

COMPARACIÓN DE ECUACIONES DE DESPRENDIMIENTO POR FLUJO CONCENTRADO PARA ESFUERZOS CORTANTES BAJOS. CASO: CUENCA DEL RÍO CHIRIGUA-VENEZUELA

Adriana Márquez y Edilberto Guevara

Centro de Investigaciones Hidrológicas y Ambientales

Universidad de Carabobo (UC)

E-mail: ammarquez@uc.edu.ve, eguevara@uc.edu.ve - Web: <http://www.uc.edu.ve/>

Introducción

Diversas ecuaciones existen para describir las relaciones entre el desprendimiento por flujo concentrado y el esfuerzo cortante (τ). Sin embargo, las ventajas y desventajas de estas ecuaciones para circunstancias específicas no están claras. En este estudio se examina el desempeño de ecuaciones lineales y de potencia con y sin un término de esfuerzo crítico cortante (τ_c) para el desprendimiento por flujo concentrado bajo esfuerzos cortantes bajos.

Objetivos

Los objetivos de este estudio son: (a) evaluar el desempeño de las ecuaciones lineales y de potencia para el desprendimiento por flujo concentrado para esfuerzos cortantes bajos, empleando cuatro tipos de modelos: (1) lineal basado en el esfuerzo cortante excedente, (2) de potencia basado en el esfuerzo cortante excedente, (3) de potencia sin el esfuerzo cortante crítico y (4) de potencia constante sin el esfuerzo cortante crítico; y (b) comparar las ventajas y desventajas de las ecuaciones usando las mediciones realizadas en surcos irrigados en parcelas ubicadas en un campo agrícola sobre la cuenca del río Chirigua en Venezuela.

Descripción de Modelos

La relación comúnmente empleada para estimar la capacidad de desprendimiento de partículas de surcos se basa en el excedente del esfuerzo cortante aplicado por el flujo concentrado sobre un valor crítico del esfuerzo que depende del suelo. En los modelos WEPP y DWEPP (Foster y Meyer, 1972; Nearing, 1989; Bulygina, 2006), el desprendimiento se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$D_c = K_c (\tau - \tau_c) \quad [1]$$

Donde D_c es la capacidad de desprendimiento de las partículas del surco ($\text{kg s}^{-1} \text{m}^{-2}$), K_c la erodabilidad del surco $\text{kg}^{(1-b)} \text{s}^{-(1-2b)} \text{m}^{(2-b)}$. K_c , τ_c y b son parámetros que se obtienen mediante ajuste empírico. El esfuerzo cortante del flujo τ (Pa) se obtiene mediante la ecuación $\tau = \rho g R S_f$; donde ρ es la densidad del fluido (kg m^{-3}), g la aceleración gravitacional (m s^{-2}), R_h el radio hidráulico (m) calculado como A/W_p , A el área (m^2), W_p el perímetro húmedo (m), calculado como $w+2h$, h la profundidad del flujo (m) y S_f la pendiente de fricción (m m^{-1}). En diversos estudios, mediante el uso de una función de potencias se ha obtenido una mejor descripción de D_c (Hollick, 1976; Franti et al., 1999; Zhu et al., 2001), indicada como:

$$D_c = K_c (\tau - \tau_c)^b \quad [2]$$

Lu et al., (1989) asignaron un valor cero para τ_c , reduciendo la ecuación [2] a la siguiente expresión:

$$D_c = K_c (\tau)^b \quad [3]$$

Foster y Meyer (1972) formulan una versión simplificada de la ecuación [2] expresada como:

$$D_c = K_c \tau^{3/2} \quad [4]$$

Materiales y Métodos

El estudio se llevó a cabo en parcelas sobre un campo agrícola en la cuenca del río Chirigua, ubicada en la región centro-norte de Venezuela. Cinco parcelas fueron seleccionadas con las siguientes pendientes (en dirección de la labranza): $0,008 \pm 0,0055 \text{ m m}^{-1}$; $0,01 \pm 0,00197 \text{ m m}^{-1}$; $0,015 \pm 0,0006 \text{ m m}^{-1}$; $0,025 \pm 0,0033 \text{ m m}^{-1}$ y $0,13 \pm 0,0156 \text{ m m}^{-1}$. Los surcos miden entre 100-200 m de longitud y 0,3-0,35 m de ancho. El caudal de aplicación por surco mediante el riego por aspersión varía entre 12-18 l min^{-1} . Durante cada evento de riego, se realizaron mediciones en tres surcos/parcela. Se captaron 5 muestras líquidas cada 20 minutos, para determinar la concentración de los sólidos totales (2540 B) (American Public Health Association, 1995). El conjunto de los eventos medidos fue 24 eventos de riego/parcela, con un total de 120 eventos de riego (5 parcelas x 24 eventos/parcela=120 eventos de riego). Los datos totales fueron divididos en tres conjuntos: 60% para la calibración (14 eventos/parcela), 20% para la validación (5 eventos/parcela) y 20% para la prueba (5 eventos/parcela).

Resultados

Ecuación lineal de esfuerzo cortante excedente

Los valores de los parámetros para la ecuación de potencias basada en el esfuerzo cortante excedente (Ec. 1) fueron los siguientes: para los surcos de pendiente de 0,8% a 13% los parámetros K_c y τ_c varían como sigue: Para los surcos de pendiente de 0,8% a 13% los parámetros K_c y τ_c varían como sigue: **Pendiente 0,8%:** $1,04632\text{E-}05$ y $1,35933\text{E-}05 \text{ s m}^{-1}$; 1,71 y 2,43 Pa. **Pendiente 1%:** $2,19\text{E-}05$ y $3,10\text{E-}05 \text{ s m}^{-1}$; 4,568 y 4,972 Pa. **Pendiente 1,5%:** $6,04748\text{E-}06$ y $7,52973\text{E-}06 \text{ s m}^{-1}$; 4,56849 y 5,53964 Pa. **Pendiente 2,5%:** $1,93422\text{E-}06$ y $2,09677\text{E-}06 \text{ s m}^{-1}$; 0,862425 y 0,862425 Pa. **Pendiente 13%:** $7,14086\text{E-}05$ y $9,87511\text{E-}05 \text{ s m}^{-1}$; -0,773054 y 2,35822 Pa. Algunos de los resultados de los estadísticos del ajuste para la Ecuación (1), durante las etapas de calibración y validación al conjunto de observaciones son: R^2 resultó mayor a 0,60. R^2_{ajust} se redujo poco en relación al R^2 . **Cp de Mallovs:** disminuyó en relación al número de variables independientes en la ecuación. En general, los errores no varían significativamente entre las etapas de calibración y validación. En la Figura 1 se presenta como una muestra los valores observados y estimados para una relación lineal y no lineal y pendiente de surco de 0,8%, donde se aprecia que las desviaciones estándar de las observaciones respecto del modelo ajustado son generalmente menores a 2.

Ecuación de potencia basada en el esfuerzo cortante excedente

Los valores de los parámetros para la ecuación de potencias basada en el esfuerzo cortante excedente (Ec. 2) fueron los siguientes: para los surcos de pendiente de 0,8% a 13% los parámetros K_c , τ_c y b varían como sigue: **Pendiente 0,8%:** $1,28981\text{E-}05$ y $2,98656\text{E-}05 \text{ s m}^{-1}$; 2,14169 y 3,10635 Pa; 0,423207 y 0,933347. **Pendiente**

1%: 1,55E-07 y 2,98656E-05 s⁻¹; 1,80746 y 3,1666 Pa; 3,4677 y 3,4677. **Pendiente 1,5 %:** -1,56885E-06 y 2,67275E-06 s⁻¹; 1,80746 y 3,1666 Pa; 3,4677 y 3,4677. **Pendiente 2,5 %:** 2,74E-07 y 2,94E-07 s⁻¹; -2,73057 y -2,73057 Pa; 1,63792 y 1,40802. **Pendiente 13 %:** -0,000209507 y 0,000429204 s⁻¹; -6,4215 y 9,80549Pa; 0,0194439 y 1,84595. Algunos de los resultados de los estadísticos del ajuste para la Ecuación (2), durante las etapas de calibración y validación al conjunto de observaciones son: R^2 resultó mayor a 0,67. R^2_{ajust} se redujo poco en relación al R^2 . **Cp de Mallows:** disminuyó en relación al número de variables independientes en la ecuación. En general, los errores no varían significativamente entre las etapas de calibración y validación.

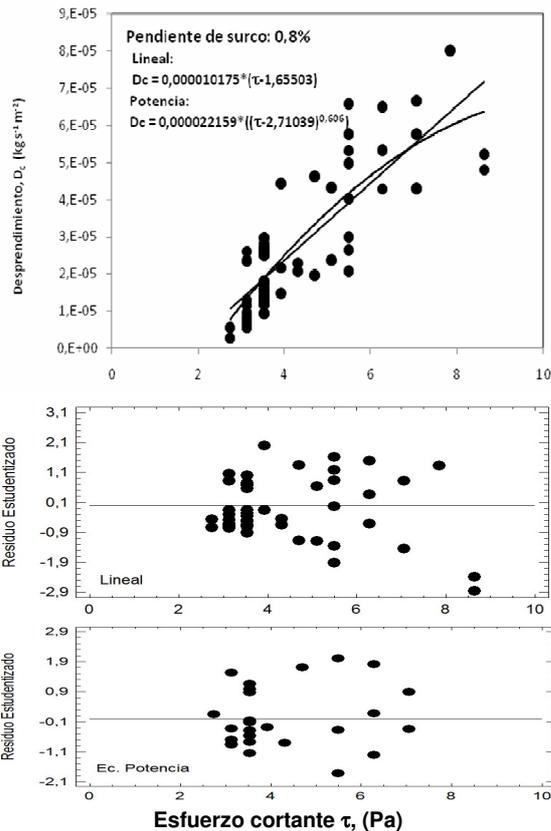


Figura 1.- Desprendimiento del suelo vs. Esfuerzo cortante a partir de valores estimados usando regresiones lineales y no lineales para una pendiente de surco de 0,8%.

Ecuación de potencia sin el esfuerzo cortante crítico

Los valores de los parámetros para la ecuación de potencias basada en el esfuerzo cortante excedente (Ec. 3) fueron los siguientes: para los surcos de pendiente de 0,8% a 13% los parámetros K_c y b varían como sigue: **Pendiente 0,8%:** 1,04659E-06 y 3,22403E-06; 1,4134 y 2,00909. **Pendiente 1%:** -9,56E-10 y 2,61E-09; 4,78437 y 6,80777. **Pendiente 1,5 %:** 3,74E-09 y 4,96E-08; 3,29875 y 3,4122. **Pendiente 2,5 %:** 6,30E-07 y 1,55138E-06; 1,03798 y 1,40802. **Pendiente 13 %:** 0,000024782 y 8,20687E-05; 0,932495 y 1,36894. Algunos de los resultados de los estadísticos del ajuste para la Ecuación (3), durante las etapas de calibración y validación al conjunto de observaciones son: R^2 : resultó mayor a 0,6. R^2_{ajust} : se redujo poco en relación al R^2 . **Cp de Mallows:** disminuyó en relación al número de variables independientes en la ecuación. En general, los errores no varían significativamente entre las etapas de calibración y validación.

Ecuación de potencia constante sin el esfuerzo cortante crítico

Los valores de los parámetros para la ecuación de potencias basada en el esfuerzo cortante excedente (Ec. 4) fueron los siguientes: para los surcos de pendiente de 0,8% a 13% el parámetro K_c varía como sigue: **Pendiente 0,8%:** 2,37756E-06 y 2,86511E-06. **Pendiente 1%:** 1,86548E-06 y 2,53521E-06. **Pendiente 1,5 %:** 8,77E-07 y 1,06878E-06. **Pendiente 2,5 %:** 5,43E-07 y 5,87E-07. **Pendiente 13 %:** 2,24579E-05 y 2,48741E-05. Algunos de los resultados de los estadísticos del ajuste para la Ecuación (4), durante las etapas de calibración y validación al conjunto de observaciones son: R^2 resultó mayor a 0,34. R^2_{ajust} se redujo poco en relación al R^2 . **Cp de Mallows** disminuyó en relación al número de variables independientes en la ecuación. En general, los errores no varían significativamente entre las etapas de calibración y validación.

Conclusiones y Recomendaciones

Sobre la base de los resultados obtenidos en la presente investigación, se extraen las siguientes conclusiones y recomendaciones:

- K_c no varía significativamente, dentro de las pendientes bajas y alta para los diferentes tipos de modelo; aunque sí varía significativamente entre los grupos mencionados antes. El incremento de la pendiente causa el aumento de la velocidad del flujo, la erodabilidad y; en consecuencia el desprendimiento de partículas y el incremento en la concentración del flujo.

- En cuanto al esfuerzo cortante crítico τ_c , se encontraron rangos de valores positivos en los ajustes de los modelos (1) y (2) para las pendientes bajas; mientras que algunos valores ligeramente negativos, así como intervalos que incluyen el valor cero, para el caso de la pendiente alta (13%), lo que sugiere que τ_c puede ser asumido como igual a cero.

- Se encontró que k_c y τ_c , están dentro de los rangos encontrado por otros investigadores.

- En cuanto al parámetro b , se encontraron rangos de valores que difieren significativamente entre los ajustes para los modelos (2) y (3) para las pendientes, y en algunos casos difiere significativamente de la unidad; lo que se recomienda emplear tipos de funciones que se ajusten a la no linealidad de los datos.

- En general, se encontró un ajuste satisfactorio de la mayoría de los modelos de estimación de la capacidad de desprendimiento de partículas del suelo de los surcos a las observaciones en las etapas de calibración y validación, aunque conviene destacar que, se observó que el R^2 varió predominantemente entre 0,6 y 0,75, y el error medio porcentual fue negativo y moderadamente bajo, lo que sugiere que sería recomendable probar relaciones no lineales de mayor curvatura.

Agradecimientos

La investigación se ha llevado a cabo en el Centro de Investigaciones Hidrológicas y Ambientales (CIHAM-UC), con el aporte financiero del Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de la Universidad de Carabobo y el Ministerio del Poder Popular para la Ciencia y Tecnología (Misión Ciencia).

Referencias

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, (1995) "Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater", American Public Health Association, United States of America, Washington, DC 20005, 19th Edition. pp. 2-53