



Eficiencia de aplicación en el riego con surcos cerrados al existir dos pendientes

E. Vázquez-Fernández
Instituto de Ingeniería, UNAM
Email: ernesfus@servidor.unam.mx

(recibido: marzo de 1999; aceptado: mayo de 1999)

Resumen

Se presentan resultados de la eficiencia de aplicación en riego con surcos cerrados y dos pendientes, cuando la mayor se ubica en la cabecera del surco y el cambio de pendiente a la mitad del mismo. En comparación con un surco de pendiente única fuerte y de igual desnivel topográfico en los extremos, el incremento de la eficiencia de aplicación es del orden del 6%. Por tanto, si en el campo se presenta esta situación favorable, no es conveniente nivelar para una sola pendiente a las parcelas, o bien, si ya tienen una sola y fuera posible nivelar el terreno para instalar dos pendientes, la distribución de la lámina de agua sería mejor.

Descriptores: surcos cerrados; riego continuo; eficiencia de aplicación.

Abstract

Results are presented of the application efficiency of closed furrows with two slopes, when the largest is located at the heading of the furrow and the change of slope at mid length. When compared with a furrow with single but pronounced slope and the same topographic drop at each end, the increase of the application efficiency is of about 6%. Therefore, if a favorable situation is encountered at the field, it is not convenient to level up the parcels with a single gradient, or otherwise, if only one slope is available and it becomes possible to level the ground to provide it with two slopes, a better distribution of the water depth could be achieved.

Keywords: closed furrows; continuous irrigation; application efficiency.

Introducción

En el método de riego tradicional con gasto constante (riego continuo) en surcos cerrados se alcanzan eficiencias de aplicación próximas al 90% (Rendón et al., 1995); sin embargo, cuando las pendientes son fuertes, mayores o iguales de 0.2%, las eficiencias se reducen a valores comprendidos entre el 70 y 80% (Vázquez y De la Cruz, 1998a). La eficiencia de aplicación para surcos cerrados, si se satisface la dosis o lámina mínima requerida por la planta, equivale a la uniformidad de distribución de las láminas de agua infiltradas, definida como la relación de la lámina acumulada mínima en algún lugar del surco entre la lámina acumulada promedio a lo largo del mismo (Burt et al., 1997).

Este trabajo incluye los resultados de un modelo hidrodinámico completo para riego con surcos cerrados (Vázquez y Gracia, 1998) con dos y una pendiente que reproduce todas las fases del riego (avance, llenado y receso), y que emplea la

fórmula de Green y Ampt para calcular el gasto de infiltración vertical a través del perímetro mojado de la sección transversal del surco, un gasto base pequeño (0.05 l/s) para determinar las condiciones iniciales de los tirantes y un sólo coeficiente de rugosidad de Manning.

En el diseño de riego por surcos (abiertos o cerrados) la pendiente longitudinal siempre se ha tratado como parámetro y tiene una influencia importante si la pendiente es única (Vázquez, 1996); empero, si el desnivel de una pendiente fuerte (medido desde la cabecera a la parte más baja) es el mismo con dos pendientes diferentes, esta influencia se hace más significativa, repercutiendo en la posibilidad de incrementar la eficiencia de la aplicación si la pendiente mayor se ubica en la cabecera de los surcos.

Procedimiento de cálculo

El modelo numérico empleado resuelve las ecuaciones completas de Saint-Venant y utiliza, para calcular el gasto

de infiltración vertical, el perímetro mojado del surco y la fórmula teórica de Green-Ampt (Chu, 1978)

$$\frac{dZ}{d\tau} = K \left(1 + \frac{\lambda}{Z} \right) \quad (1)$$

Donde $dZ/d\tau$ es la velocidad de infiltración vertical en cm/min; τ es el tiempo de contacto del agua con el suelo en min; K es la conductividad hidráulica en cm/min; λ es el producto de las diferencias de humedades y tensiones del suelo en cm y Z es la lámina de infiltración acumulada en cm.

Dado que la lámina de infiltración acumulada se encuentra en el denominador del lado derecho de la ecuación 1, se requiere un valor inicial diferente de cero; por tanto, en todas las simulaciones numéricas de los dos incisos siguientes y del apéndice, se usa un valor pequeño y constante de 3 cm.

El procedimiento de cálculo seguido para obtener la lámina de infiltración acumulada en el modelo numérico (que usa un esquema en diferencias finitas) es, primero, multiplicar la velocidad de infiltración vertical por el perímetro mojado del surco, P en m, y la longitud del tramo considerado Δx en m, para determinar el gasto de infiltración vertical Q_z en m^3/s . Esto es

$$Q_z = \left(\frac{1}{6000} \right) P \Delta x \frac{dZ}{d\tau} \quad (2)$$

Después, al multiplicarse el gasto de infiltración por el intervalo de tiempo Δt en segundos, el volumen de infiltración vertical V_z en m^3 , es

$$V_z = Q_z \Delta t \quad (3)$$

Finalmente, si cada volumen infiltrado se acumula desde el primer instante $J=1$, hasta el último $J=u$, durante el tiempo de contacto del agua con el suelo y se divide al final entre un área formada por la misma longitud Δx y la separación entre surcos D en m, se obtiene la lámina de infiltración acumulada Z_i en m, para cada tramo i .

$$Z_i = \frac{\sum_{j=1}^{j=u} V_z^j}{\Delta x D} \quad (4)$$

Cuando algún valor Z_i es igual a la dosis Z_m , que deseaba infiltrarse, el riego es satisfactorio.

Simulaciones numéricas en surcos con una pendiente

Los surcos de sección transversal parabólica empleados en este trabajo fueron tomados de Bautista y Wallender (1993a, surco Schwankl), Vázquez y de la Cruz (1998b, surco Celaya) y Camacho et al. (1997, surco Córdoba), con los parámetros geométricos mostrados en la tabla 1 para calcular el área de la sección transversal A y el radio hidráulico R , según las ecuaciones

$$A = \sigma_1 y^{\sigma_2} \quad (5)$$

$$R = \rho_1 A^{\rho_2} \quad (6)$$

Los parámetros σ_1 , σ_2 , ρ_1 , ρ_2 se obtienen después de tomar logaritmos en ambos lados de las ecuaciones, a través de un ajuste por regresión lineal simple. El tirante del flujo es y .

Tabla 1. Parámetros de los surcos

Nombre del surco	σ_1	σ_2	ρ_1	ρ_2
Schwankl (Sc)	1.0	1.696	0.333	0.508
Celaya (Cy)	0.913	1.5	0.43	0.555
Córdoba (Cd)	1.0409	1.6383	0.4981	0.596

Los parámetros de la ecuación de Green-Ampt K y λ ; longitud L ; separación entre surcos D ; dosis Z_m y desnivel Δz se muestran en la tabla 2 de datos principales para diferentes surcos. Estos se identifican en la primera columna por el nombre abreviado de la tabla 1 asociado con el número de simulación entre paréntesis. El coeficiente de rugosidad de Manning no se anota porque se ha utilizado un valor igual a $0.05 \text{ s/m}^{1/3}$ en todos los casos.

En la tabla 3 se muestran los resultados para diferentes valores de la pendiente, S_0 y gasto Q . Ahí t_a es la duración de la etapa de avance del agua, T_r , el tiempo de riego y η , la eficiencia de aplicación. En todos los casos se satisface la dosis y el error en la ecuación de continuidad (volumen de ingreso = volumen infiltrado) es menor de 3%; además, el tirante máximo del flujo siempre fue menor que la altura de los bordos, por lo que no serían rebasados. La eficiencia de aplicación en %, se calcula como

$$\eta = \frac{LDZ_m}{6QT_r} \quad (7)$$

Donde L está dado en m, Z y D en cm, T_r en min y Q en l/s .

Tabla 2. Datos principales

Surco	K (cm/min)	λ (cm)	L (m)	D (cm)	Zm (cm)	Δz (cm)
Sc (1)	0.013	57.0	230	75.1	18.0	46.000
Cd (2)	0.017	44.0	225	74.8	17.5	47.250
Cy (3)	0.019	40.0	220	75.0	17.0	47.850
Sc (4)	0.022	33.0	215	75.1	16.5	48.375
Cd (5)	0.024	31.0	210	74.8	16.0	48.825
Cy (6)	0.027	29.0	205	75.0	15.5	49.200
Sc (7)	0.030	23.0	200	75.1	15.0	49.500
Cd (8)	0.032	20.7	195	74.8	14.5	49.725
Cy (9)	0.035	20.0	190	75.0	14.0	49.875
Sc (10)	0.038	17.0	185	75.1	13.5	49.950
Cd (11)	0.040	15.0	180	74.8	13.0	49.950
Cy (12)	0.043	14.5	175	75.0	12.5	49.875
Sc (13)	0.045	13.0	170	75.1	12.0	49.725
Cd (14)	0.048	11.0	165	74.8	11.5	49.500
Cy (15)	0.051	10.0	160	75.0	11.0	49.200
Sc (16)	0.053	10.0	155	75.1	10.5	48.825
Cd (17)	0.056	9.5	150	74.8	10.0	48.375
Cy (18)	0.059	10.0	145	75.0	9.5	47.850
Sc (19)	0.061	7.5	140	75.1	9.0	47.250
Cd (20)	0.064	7.5	135	74.8	8.5	46.575
Cy (21)	0.066	9.0	130	75.0	8.0	45.825
Sc (22)	0.069	8.0	125	75.1	7.5	45.000
Cd (23)	0.072	7.0	120	74.8	7.0	44.100
Cy (24)	0.074	7.0	115	75.0	6.5	43.125
Sc (25)	0.077	6.0	110	75.1	6.0	42.075
Cd (26)	0.080	4.8	105	74.8	5.5	40.950
Cy (27)	0.083	6.7	100	75.0	5.0	40.000

Tabla 3. Resultados de las simulaciones numéricas con una pendiente

Surco	S_0 (%)	Q (l/s)	ta (min)	Tr (min)	η (%)
Sc (1)	0.2000	0.80	308	800	81
Cd (2)	0.2100	0.90	266	685	82
Cy (3)	0.2175	0.90	232	655	79
Sc (4)	0.2250	0.95	194	590	79
Cd (5)	0.2325	1.00	190	535	80
Cy (6)	0.2400	1.00	173	510	79
Sc (7)	0.2475	1.00	144	480	78
Cd (8)	0.2550	1.00	146	455	79
Cy (9)	0.2625	1.00	130	430	78
Sc (10)	0.2700	1.00	114	415	77
Cd (11)	0.2775	1.00	111	385	78
Cy (12)	0.2850	1.00	93	360	77
Sc (13)	0.2925	1.00	81	340	76
Cd (14)	0.3000	0.80	145	378	79
Cy (15)	0.3075	0.90	74	320	76
Sc (16)	0.3150	0.75	123	360	77
Cd (17)	0.3225	0.75	146	330	77
Cy (18)	0.3300	0.75	124	310	76
Sc (19)	0.3375	0.75	75	275	76
Cd (20)	0.3450	0.75	98	250	77
Cy (21)	0.3525	0.75	92	235	76
Sc (22)	0.3600	0.75	74	210	76
Cd (23)	0.3675	0.75	75	180	77
Cy (24)	0.3750	0.75	50	165	76
Sc (25)	0.3825	0.75	35	150	75
Cd (26)	0.3900	0.75	29	125	77
Cy (27)	0.4000	0.75	38	110	76

Simulaciones numéricas en surcos con dos pendientes

La tabla 4 muestra los resultados de las simulaciones numéricas donde hay un cambio de pendiente a la mitad del surco, cumpliendo siempre con el desnivel Δz de la tabla 2.

La pendiente de aguas arriba, $S_1 = 2S_2$, es mayor y la de aguas abajo, $S_2 = (2/3)S_0$, es menor.

Estas son las posiciones y las pendientes para lograr la máxima eficiencia con un gasto que no erosione el suelo en el tramo de mayor pendiente. Booher (1974) recomienda que este gasto en l/s, no sea mayor que $0.6/S$, donde S es la pendiente en %. En la penúltima columna se identifica a la eficiencia de aplicación como η_1 para diferenciarla de la anotada en la tabla 3. Obsérvese que $\eta_1 > \eta$. El ahorro de agua Ag con respecto al

riego con una pendiente puede calcularse con la ecuación

$$Ag = \left(1 - \frac{\eta}{\eta_1}\right) 100 \quad (8)$$

Las eficiencias de los 27 surcos de las tablas 3 y 4, así como las de otros 40 que se incluyen en el apéndice, que suman un total de 67, se muestran en la figura 1; en el eje horizontal se identifica el desnivel del surco y en el vertical la eficiencia de aplicación. Obsérvese que en todos los casos la eficiencia del riego es mayor en surcos con dos pendientes. Además, hay una tendencia a que las eficiencias disminuyan conforme aumenta el desnivel del surco, es decir, para surcos de la misma longitud se confirma que a mayor pendiente, menor eficiencia (Vázquez y de la Cruz, 1998a), figura 1.

Tabla 4. Resultados de las simulaciones numéricas con dos pendientes

Surco	S_1 (%)	S_2 (%)	Q (l/s)	t_a (min)	T_r (min)	η_1 (%)	A_g (%)
Sc (1)	0.2667	0.1333	0.80	309	765	86	8.8
Cd (2)	0.2800	0.1400	0.90	267	625	88	6.8
Cy (3)	0.2900	0.1450	0.90	233	615	84	6.0
Sc (4)	0.3000	0.1500	0.95	195	560	84	6.0
Cd (5)	0.3100	0.1550	1.00	191	485	87	8.0
Cy (6)	0.3200	0.1600	1.00	174	470	85	7.1
Sc (7)	0.3300	0.1650	1.00	145	455	83	6.0
Cd (8)	0.3400	0.1700	1.00	147	418	85	7.1
Cy (9)	0.3500	0.1750	1.00	131	405	83	6.0
Sc (10)	0.3600	0.1800	1.00	115	381	83	7.2
Cd (11)	0.3700	0.1850	1.00	112	350	84	7.1
Cy (12)	0.3800	0.1900	0.90	123	363	85	9.4
Sc (13)	0.3900	0.1950	0.90	107	340	84	9.5
Cd (14)	0.4000	0.2000	0.80	145	348	86	8.1
Cy (15)	0.4100	0.2050	0.80	104	330	84	9.5
Sc (16)	0.4200	0.2100	0.75	124	323	85	9.4
Cd (17)	0.4300	0.2150	0.75	146	303	84	8.3
Cy (18)	0.4400	0.2200	0.75	124	282	83	8.4
Sc (19)	0.4500	0.2250	0.75	76	250	85	10.6
Cd (20)	0.4600	0.2300	0.75	98	227	86	10.5
Cy (21)	0.4700	0.2350	0.75	92	213	83	8.4
Sc (22)	0.4800	0.2400	0.75	74	185	85	10.6
Cd (23)	0.4900	0.2450	0.75	76	168	84	8.3
Cy (24)	0.5000	0.2500	0.75	50	150	84	9.5
Sc (25)	0.5100	0.2550	0.75	35	133	83	9.6
Cd (26)	0.5200	0.2600	0.75	30	117	83	7.2
Cy (27)	0.5333	2.2667	0.75	39	101	83	8.4

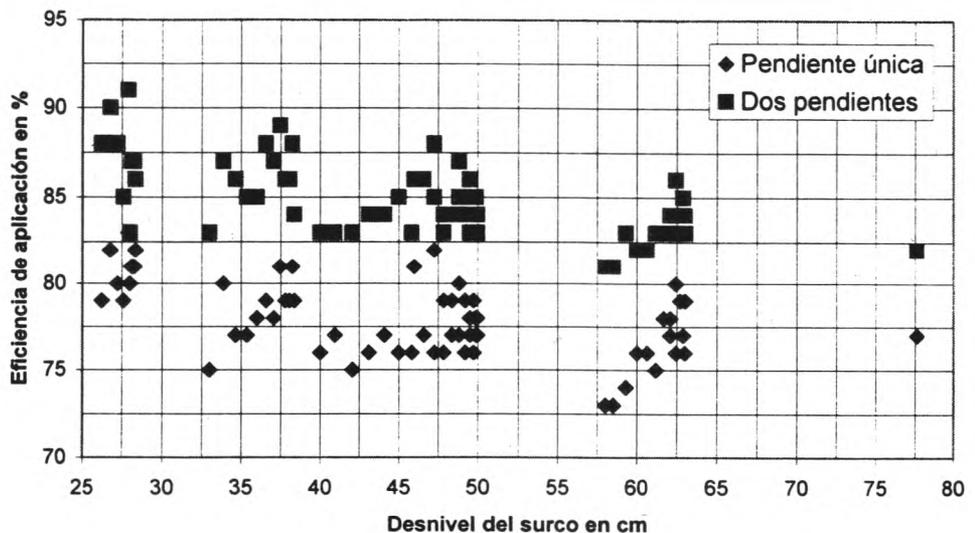


Figura 1. Eficiencia de aplicación según el desnivel del surco

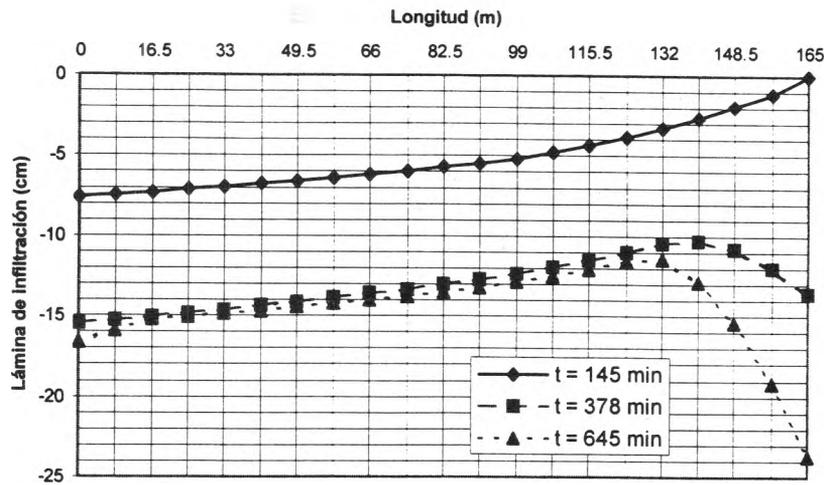


Figura 2. Láminas de infiltración para una pendiente. Surco Cd (14)

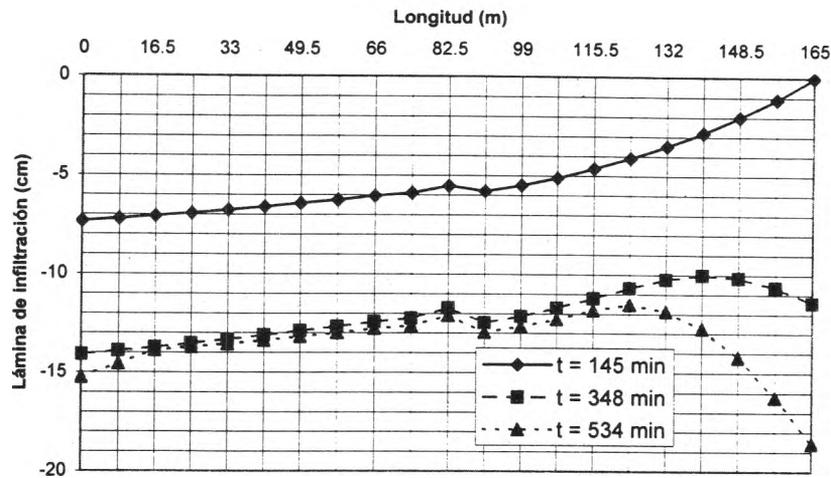


Figura 3. Láminas de infiltración para dos pendientes. Surco Cd (14)

Análisis de resultado

El incremento de la eficiencia se explica gracias al efecto del remanso producido por la pendiente de menor valor aguas abajo, lo que hace que los perímetros mojados sean mayores hacia el tercio medio del surco, y así se aumente la infiltración y se logre una mejor distribución de la lámina infiltrada. En las figuras 2 y 3 se muestran las láminas de infiltración al final de las fases de avance del agua, llenado y receso para el surco Sc (14) con una y dos pendientes, respectivamente. Véase que para éste último caso (figura 3) las láminas infiltradas son menores en el tercio medio del surco que para una pendiente (figura 2) y que la lámina mínima se alcanza en un sitio más próximo al centro, pero en un tiempo menor.

Desde el punto de vista práctico, la nivelación que requiere dos pendientes en la parcela, con la mayor en la parte alta, produciría un movimiento de tierras que levantaría un volumen de capa vegetal posiblemente perjudicial para el cultivo. Este volumen se calcularía como el producto del área comprendida entre las pendientes S_0 , S_1 y S_2 de la figura 4, por el ancho de la parcela.

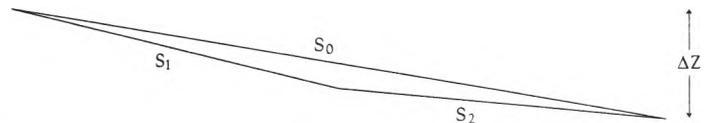


Figura 4. Capa vegetal removida al usar dos pendientes

Conclusiones

La modificación de las pendientes en el campo no es práctica común porque se procura nivelar las tierras con la pendiente natural; sin embargo, cuando se tenga una parcela con surcos cerrados y dos pendientes fuertes (mayores o iguales que 0.2%) diferentes, situándose la mayor en la parte alta, los resultados de este trabajo permiten concluir que conviene conservarlas.

Ahora bien, si fuera posible cambiar las pendientes de una sola a dos, con la mayor en la parte alta, sin afectar al cultivo por la remoción de la capa vegetal, el ahorro de agua cuando el cambio de pendiente se hace a la mitad del surco, puede llegar a ser hasta de 10% (ver última columna de la tabla 4).

Es conveniente verificar los resultados teóricos de este trabajo con otro modelo numérico diferente al empleado aquí, pero también debe considerarse la variación del perímetro mojado a lo largo del surco, o bien, preferentemente en el campo.

Agradecimientos

Al Dr. Jesús Gracia Sánchez por sus opiniones y sugerencias.

Referencias

- Bautista E. y Wallender W. W. (1993a). Reliability of optimized furrow-infiltration parameters. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, Vol. 119, No.5.
- Booher L. J. (1974). *Surface Irrigation*. Land and water development series. Food and agriculture organization of the United Nations.
- Burt C. M., Clemens A. J., Strelkoff T. S., Solomon K. H., Bliesner R. D., Hardy L. A., Howell T. A. y Eisenhauer D. E. (1997). Irrigation performance measures: efficiency and uniformity. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. Vol. 123, No. 6.
- Camacho E., Pérez C., Roldán J., Alcaide M., (1997). Modelo de manejo y control en tiempo real del riego por

- surcos. *Ingeniería del Agua*, Universidad Politécnica de Valencia, Vol. 4, No. 4.
- Chu S. T. (1978). Infiltration during and unsteady rain. *Water Resources Research*, Vol. 14, No. 3.
- Rendón P. L., Fuentes R. C. y Magaña S. G. (1995). *Diseño simplificado del riego por gravedad*. Memorias del VI Congreso Nacional de Irrigación, Chapingo, México.
- Vázquez E. (1996). *Formulación de un criterio para incrementar la eficiencia del riego por surcos, incluyendo el método de corte posterior*. Tesis de doctorado. División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería, UNAM, Ciudad Universitaria, México.
- Vázquez E. y Gracia J. (1998). Calibración de parámetros de infiltración y rugosidad con un modelo numérico para riego con surcos cerrados. *Ingeniería del Agua, Universidad Politécnica de Valencia*, España (en prensa).
- Vázquez E. y De la Cruz R. (1998a). Criterio de diseño para el riego por gravedad con surcos cerrados. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, Vol. I., No. 1, UNAM, p.38.
- Vázquez E. y De la Cruz R. (1998b). *Manual del usuario del los programas ejecutables SURCOS-A y SURCOS-C, para el diseño del riego por gravedad con surcos abiertos y cerrados*. Instituto de Ingeniería, UNAM, México.

Apéndice. Simulaciones numéricas adicionales

La tabla A.1 muestra los resultados de las 40 simulaciones numéricas que complementan los desniveles y eficiencias de la figura 1 del texto para una pendiente. Los datos de K, λ , L, D y Zm son los mismos de la tabla 2 del texto, según la identificación del surco en la primera columna; la única modificación corresponde a la pendiente S_0 y con ella, el desnivel ΔZ que se anotan en la segunda y tercera columnas, respectivamente. En la tabla A.2 se presentan los resultados para dos pendientes; dado que el desnivel ΔZ toma el mismo valor que los correspondientes a la tabla anterior, no se incluye; pero sí las pendientes S_1 y S_2 .

Tabla A.1. Resultados de las simulaciones numéricas con una pendiente

Surco	S_0 (%)	ΔZ (cm)	Q (l/s)	t_a (min)	Tr (min)	η (%)
Sc (1)	0.2700	62.10	0.75	324	890	78
Cd (2)	0.2775	62.44	0.75	376	830	80
Cy (3)	0.2850	62.70	0.80	280	745	79
Sc (4)	0.2925	62.89	0.80	261	725	77
Cd (5)	0.3000	63.00	0.80	299	675	79
Cy (6)	0.2500	63.04	0.85	239	595	79

Tabla A.1. Resultados de las simulaciones numéricas con una pendiente (continuación)

Surco	S_0 (%)	ΔZ (cm)	Q (l/s)	t_a (min)	Tr (min)	η (%)
Sc (7)	0.3150	63.00	0.85	193	583	76
Cd (8)	0.3225	62.89	0.80	238	575	77
Cy (9)	0.2500	62.70	0.85	186	500	79
Sc (10)	0.3375	62.44	0.80	181	515	76
Cd (11)	0.3450	62.10	0.75	223	510	77
Cy (12)	0.3000	61.69	0.80	158	444	78
Sc (13)	0.3600	61.20	0.75	158	460	75
Cd (14)	0.3675	60.64	0.70	200	455	76
Cy (15)	0.3750	60.00	0.70	141	415	76
Sc (16)	0.3825	59.29	0.70	137	400	74
Cd (17)	0.3900	58.50	0.70	168	370	73
Cy (18)	0.4000	58.00	0.70	140	340	73
Sc (19)	0.2000	28.00	1.00	45	200	80
Cd (20)	0.2100	28.35	1.00	51	175	82
Cy (21)	0.2175	28.28	1.00	50	162	81
Sc (22)	0.2250	28.13	1.00	42	145	81
Cd (23)	0.2325	27.90	0.90	52	142	83
Cy (24)	0.2400	27.60	0.90	37	135	79
Sc (25)	0.2475	27.23	0.80	38	131	80
Cd (26)	0.2550	26.78	0.70	50	130	82
Cy (27)	0.2625	26.25	0.80	40	100	79
Sc (1)	0.3375	77.63	0.60	491	1132	77
Sc (16)	0.2475	38.36	0.95	72	272	79
Cd (17)	0.2550	38.25	0.95	80	245	81
Cy (18)	0.2625	38.06	0.95	69	230	79
Sc (19)	0.2700	37.8	0.80	70	250	79
Cd (20)	0.2775	37.46	0.80	87	224	81
Cy (21)	0.2850	37.05	0.90	59	185	78
Sc (22)	0.2925	36.56	0.80	68	187	79
Cd (23)	0.3000	36.00	0.75	83	182	78
Cy (24)	0.2500	35.36	0.70	71	176	77
Sc (25)	0.3150	34.65	0.65	66	167	77
Cd (26)	0.3225	33.86	0.70	44	131	80
Cy (27)	0.2500	33.00	0.70	54	120	75

Tabla A.2. Resultados de las simulaciones numéricas con dos pendientes

Surco	S_1 (%)	S_2 (%)	Q (l/s)	t_a (min)	Tr (min)	η_1 (%)	Ag (%)
Sc (1)	0.2667	0.1333	0.75	325	832	84	7.1
Cd (2)	0.2800	0.1400	0.75	376	773	86	7.0
Cy (3)	0.2900	0.1450	0.80	281	702	84	6.0
Sc (4)	0.3000	0.1500	0.80	262	663	85	9.4
Cd (5)	0.3100	0.1550	0.80	299	625	84	6.0
Cy (6)	0.3200	0.1600	0.85	234	565	83	4.8

Tabla A.2. Resultados de las simulaciones numéricas con dos pendientes (continuación)

Surco	S_1 (%)	S_2 (%)	Q (l/s)	t_a (min)	T_r (min)	η_1 (%)	A_g (%)
Sc (7)	0.3300	0.1650	0.85	194	530	84	9.5
Cd (8)	0.3400	0.1700	0.80	238	530	84	8.3
Cy (9)	0.3500	0.1750	0.85	180	478	83	4.8
Sc (10)	0.3600	0.1800	0.80	182	475	83	8.4
Cd (11)	0.3700	0.1850	0.75	223	477	83	7.2
Cy (12)	0.3800	0.1900	0.80	155	418	83	6.0
Sc (13)	0.3900	0.1950	0.75	158	414	83	9.6
Cd (14)	0.4000	0.2000	0.70	201	420	82	7.3
Cy (15)	0.4100	0.2050	0.70	142	387	82	7.3
Sc (16)	0.4200	0.2100	0.70	138	356	83	10.8
Cd (17)	0.4300	0.2150	0.70	169	335	81	9.9
Cy (18)	0.4400	0.2200	0.70	141	311	81	9.9
Sc (19)	0.4500	0.2250	1.00	45	190	83	3.6
Cd (20)	0.4600	0.2300	1.00	51	167	86	4.7
Cy (21)	0.4700	0.2350	1.00	51	150	87	6.7
Sc (22)	0.4800	0.2400	1.00	42	135	87	6.7
Cd (23)	0.4900	0.2450	0.90	53	130	91	8.8
Cy (24)	0.5000	0.2500	0.90	37	122	85	7.1
Sc (25)	0.5100	0.2550	0.80	39	118	88	9.1
Cd (26)	0.5200	0.2600	0.70	50	116	90	8.9
Cy (27)	0.5333	0.2667	0.80	40	90	88	10.2
Sc (1)	0.4500	0.2250	0.60	500	1072	82	6.1
Sc (16)	0.3300	0.1650	0.95	73	257	84	6.0
Cd (17)	0.3400	0.1700	0.95	80	225	88	8.0
Cy (18)	0.3500	0.1750	0.95	70	212	86	8.1
Sc (19)	0.3600	0.1800	0.80	71	230	86	8.1
Cd (20)	0.3700	0.1850	0.80	88	204	89	9.0
Cy (21)	0.3800	0.1900	0.90	59	167	87	10.3
Sc (22)	0.3900	0.1950	0.80	68	168	88	10.2
Cd (23)	0.4000	0.2000	0.75	83	166	85	8.2
Cy (24)	0.4100	0.2050	0.70	71	160	85	9.4
Sc (25)	0.4200	0.2100	0.65	66	150	86	10.5
Cd (26)	0.4300	0.2150	0.70	44	119	87	8.0
Cy (27)	0.4400	0.2200	0.70	55	108	83	9.6

Semblanza del autor

Ernesto Vázquez-Fernández. Egresado de la UNAM, ha sido profesor de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco y de la DEPFI, UNAM. Asimismo, se ha desempeñado como especialista en ingeniería hidráulica en los sectores público y privado. Actualmente, labora en el Instituto de Ingeniería, UNAM.