



Selección técnico-económica de emisores

**Eduardo A. Holzapfel¹, Willams A. Abarca², Vital P. da S. Paz³, José L. Arumi¹,
Antonieta Rodríguez², Ximena Orrego² & Marco A. Lopez⁴**

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo estudiar los factores que intervienen en la selección técnico económico de goteros. En el estudio fueron utilizados emisores autocompensados y no autocompensados, considerando a los aspectos técnicos como porcentaje de suelo humedecido, número de emisores por planta y coeficiente de uniformidad y precio y la presión de operación del emisor como aspectos económicos. Los resultados muestran que la presión de operación de los emisores es el factor más importante a considerar en la selección, ya que para valores más bajos de presión de operación se obtuvieron menores valores de costo total anualizado, independiente del tipo de gotero. En general, los goteros no autocompensados presentaron valores de costo anualizado menores, para un rango de presión similar. Finalmente el análisis técnico-económico en la selección de emisores es un procedimiento importante.

Palabras clave: micro irrigación, selección de emisores, economía

Technical and economical selection of emitters

ABSTRACT

The objective of this research was to study the parameters that affect the technical-economical selection of emitters. In the study compensated and non-compensated emitters were used. The technical aspects considered were: percentage of wetted soil, number of emitters per plant and the uniformity coefficient as well as price and operation pressure for economic aspects. The results shows that the operation pressure of emitters is the most important factor to be considered in the selection, with smaller values of pressure giving lower total annual cost, independently of the type of emitter. In general, the non-compensated emitter shows lower annual cost values than for compensated emitters, for a similar range of pressures. Finally the technical-economical analysis in the emitter selection is an important procedure.

Key words: micro irrigation, emitters selection, economic

¹ Facultad de Ingeniería Agrícola, Universidad de Concepción, Avda. Vicente Méndez, 595, Casilla 537, Chillan, Chile. E-mail: eholzapf@udec.cl

² Ingeniero Civil Agrícola, Facultad de Ingeniería Agrícola, Universidad de Concepción, Avda. Vicente Méndez, 595, Casilla 537, Chillan, Chile.

³ Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. CEP 44380-000, Cruz das Almas, BA, Brasil. E-mail: vitalpaz@ufrb.edu.br

⁴ Facultad de Ingeniería Agrícola, Universidad de Concepción, Avda. Vicente Méndez, 595, Casilla 537, Chillan, Chile.

INTRODUCCIÓN

La agricultura es el sector de la economía que tiene la mayor demanda por agua, integrado por los métodos y sistemas de riego, indispensables para el incremento de la producción y competitividad del sector. Los modelos tecnológicos futuros deberán considerar un riguroso equilibrio entre producción agrícola, sustentabilidad de los recursos naturales agua y suelo, y el uso energético (Oster & Wichelns, 2003).

Las exigencias vinculadas con la producción agrícola, así como la conservación del medio ambiente y la optimización del uso de los recursos hídricos disponibles han llevado a los agricultores a tecnificar el riego, optando muchos de ellos por la incorporación de riego presurizado. Una consecuencia de ello es el ahorro de agua que, en algunas zonas especialmente áridas, ha liberado importantes volúmenes para otros usos o ha permitido disminuir la sobre-exploración de los acuíferos. Sin embargo, también existen ejemplos de resultados muy insatisfactorios cuando estas instalaciones no están adecuadamente diseñadas (Valiantzas, 2003; Lopez, 1996).

El riego localizado se caracteriza por una alta eficiencia en el uso del agua, posibilitando además una mayor precisión en las aplicaciones del agua, fertilizantes y pesticidas bajo adecuadas condiciones de diseño (Pedras & Pereira, 2001; Holzapfel et al., 2001).

La selección de los emisores en riego localizados es el proceso de mayor relevancia para que el sistema de riego sea correctamente diseñado y operado ya que condiciona el sistema de distribución, filtraje y de potencia. Es indispensable el conocimiento de las características técnico-económicas del emisor como el caudal, presión de operación, relación caudal-descarga, uniformidad de aplicación del agua, durabilidad, susceptibilidad al taponamiento, facilidad de reposición y costos.

Medina San Juan (1997) menciona que los emisores debieran cumplir con ciertas condiciones fundamentales para su selección.

Segun Karmeli et al. (1985) el emisor seleccionado debe ser el de menor costo, además debe ser de buena calidad y durable en el tiempo. La tendencia a seleccionar emisores con el menor costo incurre a menudo en un error por la mala calidad y la poca durabilidad de los goteros. En un sistema de riego por goteo, un porcentaje importante de la inversión inicial corresponde a las tuberías laterales y los emisores.

Para el diseño de un riego por goteo es necesario establecer un valor mínimo del volumen del suelo a humedecer (Pandey et al., 2003; Zur, 1996). Lopez et. al. (1992) consideran que es importante determinar el número de emisores por planta tomando como base área humedecida, seguridad de riego y costo. Según Karmeli et al. (1985) para el caso de frutales, el porcentaje mínimo de la superficie mojada del suelo debe ser superior al 33% de la zona radicular, sobre todo en lugares donde prevalecen climas áridos, para el caso de cultivos herbáceos se debe aumentar dicho porcentaje. Medina San Ruan (1997) también condiciona la zona humedecida al establecimiento de un buen anclaje radicular de las plantas para evitar su caída. Otro factor importante en la de-

terminación del número de emisores es la demanda de agua y el tiempo de riego disponible (Holzapfel et al., 2000)

Por lo expuesto el principal objetivo de este estudio es analizar los factores que intervienen en la selección de emisores y establecer un procedimiento para su selección en una base técnico-económica.

MATERIAL Y MÉTODOS

La selección técnico-económica se basa en las características técnicas asociadas al funcionamiento del emisor y antecedentes económicos relativos a costos. La alternativa más adecuada resulta del menor costo con el mejor indicador de desempeño técnico. Para el estudio se utilizaron emisores no autocompensados y autocompensados.

A los diferentes emisores se les ha asignado un nombre genérico: EMG 1 hasta EMG 12 para los autocompensados y EMNG 13 hasta EMNG 23 para no autocompensados. Esto para evitar usos inadecuados de carácter comercial, que no es la finalidad de este estudio, sino entregar antecedentes que permitan apoyar el diseño de los sistemas. Para efectos de estudio posteriores se pueden considerar emisores de cualquier fabricante.

Los costos se dan en pesos chilenos (\$), basado en que todo los antecedentes están en esa moneda, y se producen distorsiones en su análisis al hacer conversiones en ciertos tipo de ítems (1 dolar es equivalente a 574,49 pesos).

Cálculo económico: gotero óptimo

La selección óptima económica considera los costos fijos anuales (CF) y los costos variables (CV), cuya suma es el costo total anualizado (CT), tal como se muestra en la Ecuación 1:

$$CT = CF + CV \quad (1)$$

Los costos fijos corresponden a los costos relacionados a la inversión requerida en la adquisición e instalación de los goteros y los costos variables son aquellos relacionados a la operación y su manutención.

El gotero que resulte con el menor valor en el costo total (CT) corresponderá al gotero óptimo económico.

Costo fijo anualizado para goteros

En este costo hay que considerar el valor que tiene el dinero en el tiempo, en base a un valor presente o costo fijo anualizado.

El costo fijo anualizado para cada tipo de gotero estará dado por:

$$CF(G) = [CI(G) + C(G)] N(G) \text{ FRC}(i,n) \quad (2)$$

donde:

CF(G) – costo fijo anualizado para un determinado número de goteros tipo

CI(G) – costo de instalación de un gotero, \$

C(G) – costo de adquisición de un gotero, \$

$N(G)$ – número de goteros que cumplen con el requerimiento del cultivo

$FRC(i,n)$ – factor de recuperación del capital a un interés i para una vida útil de n años.

El factor de recuperación del capital (FRC) estará dado por:

$$FRC(i,n) = \frac{i(i+1)^n}{(i+1)^n - 1} \quad (3)$$

Costo variable para goteros

El costo variable está asociado a la operación del gotero e incluye solamente el costo de energía, ya que el costo de mantenimiento es difícil de predecir con certeza a futuro ya que tiene una alta dependencia del manejo del equipo. El costo variable se calcula con la siguiente ecuación:

$$CV(G) = \frac{CAEE Q N(G) P_e}{NS 367200} \quad (4)$$

donde:

$CV(G)$ – costo de operación anual, \$

$CAEE$ – costo anual equivalente de la energía como factor

Q – caudal del emisor, $L h^{-1}$

P_e – presión de operación del emisor, mca

NS – superficie que se irriga en forma simultánea, ha

El costo equivalente de la energía (CAEE) está dado por la siguiente ecuación (Zazueta, 1992):

$$CAEE = \frac{T_o C_e FCE(e,i,n)}{E_b PPUC} \quad (5)$$

donde:

T_o – número de horas de operación al año

C_e – costo del combustible, \$ $kW^{-1} h^{-1}$

$FCE(e,i,n)$ – factor de costo equivalente para una tasa de incremento anual de energía (e), un interés (i), y una vida útil (n)

E_b – eficiencia de la bomba como fracción

$PPUC$ – potencia generada por unidad de combustible, $HP-h kW^{-1} h^{-1}$

Cálculo económico: costo total anualizado en un sistema de riego

Para efectuar un análisis de un sistema de riego, el procedimiento es el mismo que para el cálculo del costo total anualizado de emisores expuesto anteriormente, considerando que en un sistema de riego se deben incluir todos los elementos que lo componen. Es indispensable establecer que los componentes del sistema de riego presurizado están directamente asociados al emisor.

Costo fijo anualizado del sistema de riego

El costo fijo anualizado corresponde al costo de adquisición e instalación del sistema de riego por el factor de recuperación del capital, descrito por la siguiente ecuación:

$$CFS = C_s FRC \quad (6)$$

donde:

CFS – costo fijo anualizado en un sistema de riego, \$

C_s – costo de inversión de un sistema de riego considerando la adquisición de la totalidad de emisores, tuberías de diversos diámetros, válvulas, accesorios y elementos que forman la caseta de control.

Costo variable anualizado del sistema de riego

Para un sistema de riego, el costo variable o de operación se calcula de la misma forma que para el caso de emisores, utilizando el mismo valor del costo anual equivalente de la energía (CAEE) descrito en la ecuación 5. En este caso se considera el caudal total y la altura dinámica total que incluye la presión de operación de los emisores, las pérdidas de carga asociadas al sistema de distribución, energía consumida en filtraje y fertigación, y la diferencia de cota.

$$CVS = \frac{CAEE Q_s H_T}{102} \quad (7)$$

donde:

CVS – costo variable anualizado para un sistema de riego, \$

Q_s – caudal requerido para regar la totalidad o parte de la superficie simultánea, $L s^{-1}$

H_T – altura dinámica total, mca

Diagrama de flujo para selección óptima económica de emisores

En la Figura 1 es representada en forma gráfica la secuencia de pasos utilizada en la selección económica de emisores, siguiendo las definiciones y consideraciones técnico-económicas.

Estudio de caso

En base a la metodología presentada se desarrolló un estudio de caso para la selección económica de gotero, cuyo resultado da el mejor emisor desde el punto de vista económico, y que cumpla con los criterios técnicos recomendables como caudal, coeficiente de uniformidad y coeficiente de variación.

Tipos de goteros

En el estudio de caso se seleccionaron 23 emisores (auto-compensados y no auto-compensados) con caudales de 2, 4 y 8 $L h^{-1}$, cuya descripción se es dada en las Tablas 1 y 2. En la Tabla 3 se presentan los antecedentes económicos utilizados en el estudio, para selección técnico-económica de emisores.

El procedimiento de selección técnico-económica de los goteros no auto-compensados utilizó la ecuación presión-decarga para determinar el valor de la presión de operación y se aceptó como máximo una variación del 10% respecto al valor del caudal nominal. Para goteros auto-compensados se estableció el criterio de considerar el valor nominal de presión un 10% superior a la presión mínima en el rango de

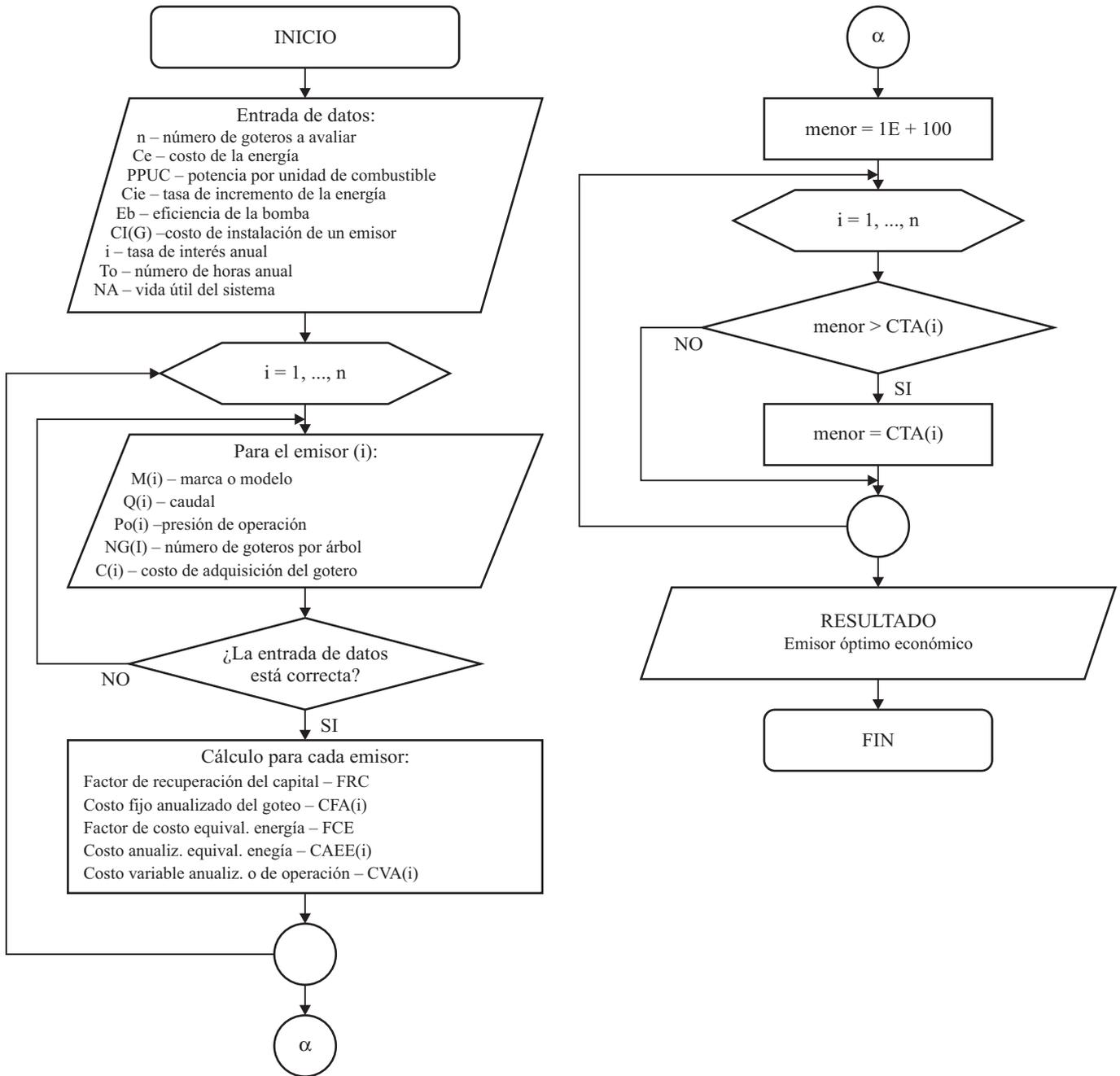


Figura 1. Diagrama de flujo para la selección óptima económica de emisores

autocompensación para topografía plana. En condiciones de mayor pendiente este valor se debe ajustar de acuerdo a la situación topográfica.

Diseño de sistema de riego

Una vez que se seleccionen los emisores correspondientes, se realiza el diseño de riego para un área con antecedentes básicos como los que se describen en la Tabla 4.

Aspectos técnicos de diseño del sistema de riego

El requerimiento de agua del cultivo fue determinado según el procedimiento recomendado por Fereres (1990) y Holzapfel et al. (2004), que consideraran el porcentaje de

cobertura o de sombreo medido al medio día.

$$ET_a = E_o \cdot 0,8 \cdot (0,0128 P + 0,1125) \tag{8}$$

donde:

- ET_a – evapotranspiración actual en mm
- E_o – Evaporación de diseño de la bandeja de evaporación al porcentaje de probabilidad establecido en mm
- P – porcentaje de cobertura (10% ≤ P ≤ 70%)
- 0,8 – factor de bandeja considerado

El requerimiento real de agua (V_t) en litros por día por árbol se determinó multiplicando el marco de plantación

Tabla 1. Características generales para 12 goteros autocompensados, utilizados en el estudio: Caudal nominal, Rango de presión experimental (RPE), Coeficiente de Uniformidad (CUc), Coeficiente de Variación (CV) y Costo Unitario (Beas, 2001)

Gotero	Caudal Nominal (L h ⁻¹)	RPE (kPa)	CUc (%)	CV (%)	Costo Unit. (\$)
EMG 1	8	14 - 422	95	4	71
EMG 2	4	100 - 422	95	4	70
EMG 3	4	70 - 422	96	4	65
EMG 4	4	30 - 310	94	5	60
EMG 5	4	160 - 422	91	7	55
EMG 6	4	30 - 422	92	7	58
EMG 7	4	100 - 422	97	3	80
EMG 8	4	14 - 422	98	1	85
EMG 9	4	40 - 422	93	5	70
EMG 10	4	14 - 422	94	4	69
EMG 11	2	70 - 422	78	18	50
EMG 12	2	14 - 422	89	8	75

US\$ = \$574,49

Tabla 2. Características generales para 11 goteros no autocompensados, utilizados en el estudio: Caudal nominal, Rango de presión experimental (RPE), Coeficiente de Uniformidad (CUc), Coeficiente de Variación (CV) y Costo Unitario (Beas, 2001)

Gotero	Caudal Nominal (L h ⁻¹)	RPE (kPa)	CUc (%)	CV (%)	Costo Unit. (\$)
EMNG 13	4	14 - 352	98	1	60
EMNG 14	2	14 - 352	98	2	65
EMNG 15	4	14 - 352	91	7	55
EMNG 16	4	14 - 352	99	1	58
EMNG 17	2	30 - 352	92	6	57
EMNG 18	4	60 - 352	98	1	60
EMNG 19	4	14 - 352	98	2	75
EMNG 20	2	14 - 352	97	2	70
EMNG 21	4	14 - 352	99	1	60
EMNG 22	8	14 - 352	98	1	50
EMNG 23	4	14 - 352	99	1	60

US\$ = \$574,49

Tabla 3. Antecedentes económicos para el procedimiento de selección óptima

Descripción	Nomenclatura	Valor	Unidad
Tasa de interés anual	(i)	12	(%)
Horas operación anual	(To)	2.962	(h año ⁻¹)
Costo de la energía	(Cc)	20	(\$ kW ⁻¹ h ⁻¹)
Eficiencia bomba	(Ef)	75	(%)
Tasa de incremento de la energía	(e)	10	(%)
Vida útil del sistema	(n)	10	(años)
Costo instalación de un gotero	(Ci)	6	(\$ gotero ⁻¹)
Potencia por unidad de combustible	(PPUC)	1,2	(HP-hr kW ⁻¹ h ⁻¹)

correspondiente por la evapotranspiración actual (Holzapfel, 1997) dividido por la eficiencia de aplicación. Así:

$$V_t = \frac{ET S_p S_h}{E_a} \quad (9)$$

donde:

Tabla 4. Antecedentes básicos para el estudio de un sistema de riego con la selección técnica óptimo-económica de goteros

Descripción	Nomenclatura	Valor	Unidad
Tipo de cultivo	-	Frutal	-
Evaporación de bandeja	(Eb)	7,5	[mm día ⁻¹]
Coeficiente de bandeja	(Cb)	80,0	[%]
Porcentaje de cobertura	(P)	70,0	[%]
Coeficiente de cultivo	(Kc)	1,0	-
Evapotranspiración actual	(Eta)	6,1	[mm día ⁻¹]
Eficiencia de aplicación	(Efa)	90,0	[%]
Coeficiente de uniformidad	(CU)	90,0	[%]
Tiempo de riego al día	(Tr)	20,0	[h]
Velocidad de infiltración básica	(Vi)	3,25	[mm día ⁻¹]
Frecuencia de riego	(FR)	1,0	[día]
Porcentaje de suelo mojado	(%H)	33,0	[%]
Espaciamiento entre hileras	(b)	3,0	[m]
Espaciamiento sobre hileras	(r)	4,0	[m]
Área total	(A)	13,98	[h]a
Textura del suelo	-	Limoso	-
Caudal disponible	(Q)	22	[L s ⁻¹]

Sp – espaciamento de árboles en la hilera

Sh – espaciamento entre hileras

Ea – eficiencia de aplicación

El número de emisores por planta (N) debe considerar el volumen requerido a aplicar asociado a las horas de operación y el caudal del emisor. Así

$$N = \frac{V_t}{q_e \text{ NHR}} \quad (10)$$

donde :

NHR – número de horas de riego al día que opera la subunidad

q_e – descarga o caudal del emisor en L h⁻¹

El área de humedecimiento para un determinado número de emisores fue establecida con el criterio de humedecer al menos a un tercio (33%) del área correspondiente al marco de plantación, cuando se trata de frutales. Para la determinación del número de emisores necesarios para satisfacer el porcentaje de suelo mínimo a humedecer se pueden utilizar emisores de 2, 4 y 8 L h⁻¹. Karmeli et al. (1985) han desarrollado ecuaciones que permiten determinar el diámetro humedecido de los emisores en distintos tipos de suelos, conociendo la descarga. Así para un suelo Arcillo limoso la relación es:

$$DH = 0,7 + 0,11 q_e \quad (11)$$

donde:

DH – diámetro de humedecimiento en m

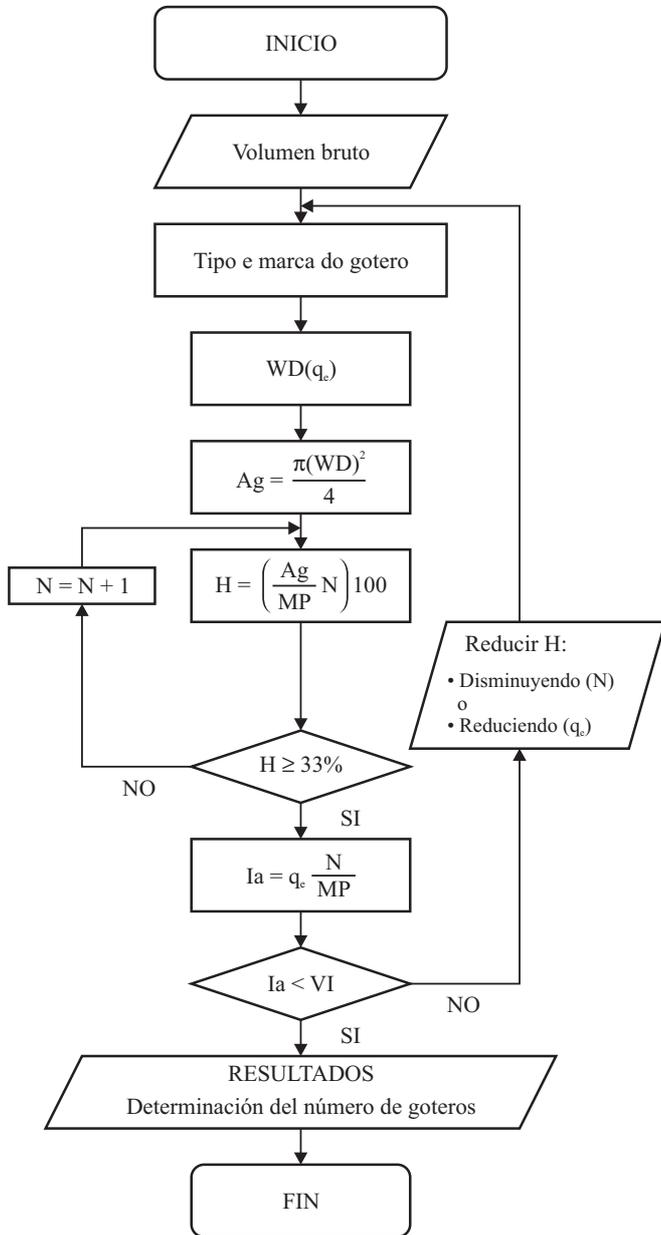
Además es importante considerar la velocidad de aplicación y la velocidad de infiltración para evitar escorrentía con la siguiente ecuación:

$$I_a = \frac{q_e N}{S_c S_i} \quad (12)$$

donde:

- Ia – velocidad de aplicación del agua en el suelo en mm hr⁻¹
- S_c – distancia entre emisores en m
- S_l – distancia entre laterales en m

En la Figura 2 se muestran las etapas para determinar el número de emisores.



Nota: WD(q_c) – diámetro mojado por un emisor; Ag – área del gotero; H – porcentaje de humedecimiento del emisor en el suelo, respecto su marco de plantación; MP – marco de plantación; N – número de goteros; Ia – velocidad de aplicación del agua en el suelo; VI – velocidad de infiltración del agua en el suelo

Figura 2. Secuencia para la determinación del número de emisores

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis general

Para comprender de forma general el comportamiento técnico y económico de un sistema de riego referente a su costo total, se realizó un análisis que considera los paráme-

tros de presión de trabajo, vida útil del sistema, número de horas de uso en la temporada de riego, valor y variación del costo de la energía y tasa de interés del capital.

En la Tabla 5 se muestra el número de horas de riego para cada uno de los meses utilizados en el estudio y su valor correspondiente de horas totales en la temporada asociadas a los criterios de horas disponibles por día.

Tabla 5. Número de horas correspondientes a la temporada de riego, según el número de horas diarias utilizadas

Meses	20	21	22	23	24	N° de días
	(h día ⁻¹)					
Octubre	310	326	341	357	372	31
Noviembre	480	504	528	552	576	30
Diciembre	620	651	682	713	744	31
Enero	620	651	682	713	744	31
Febrero	560	588	616	644	672	28
Marzo	372	391	409	428	446	31
Total	2962	3111	3258	3406	3554	182

En general existe la tendencia de que a mayor cantidad de horas diarias que se utiliza el sistema en la temporada, aumentan los costos variables y los costos totales anuales, pero, existe la posibilidad de regar una mayor superficie. Por el contrario si la superficie es el factor limitante, el aumento del número de horas produce una disminución de la potencia del sistema de bombeo ya que se debe entregar el mismo caudal en un mayor tiempo. Es importante destacar que la utilización de un mayor número de horas diarias del sistema se traduce en un aumento de superficie posible de regar o, en el caso que no exista más superficie regable, es posible satisfacer los requerimientos hídricos de los cultivos utilizando un menor caudal total para el sistema. Por lo tanto, conviene utilizar el equipo de riego el mayor número de horas al día.

Efectos del caudal de los emisores sobre el costo total

El análisis se realizó con goteros que presentaron los menores costos totales anualizados; tanto para los no auto-compensados como para los autocompensados para una tasa de interés del 12% anual. La tasa de interés es un parámetro importante de destacar, debido a que afecta directamente al costo fijo anual y, por tanto, al costo total anualizado. Además se utilizó un requerimiento de agua de 6,1 mm día⁻¹ y con un número de emisores relacionados al requerimiento del cultivo, para una superficie de una hectárea, y un marco de plantación de 12 m² (4 x 3 m).

La Figura 3 muestra la variación del costo total anualizado de acuerdo al caudal y tipo de los emisores.

Para goteros no autocompensados se registra una disminución del costo total anualizado a medida que aumenta el caudal; esto se debe a una reducción de los costos fijos anualizados, debidos fundamentalmente a que disminuye el número de goteros.

Para goteros autocompensados no existe una tendencia clara del valor del costo total anualizado respecto al aumento de

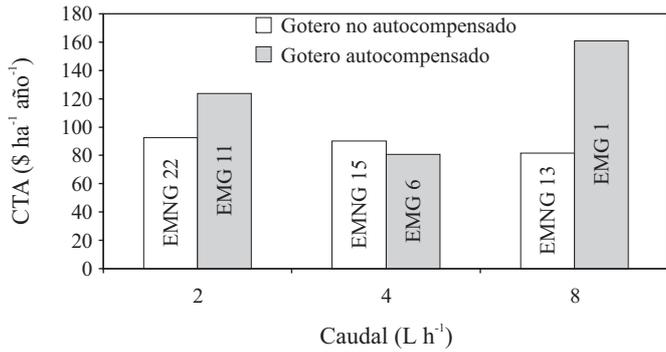


Figura 3. Costo total anualizado (CTA) respecto al caudal de emisores no autocompensados y autocompensados

caudal. Lo anterior se atribuye, fundamentalmente, a la existencia de una marcada heterogeneidad asociada a las presiones de operación y sus costos fijos, para los distintos tipos de goteros.

El análisis de costos para evaluar los diferentes tipos de goteros debe considerar la cantidad, que es función del caudal asociada a requerimientos y la presión de operación nominal.

Efectos de la variación de la vida útil de los goteros y su costo total

Considerando que la vida útil de los goteros es muy variable, se realizó un análisis para un período de vida útil desde 1 hasta 15 años. Se presenta a modo de ejemplo el emisor autocompensado EMG 2 de 4 L h⁻¹ debido, a que en general, todos los emisores presentan la misma tendencia.

El aumento en la vida útil de los goteros produce un descenso monótonico del costo fijo anualizado (Figura 4). Sin embargo, el costo variable se mantiene constante en el tiempo, si no cambia el valor de la energía y no hay problemas de taponamiento en los emisores, ya que de lo contrario aumenta considerablemente el costo de operación debido el mayor tiempo de retrolavado.

De la Figura 4 se puede inferir que existe una mayor rentabilidad en un sistema de riego si los emisores tienen una vida útil igual o superior a 7 años, en donde se ve que el mayor efecto de los costos fijos ocurre cuando la inversión se evalúa en los primeros cuatro años. La adquisición de goteros de mala calidad, sistema de filtraje inadecuado o un manejo incorrecto de

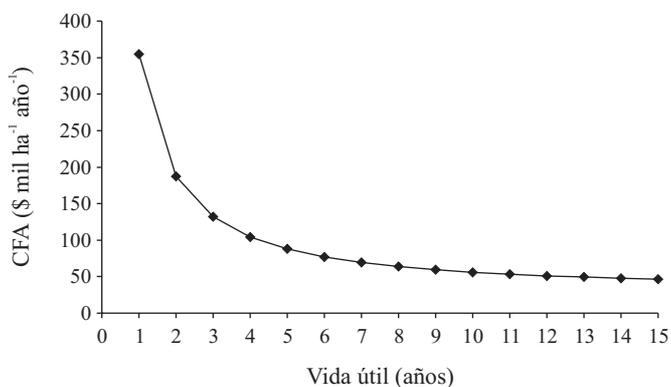


Figura 4. Costo fijo anualizado respecto al aumento de la vida útil de goteros, para el emisor EMG 2 de 4 L h⁻¹ autocompensado

los emisores, produce un desbalance económico en la inversión, ya que se debe realizar una reinversión en emisores antes del período de años con el que se evalúa un proyecto.

Efectos de la variación del precio de la energía sobre el costo total

Se consideró una variación del costo de la energía eléctrica desde \$ 10 hasta \$ 100 por kW h⁻¹. Se puede establecer que el costo fijo anualizado de los goteros permanece constante, ya que este parámetro afecta solamente el cálculo del costo variable.

En general, para valores bajos en el precio de la electricidad el costo variable es menor que el costo fijo para todo el rango de presiones. El costo variable aumenta de forma importante cuando se incrementa la presión de trabajo y/o el costo de la energía, lo que impacta sobre el costo total del sistema (Figura 5). De este modo se aprecia que, para ambos tipos de emisores, existe la misma tendencia, que el costo total anualizado aumenta a medida que aumenta del precio de la energía. Por ello es conveniente la utilización de emisores de baja presión, lo que permite establecer un sistema de bombeo de menor potencia.

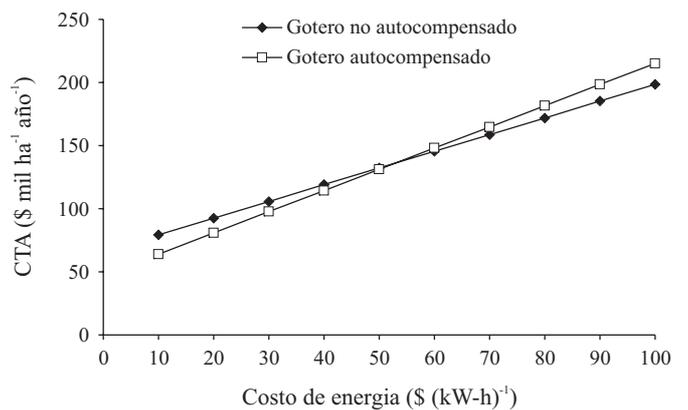


Figura 5. Costo total anualizado (CTA) respecto al aumento del costo de la energía

Efecto de la variación de la presión en los costos

La Figura 6 muestra que un aumento de la presión de trabajo del emisor provoca mayores costos totales anualizados en un sistema de riego, independiente del número de horas

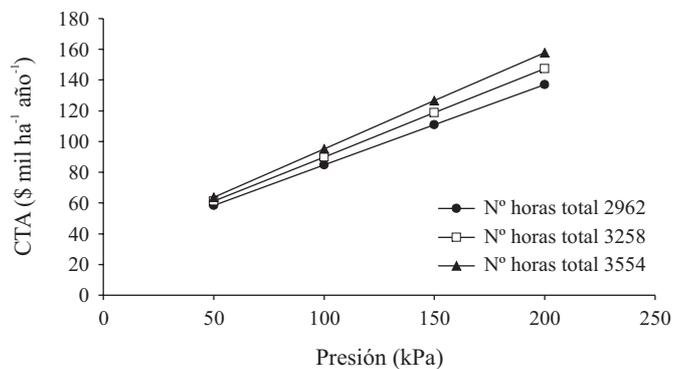


Figura 6. Costo total anualizado (CTA) en función de la presión de trabajo del emisor, respecto del aumento del número de horas de operación anual

en la temporada de riego. Sin embargo, existe solamente una diferencia de un 11% del costo total entre utilizar 2.962 y 3.554 horas/temporada, para la presión de operación de 100 kPa recomendada para este emisor.

Análisis para el emisor óptimo-económico

En la Tabla 6 y 7 se muestran los resultados del análisis óptimo económico de los emisores.

Se puede observar (Tabla 6) que los emisores EMG 6 y EMG 8 destacan del resto de los goteros autocompensados de 4 L h⁻¹ por tener los menores costos totales anualizados, debido principalmente a la baja presión de operación. En este caso, el primer emisor mencionado corresponde al gotero óptimo económico.

El gotero EMG 9 es el menos recomendado para ser utilizado para un caudal de 4 L h⁻¹, debido a una mayor presión (165 kPa) lo que produce una marcada diferencia en el costo total anualizado, con un 57,5% superior al costo total anualizado del emisor EMG 6. El gotero EMG 1 de 8 L h⁻¹ presenta un elevado costo total anualizado debido a su alta presión de operación. Para el caso de los goteros de 2 L h⁻¹, el aumento del valor del costo total anualizado se debe al mayor número de éstos para suplir las necesidades hídricas de un cultivo.

Tabla 6. Resultados para la selección del gotero óptimo económico autocompensado, para caudales de 2, 4 y 8 L h⁻¹

Gotero	Caudal (L h ⁻¹)	Presión (kPa)	Precio Unitario. (\$)	CTA (\$ ha ⁻¹ año ⁻¹)
EMG 1	8	242	71	160.788
EMG 2	4	88	70	94.481
EMG 3	4	88	65	90.791
EMG 4	4	121	60	101.498
EMG 5	4	121	55	97.808
EMG 6	4	77	58	80.826
EMG 7	4	121	80	116.258
EMG 8	4	44	85	86.356
EMG 10	4	154	70	123.275
EMG 09	4	165	69	127.335
EMG 11	2	165	50	123.714
EMG 12	2	88	75	126.361

US\$ = \$574,49

Tabla 7. Resultados para la selección del gotero óptimo económico no autocompensado, para caudales de 2, 4 y 8 L h⁻¹

Gotero	Caudal (L h ⁻¹)	Presión (kPa)	Precio Unitario. (\$)	CTA (\$ ha ⁻¹ año ⁻¹)
EMNG 22	8	100	60	81.577
EMNG 13	4	100	65	95.895
EMNG 15	4	104	55	90.260
EMNG 16	4	110	58	95.223
EMNG 18	4	113	57	95.750
EMNG 19	4	100	60	92.336
EMNG 21	4	99	75	103.145
EMNG 23	4	109	70	103.730
EMNG 14	2	99	60	112.487
EMNG 17	2	76	50	92.582
EMNG 20	2	100	60	112.836

US\$ = \$574,49

Para los emisores no autocompensados (Tabla 7) se obtienen valores de costos totales anualizados muy similares entre sí, debido a las pequeñas diferencias que existen en las presiones de operación.

A pesar de que no existe una gran diferencia de costos totales (Tabla 7), se recomienda utilizar el gotero EMNG 15 en primera opción y luego el emisor EMNG 19 para goteros de 4 L h⁻¹, ya que tienen los menores costos totales anualizados y además presentan bajos costos operación, característica muy importante al momento de la selección, ya que esto puede repercutir considerablemente en la toma de decisiones cuando se trata de grandes superficies de riego. Por lo tanto, a medida que se utilice mayores presiones, el costo de operación aumenta por sobre el costo fijo anualizado, lo que significa una inadecuada alternativa desde el punto de vista económico. En el caso de los goteros de 2 L h⁻¹ el más adecuado es el EMG 11.

En cuanto al costo fijo anualizado, la inversión inicial repercute sólo en un comienzo de la vida útil del sistema, la que se ve subsanada aproximadamente luego de los primeros años, cuando comienza la producción de un determinado cultivo.

Estudio de caso

Parámetros técnicos y económicos generales para el estudio de caso

Para efectuar la selección óptima económica de los emisores, según los antecedentes presentados en las Tablas 1 a 4, se consideró una superficie de 1 ha con un suelo de textura limosa y que la totalidad de la superficie se riega a la vez. En la Tabla 8 se presentan los resultados utilizados para el procedimiento de obtención del emisor óptimo económico para el diseño de sistema de riego considerado en el estudio de caso.

En la Tabla 9 se presentan los datos económicos utilizados para la selección del emisor, con los cuales es posible calcular los valores de costo fijo, variable y total anualizados de cada emisor agrupado de acuerdo con los antecedentes técnicos (Tablas 1 y 2).

Tabla 8. Resultados técnicos para obtener el emisor óptimo económico

Caudal del emisor (L h ⁻¹)	Diámetro mojado (m)	Nº de goteros (N)	Área mojada por los emisores (m ²)	Porcentaje de suelo mojado (%)	Veloc. de Aplicación (mm h ⁻¹)	Nº de árboles por hectárea
8	1,58	3	4,04	33,7	2,00	834
4	1,14	5	5,10	42,5	1,67	834
2	0,92	8	5,32	44,3	1,33	834

Tabla 9. Antecedentes económicos obtenidos para el diseño del sistema de riego

Descripción	Nomenclatura	Valor
Factor de recuperación del capital	FRC	0,177
Factor de costo equivalente de la energía	FCE	1,459
Costo anual equivalente de la energía	CAEE	96,041

Tabla 10. Costo total anualizado para distintos emisores autocompensados y no autocompensados de 2, 4 y 8 L h⁻¹, para una superficie de 13,73 ha

Gotero	Tipo	Caudal nominal (L h ⁻¹)	Presión trabajo (kPa)	Núm. de goteros	CFA	CVA	CTA
						(\$ año ⁻¹)	
EMNG 22	N. Autoc.	8	100	34.320	400.890	179.527	580.416
EMG 1	Autoc.	8	242	34.320	467.705	434.456	902.161
EMNG 13	N Autoc.	4	99,7	57.200	718.768	149.157	867.925
EMNG 15	N Autoc.	4	103,7	57.200	617.533	155.142	772.675
EMNG 16	N Autoc.	4	110	57.200	647.904	164.567	812.471
EMNG 18	N Autoc.	4	112,9	57.200	637.780	168.906	806.686
EMNG 19	N Autoc.	4	100	57.200	668.151	164.567	832.718
EMNG 21	N Autoc.	4	99,4	57.200	820.003	148.709	968.712
EMNG 23	N Autoc.	4	109,2	57.200	769.386	163.370	932.756
EMG 2	Autoc.	4	88	57.200	769.386	131.654	901.040
EMG 3	Autoc.	4	88	57.200	718.768	131.654	850.422
EMG 4	Autoc.	4	121	57.200	668.151	181.024	849.175
EMG 5	Autoc.	4	121	57.200	617.533	181.024	798.557
EMG 6	Autoc.	4	77	57.200	647.904	115.197	763.101
EMG 7	Autoc.	4	121	57.200	870.621	181.023	1.051.644
EMG 8	Autoc.	4	44	57.200	921.238	65.827	987.064
EMG 10	Autoc.	4	154	57.200	769.386	230.393	999.779
EMG 9	Autoc.	4	165	57.200	759.262	246.850	1.006.112
EMNG 14	N Autoc.	2	99	91.520	1.069.041	118.488	1.187.528
EMNG 17	N Autoc.	2	75,8	91.520	907.065	90.721	997.786
EMNG 20	N Autoc.	2	100	91.520	1.069.041	119.685	1.188.726
EMG 11	Autoc.	2	165	91.520	907.065	197.480	1.104.545
EMG 12	Autoc.	2	88	91.520	1.312.005	105.323	1.417.328

US\$ = \$574,49

Resultados sobre estudio de caso

En base a los antecedentes de la Tabla 8, se puede deducir que los emisores seleccionados superan el criterio mínimo de humedecimiento. La utilización de 3 emisores de 8 L h⁻¹ requiere solamente de un lateral de riego sobre cada hilera. Para el caso del uso de goteros de 4 L h⁻¹, se recomienda la utilización de 5 emisores para cumplir con el humedecimiento mínimo requerido. Para este caso utilizan dos tuberías laterales por hilera. Cuando se usan 8 goteros de 2 L h⁻¹, el porcentaje de humedecimiento respecto al marco de plantación es bastante similar al caso anterior y se consideran dos laterales por hilera. El inconveniente que presenta esta última alternativa es que se requiere un elevado número de goteros, con similares características técnicas que los goteros de 4 L h⁻¹, que lo hace poco práctico desde el punto de vista técnico-económico.

La Tabla 10 muestra los resultados correspondientes al costo total anualizado, para una superficie de 13,73 ha con goteros de 2, 4 o 8 L h⁻¹, para el estudio de caso. En general se puede establecer que los goteros autocompensados dan valores de costo total anualizado mayores que los no autocompensados. Lo anterior se debe fundamentalmente a que el rango de autocompensación es diferente para cada emisor y que las presiones son superiores en general a los emisores no autocompensados, además de tener mayores costos de adquisición. Sin embargo, para goteros de caudal equivalente a 4 L h⁻¹ el menor valor se obtiene para emisores autocompensados, aunque las variaciones entre ellos es pequeña.

Es importante mencionar que los tres emisores seleccionados cubren los requerimientos técnicos del cultivo, bajo

condiciones económicas relativamente similares, por lo que es posible seleccionar el emisor considerando otros antecedentes o criterios que quiera incorporar el diseñador.

CONCLUSIONES

1. El análisis técnico económico en la selección de emisores es un proceso de gran importancia para lograr un adecuado diseño de los sistemas de microriego.
2. En la selección de los emisores es importante considerar los costos variables, ya que son superiores a los costos fijos anualizados; y su valor se incrementa con el aumento de la presión de trabajo de los emisores y con el costo de la energía.
3. Emisores que tengan una vida útil menor a 7 años muestran un marcado efecto en los costos fijos y totales anualizados de un equipo de riego por goteo.
4. En general los goteros no autocompensados presentan menores costos totales anualizados para condiciones similares de presión que los autocompensados.

LITERATURA CITADA

- Beas, R. C. F. Evaluación de diferentes tipos de goteros. Memoria de Título, Ing. Civil Agrícola. Chillán: Univ. de Concepción, Fac. Ing. Agrícola, Depto. Riego y Drenaje. 2001. 73p.
- Fereres, E. C. Requerimientos hídricos. En: Curso Internacional Manejo del agua en frutales. Chillán: Univ. de Concepción, Depto Riego y Drenaje. 1990. 202p.

- Holzapfel, E. A. Riego por goteo y microaspersión. En: Riego Presurizado. Chillán: Univ. de Concepción, Fac. Ing. Agrícola, Depto. de Recursos Hídricos. 1997. 21p.
- Holzapfel, E. A.; Hepp, A. R. F.; Mariño, M. A. Effect of irrigation on fruit production in blueberry. *Agricultural Water Management*. Amsterdam, v.67, n.3, p.173-184. 2004.
- Holzapfel, E. A.; Jara, J.; Matta, R. Nivel de agua aplicado y fertirrigación bajo riego por goteo en cítricos. *Agro-Ciencia*. Chillán, v.17, p.20-31. 2001.
- Holzapfel, E. A., Merino, R.; Mariño, M. A.; Matta, R. Water production function in kiwi. *Irrigation Science*. Heidelberg, v.19, n.2, p.73-80. 2000.
- Karmeli, D., Peri, G.; Todes, M. *Irrigation Systems: Design and operation*. Oxford University Press. Cape Town, England. 1985. 187p.
- Lopez, J. R. Riego localizado II. *Programas informáticos*. 2. ed. Madrid: Mundi Prensa. 1996. 246p.
- Lopez, J. R. Hernández Abreu, L. M.; Pérez regalato, A.; Gonzalez Hernandez, J. F. Riego localizado. Madrid: Mundi Prensa. 1992. 405p.
- Medina San Juan, J. A. Riego por goteo teoria y practica. (4. ed.). Madrid: Mundi Prensa. 1997. 302p
- Oster, J. D.; <http://www.springerlink.com/content/bx3861np7hmn24rm/> – ContactOfAuthor1 Wichelns, D. Economic and agronomic strategies to achieve sustainable irrigation. *Irrigation Science*. Heidelberg, v.22, n.3-4, p.107-120. 2003.
- Pandey, A., Rajput, G. S.; Shrivastava, S. K. Effect of drip Irrigation on soil moisture distribution in clay soils of Madhya Pradesh – A case study. *Indian Journal Soil Conservation*. Dehradun, v.31, n.3, p.248-252, 2003
- Pedras, C. M. G.; Pereira, L. S. A simulation model for design and evaluation of micro-irrigation systems. *Journal of Irrigation and Drainage*. ASCE, New York, v.50, n.4, p.323-334, 2001.
- Valiantzas, J. D. Explicit hydraulic design of microirrigation submain units with tapered tanifold manifold and laterals. *Journal of Irrigation and Drainage*. ASCE, New York, v.129, n.4, p.227-236, 2003.
- Zazueta, F. R. *Micro Irrigacion*. ICFA International, Inc. México D.F., México. 1992. 205 p.
- Zur B. Wetted soil volume as design objective in trickle irrigation. *Irrigation Science*. Heidelberg, v.16, p.101-105, 1996.