- Perfil longitudinal de niveles del río.

Los resultados muestran que T presentó variaciones diarias en un rango medio de 2 °C. En la Figura 3 se comparan valores de T observados y calculados en RP70. Se observan diferencias de hasta 1 °C, que pueden deberse a que las variables meteorológicas corresponden a una estación distante a 40 km del tramo simulado. La irregularidad observada entre los días 19 y 21 de junio se debe a precipitaciones locales de 5 mm.

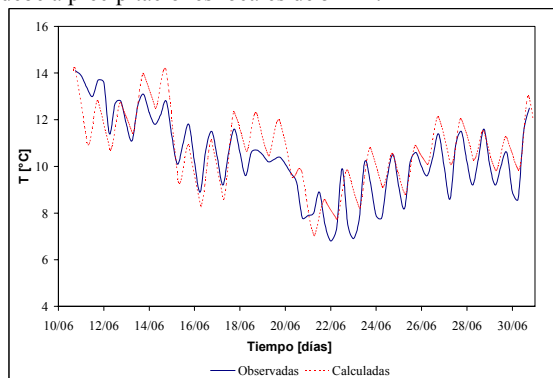


Figura 3.- Comparación de T observadas y calculadas

La Figura 4 muestra perfiles longitudinales de T y S. El valor promedio de S fue 4.6 psu con valores extremos de

5.1 y 4.3 psu. La variación diaria promedio de S fue de 0.1 psu con cambios diarios de hasta 0.3 psu.

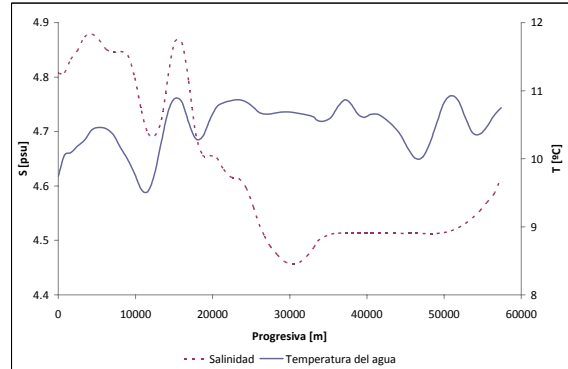


Figura 4.- Perfiles longitudinales de T y S (27/06/08).

Conclusiones

- Las T fueron representadas, en general, con diferencias no mayores a 1 °C respecto de las medidas.
- Las precipitaciones locales de corta duración originaron discrepancias en el cálculo de T del orden de los 2 °C para el día y de 0.5 °C para la noche.
- Se logró una representación adecuada de S en relación a T, si bien son necesarias más mediciones para un mejor ajuste.

Agradecimientos

Al Lic. Enrique Rodríguez y colaboradores por la información meteorológica proporcionada. Este trabajo fue realizado en el marco de los Proyectos PICTO 36138, PICT RAICES 35885 subsidiados por la ANPCyT, y CAI+D (2006) subsidiado por UNL.

Referencias

Bruner, G. (2008). HEC RAS, *Rivers Analysis Sistem User's Manual, Versión 4.0, U.S. Army Corps of Engineers.* (<http://www.hec.usace.army.mil>)

EPA. (1985). *Rates, Constants, and Kinetics Formulations in Surface Water Quality Modeling (Second Ed.)*

Leonard, B. P. (1979): "A stable and accurate convective modelling procedure based on quadratic upstream interpolation", *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, Vol. 19, pp. 59-98.

Leonard, B. P. (1991): "The ULTIMATE conservative difference scheme applied to unsteady one-dimensional advection", *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, Vol. 88, pp. 17-74.

Trento, A. Alvarez A. M. y Rojas S. (2000): "Simulación Hidrodinámica y del Transporte de Poluentes en el Río Salado (Santa Fe-Argentina)", *XIX Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Córdoba*, Vol. III, pág. 695-704.

Turner, A. (1996): "Trace-metal partitioning in estuaries: importance of salinity and particle concentration", *Marine Chemistry*, Vol. 54, pp. 27-39.