

ESTIMATIVA DE LARGURA E PROFUNDIDADE DE BULBO MOLHADO EM SOLOS DE TEXTURA MÉDIA SOB IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO SUPERFICIAL

Sérgio Luiz Aguilar Levien¹; Cleusirene Alves da Silva²; Celsemy Eleutério Maia³; José Francismar de Medeiros⁴

1 Engenheiro Agrícola, D.Sc., Programa de Pós-Graduação em Irrigação e Drenagem, Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró, RN (sergiolevien@ufersa.edu.br)

2 Engenheira Agrônoma, Bolsista CAPES, Programa de Pós-Graduação em Irrigação e Drenagem, UFERSA, Mossoró, RN (cleu_alves@hotmail.com)

3 Engenheiro Agrônomo, D.Sc., Programa de Pós-Graduação em Irrigação e Drenagem, UFERSA, Mossoró, RN (celsemy@ufersa.edu.br)

4 Engenheiro Agrônomo, D.Sc., Bolsista de Pesquisa CNPq, Programa de Pós-Graduação em Irrigação e Drenagem, UFERSA, Mossoró, RN (jfmedeir@ufersa.edu.br)

RESUMO

Na área de fruticultura irrigada do Agropolo Assu-Mossoró, uma das mais importantes no semiárido brasileiro, predomina sistemas de irrigação localizada, principalmente por gotejamento superficial, visando maximizar o uso da água. As dimensões do bulbo molhado, formado a partir do ponto de emissão de água, dependem da vazão do emissor, do tempo de aplicação, da condutividade hidráulica do solo, da umidade inicial e da estratificação das camadas do solo. Com esses dados se define a dose e frequência da irrigação, o número de gotejadores e o espaçamento entre eles e o dimensionamento hidráulico. Neste contexto, desenvolveu-se este trabalho para modelar os efeitos da vazão do ponto de emissão superficial e do tempo de aplicação de água sobre a formação do bulbo molhado em solos de textura média utilizados para fruticultura irrigada no Agropolo Assu-Mossoró.

PALAVRAS-CHAVE: Semiárido, movimento de água no solo, manejo da irrigação, modelos empíricos, volume de solo molhado

ESTIMATION OF WIDTH AND DEPTH OF WETTED BULB IN MEDIUM TEXTURED SOILS UNDER SURFACE DRIP IRRIGATION

ABSTRACT

In the Assu-Mossoró region, one of the most important fruit crop producing areas in the Brazilian semi-arid, most irrigation systems are localized type, mainly surface drip systems, which maximize water use. Dimensions of wetted soil volume, formed from a point-source, depend on the emitter discharge rate, application time, soil hydraulic conductivity, initial soil moisture and on characteristics of soil layers. Those data are used to define irrigation amount and frequency, emitter number and spacing and hydraulic design. This work was carried out to model the effects of emitter discharge

rate and water application time on wetted volume formed in medium textured soils under irrigated fruit crops of Assu-Mossoró region.

KEYWORDS: Semi-arid, soil water movement, irrigation management, empirical models, wetted soil volume

INTRODUÇÃO

O Semiárido do Nordeste do Brasil, que é diversificado nos seus recursos naturais e complexo na convivência do homem com o clima seco e quente, apresenta duas características muito marcantes: acentuada irregularidade de chuvas e uma abundante oferta de luz todo o ano. Se, por um lado, é fator limitante para a produção agrícola, por outro existem áreas com boa disponibilidade de água superficial e subterrânea, bem como recursos de solo apropriados para desenvolver a agricultura irrigada em condições competitivas com outras regiões semiáridas do mundo.

A irrigação tem se constituído num importante instrumento de desenvolvimento regional, devido à geração de empregos, novas alternativas de exploração agrícola, aumento de produtividade e viabilização da agricultura como opção de investimento.

A utilização eficiente da água está se tornando cada vez mais importante devido à escassez de recursos hídricos na região e ao elevado custo da energia, o que torna cada vez mais necessário o uso de metodologias apropriadas ao manejo racional do uso da água.

A região que compreende o Pólo de Desenvolvimento Agrícola Integrado Assu-Mossoró, localizada no oeste do Estado do Rio Grande do Norte, Brasil, apresenta bom potencial de solo e água, o que tem permitido se constituir numa das principais áreas irrigadas do Semiárido Nordeste do Brasil, respondendo com mais de 60% do melão produzido e exportado pelo país, além de diversas outras frutíferas e olerícolas, como: manga, banana, caju, melancia e coco.

Os solos predominantes na região, e que atualmente estão sendo utilizados na agricultura irrigada, são os solos classificados como Cambissolo, Luvisolo, Argissolo, Latossolo, Neossolo quartzarênico e Neossolo flúvico, de acordo com Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006).

A região apresenta como características a produção de frutas para exportação como melão em solos de origem calcária (Cambissolo e Luvisolo) e do Grupo Barreira (Neossolo quartzarênico e Latossolo) e banana e manga nos solos aluviais (Neossolo flúvico).

A irrigação tem demonstrado ser uma das alternativas para o desenvolvimento socioeconômico de regiões áridas e semiáridas e para aumentar a produtividade de várias culturas em regiões consideradas úmidas. No entanto, ela deve ser manejada racionalmente, sobretudo em regiões com escassez de chuvas, a fim de evitar problemas de salinização dos solos e de degradação dos recursos hídricos e edáficos, uma vez que as condições climáticas dessas regiões, muitas vezes, são extremamente favoráveis à ocorrência desses problemas.

Uma irrigação bem planejada e bem manejada será aquela capaz de aplicar água às culturas na quantidade correta, de acordo com as condições edafoclimáticas do lugar em questão e em condições aptas para sua distribuição homogênea a todas as plantas que serão irrigadas.

Devido às características da região do Agropolo, o método de irrigação mais utilizado nos últimos anos é a microirrigação, sendo o sistema de irrigação por gotejamento superficial o mais usado, com cerca de 75% da área irrigada.

A irrigação localizada ou microirrigação é especialmente adequada ao fornecimento de pequenas dotações com grande frequência, o que permite manter a maior parte do solo em boas condições de arejamento e de umidade, evitando-se o stress hídrico. Os sistemas de irrigação localizado podem ser projetados para operar em praticamente todo o tipo de topografia do terreno (KELLER & BLIESNER, 1990; RODRIGO LÓPEZ et al., 1992; MEDINA SAN JUAN, 2000; PEREIRA, 2004; BERNARDO et al., 2006; HOFFMAN et al., 2007; LAMM et al., 2007).

A água aplicada por gotejamento sobre a superfície do solo infiltra-se e se redistribui vertical e transversalmente resultando um volume molhado em forma de bulbo ao redor da planta (KELLER & BLIESNER, 1990; RODRIGO LÓPEZ et al., 1992; PEREIRA, 2004).

O bulbo molhado formado no solo é afetado pela umidade inicial do solo, pela vazão do emissor, pelas frequência e duração da irrigação, pelo movimento capilar da água e pela capacidade de retenção de água pelo solo. O emissor cria padrões de molhamento no solo que determinam o tamanho e forma da zona radicular da cultura (EVAN et al., 2007).

As dimensões do bulbo molhado podem ser determinadas ou estimadas de várias formas, usando métodos analíticos, numéricos, empíricos ou fazendo ensaios de campo. Cada um destes métodos requer uma maior ou menor complexidade de resolução e de obtenção dos dados, conferindo-lhes particularidades que devem ser analisadas antes da escolha de qual utilizar (ZAZUETA RANAHAAN, 1992).

Os métodos empíricos representam uma forma aproximada de determinar as dimensões do bulbo, utilizando informações do processo de irrigação, tais como vazão do gotejador e condutividade hidráulica do solo. Como exemplo, pode-se citar o modelo de SCHWARTZMAN & ZUR (1986), que estabelece equações para a determinação da profundidade vertical e do diâmetro horizontal do bulbo molhado. Deve-se considerar, entretanto, que este modelo utilizou os resultados de simulações para dois tipos de solo, apresentados em BRESLER (1978), sendo recomendação dos próprios autores que se realizem outros testes em campo, visando a adaptação do modelo a outras condições. Outro exemplo é o modelo de LI et al. (2004) que desenvolveram, em um experimento, em laboratório, com dois solos, modelos empíricos que servem para ser aplicados no dimensionamento da irrigação por gotejamento.

Os ensaios de campo normalmente consistem em escavar uma trincheira através do centro do bulbo molhado e medir diretamente suas dimensões. Os emissores, sob os quais serão escavadas as trincheiras, devem ser escolhidos de forma a serem representativos dos utilizados em toda a área irrigada. Embora os resultados sejam confiáveis, demandam demasiado tempo, esforço físico e custo.

A informação, em nível de Brasil, sobre dimensões (medidas sistemáticas) de bulbos molhados obtidas em equipamentos de irrigação localizada e diferentes solos é quase inexistente. Podem ser citados trabalhos como o de MEDEIROS et al. (2004) e LEVIEN & MIRANDA (2006), que foram desenvolvidos em áreas de fruticultura irrigada no Agropolo Assu-Mossoró.

MEDEIROS et al. (2004) desenvolveram seu trabalho para estudar os efeitos da vazão do ponto de emissão superficial e do tempo de aplicação de água sobre a

formação do bulbo molhado em diferentes solos utilizados para fruticultura irrigada no Agropolo Assu-Mossoró. Os estudos foram realizados em seis solos representativos da região nos quais as atividades desenvolvidas foram: descrição morfológica, caracterização física, determinação da curva de retenção de água, instalação de perfis instantâneos para obter a função $K(\psi)$, além da simulação de vazões e tempos de aplicação através de um sistema portátil de irrigação por gotejamento superficial. O delineamento experimental, utilizado em cada solo, foi blocos inteiramente casualizados no esquema de parcelas subdivididas com três repetições. As parcelas foram os tempos de aplicação (1.0, 2.0, 4.0 e 7.0 h) e as sub-parcelas foram as vazões (1.0, 2.0, 4.0 e 8.0 L h⁻¹). Após a aplicação do volume de água por cada ponto de emissão, foram abertas trincheiras no centro de cada bulbo. Foi medida a largura do bulbo em diferentes profundidades. Com os dados obtidos os autores determinaram o diâmetro máximo e a profundidade máxima do bulbo, e a esses dados foram ajustados modelos matemáticos empíricos para descrever a forma dos bulbos, que permitem calcular o volume dos bulbos em função da vazão dos emissores e do tempo de aplicação de água.

Baseado no exposto se faz necessário o desenvolvimento e difusão de tecnologia para o manejo da irrigação utilizada na região visando à otimização do insumo água para as diversas condições da fruticultura irrigada da região.

Nesse contexto, o objetivo desse trabalho foi desenvolver modelos empíricos relacionando as dimensões (largura e profundidade) do bulbo molhado formado pela irrigação por gotejamento superficial, em solos de textura média utilizados na agricultura irrigada do Agropólo Assu-Mossoró, com diferentes vazões de emissores e tempos de aplicação de água.

METODOLOGIA

Para estudar o comportamento da formação do bulbo, em cada solo, MEDEIROS et al. (2004) realizaram medições dos diâmetros em diferentes profundidades para cada vazão e cada tempo de aplicação de água, em cada repetição. Os dados de cada solo foram tabulados e, para cada vazão e cada tempo, foram determinados os valores médios, para as três repetições, de diâmetro máximo e profundidade máxima (Tabelas 1, 2 e 3). As unidades usadas nos dados trabalhados foram: q (vazão, em L h⁻¹), t (tempo de aplicação, em h), V (volume aplicado, em L), W_{\max} (diâmetro máximo, em m) e Z_{\max} (profundidade máxima, em m).

TABELA 1. Valores médios de diâmetro máximo (W_{max}) e profundidade máxima (Z_{max}) do bulbo molhado gerado, em função da vazão (q), do tempo de aplicação de água (t) e do volume aplicado de água (V), sob irrigação por gotejamento superficial: Luvissole Crômico, textura franco-argilo-arenosa

q (L h ⁻¹)	t (h)	V (L)	W_{max} (m)	Z_{max} (m)
1.0	1.0	1.0	0.253	0.163
	2.0	2.0	0.305	0.197
	4.0	4.0	0.362	0.262
	7.0	7.0	0.422	0.327
2.0	1.0	2.0	0.337	0.213
	2.0	4.0	0.400	0.278
	4.0	8.0	0.458	0.353
	7.0	14.0	0.557	0.437
4.0	1.0	4.0	0.402	0.280
	2.0	8.0	0.483	0.370
	4.0	16.0	0.595	0.445
	7.0	28.0	0.765	0.627
8.0	1.0	8.0	0.480	0.325
	2.0	16.0	0.590	0.420
	4.0	32.0	0.743	0.517
	7.0	56.0	0.963	0.673

Fonte: MEDEIROS et al. (2004)

TABELA 2. Valores médios de diâmetro máximo (W_{max}) e profundidade máxima (Z_{max}) do bulbo molhado gerado, em função da vazão (q), do tempo de aplicação de água (t) e do volume aplicado de água (V), sob irrigação por gotejamento superficial: Argissolo Vermelho-Amarelo, textura argilo-arenosa

q (L h ⁻¹)	t (h)	V (L)	W_{max} (m)	Z_{max} (m)
1.0	1.0	1.0	0.265	0.173
	2.0	2.0	0.308	0.210
	4.0	4.0	0.390	0.283
	7.0	7.0	0.467	0.377
2.0	1.0	2.0	0.330	0.203
	2.0	4.0	0.400	0.303
	4.0	8.0	0.483	0.403
	7.0	14.0	0.610	0.483
4.0	1.0	4.0	0.403	0.297
	2.0	8.0	0.503	0.390
	4.0	16.0	0.697	0.487
	7.0	28.0	0.880	0.567
8.0	1.0	8.0	0.463	0.383
	2.0	16.0	0.633	0.467
	4.0	32.0	0.803	0.680
	7.0	56.0	1.083	0.880

Fonte: MEDEIROS et al. (2004)

TABELA 3. Valores médios de diâmetro máximo (W_{\max}) e profundidade máxima (Z_{\max}) do bulbo molhado gerado, em função da vazão (q), do tempo de aplicação de água (t) e do volume aplicado de água (V), sob irrigação por gotejamento superficial: Latossolo Vermelho, textura franco-argilo-arenosa

q (L h ⁻¹)	t (h)	V (L)	W_{\max} (m)	Z_{\max} (m)
1.0	1.0	1.0	0.223	0.152
	2.0	2.0	0.270	0.200
	4.0	4.0	0.360	0.257
	7.0	7.0	0.430	0.320
2.0	1.0	2.0	0.282	0.220
	2.0	4.0	0.358	0.297
	4.0	8.0	0.483	0.373
	7.0	14.0	0.613	0.447
4.0	1.0	4.0	0.397	0.290
	2.0	8.0	0.483	0.357
	4.0	16.0	0.643	0.383
	7.0	28.0	0.777	0.590
8.0	1.0	8.0	0.455	0.365
	2.0	16.0	0.607	0.463
	4.0	32.0	0.843	0.593
	7.0	56.0	0.930	0.863

Fonte: MEDEIROS et al. (2004)

Neste trabalho foram agrupados os três solos estudados por MEDEIROS et al. (2004) e denominados de solo de textura média, sendo usado para gerar modelos empíricos, do tipo potencial, das dimensões do bulbo (largura e profundidade) em função da vazão aplicada para cada tempo de aplicação de água, bem como para as dimensões em função do tempo de aplicação para cada vazão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Segundo MEDEIROS et al. (2004) o estudo de análise de variância para diâmetro máximo e profundidade máxima do bulbo molhado, indica que os fatores, tempo de aplicação e vazão, isolados, foram significativos, bem como houve interação entre eles, em nível de significância de 5% de probabilidade, ou seja, o comportamento dessas dimensões com o tempo foi diferente do comportamento apresentado entre as vazões do emissor.

Os solos de textura média foram aglutinados em uma única tabela (Tabela 4), considerando as médias dos dados observados (Tabelas 1, 2 e 3).

TABELA 4. Valores médios de diâmetro máximo (W_{\max}) e profundidade máxima (Z_{\max}) do bulbo molhado gerado, em função da vazão (q), do tempo de aplicação de água (t) e do volume aplicado de água (V), sob irrigação por gotejamento superficial: solo de textura média

q (L h ⁻¹)	t (h)	V (L)	W_{\max} (m)	Z_{\max} (m)
1.0	1.0	1.0	0.247	0.163
	2.0	2.0	0.294	0.202
	4.0	4.0	0.371	0.267
	7.0	7.0	0.440	0.341
2.0	1.0	2.0	0.316	0.212
	2.0	4.0	0.386	0.293
	4.0	8.0	0.475	0.376
	7.0	14.0	0.593	0.456
4.0	1.0	4.0	0.401	0.289
	2.0	8.0	0.490	0.372
	4.0	16.0	0.645	0.438
	7.0	28.0	0.807	0.595
8.0	1.0	8.0	0.466	0.358
	2.0	16.0	0.610	0.450
	4.0	32.0	0.796	0.597
	7.0	56.0	0.992	0.805

Fonte: os autores

Considerando-se que houve interação entre q e t para as variáveis W_{\max} e Z_{\max} , para os solos estudados (MEDEIROS et al., 2004), e analisando os dados apresentados nas tabelas anteriores, pode-se relacionar as dimensões do bulbo formado (W_{\max} e Z_{\max}) em função da vazão aplicada pelos emissores (q), para cada tempo de aplicação, e em função do tempo de aplicação de água (t), para cada vazão, gerando modelos empíricos. Foram ajustados modelos de diâmetro máximo (W_{\max}) e profundidade máxima (Z_{\max}) do bulbo molhado, assumindo que os valores de W_{\max} e Z_{\max} seguem o modelo potencial, tanto em função de q como de t .

Os modelos assumidos foram do tipo:

$$y = a \cdot x^b \quad (1)$$

em que, y é a variável dependente; x é a variável independente; e a e b são parâmetros do modelo.

Os modelos ajustados, para o solo de textura média, foram:

- para $q = 1,0$:

$$W_{\max} = 0,2440 \cdot t^{0,2999}, \text{ e } R^2 = 0,9969 \quad (2)$$

$$Z_{\max} = 0,1594 \cdot t^{0,3820}, \text{ e } R^2 = 0,9949 \quad (3)$$

- para $q = 2,0$:

$$W_{\max} = 0,3123 \cdot t^{0,3194}, \text{ e } R^2 = 0,9943 \quad (4)$$

$$Z_{\max} = 0,2167 \cdot t^{0,3910}, \text{ e } R^2 = 0,9946 \quad (5)$$

- para $q = 4,0$:

$$W_{\max} = 0,3923 \cdot t^{0,3631}, \text{ e } R^2 = 0,9943 \quad (6)$$

$$Z_{\max} = 0,2866 \cdot t^{0,3540}, \text{ e } R^2 = 0,9768 \quad (7)$$

- para $q = 8,0$:

$$W_{\max} = 0,4659 \cdot t^{0,3878}, \text{ e } R^2 = 1,000 \quad (8)$$

$$Z_{\max} = 0,3477 \cdot t^{0,4140}, \text{ e } R^2 = 0,9893 \quad (9)$$

- para $t = 1,0$:

$$W_{\max} = 0,2521 \cdot q^{0,3088}, \text{ e } R^2 = 0,9888 \quad (10)$$

$$Z_{\max} = 0,1636 \cdot q^{0,3857}, \text{ e } R^2 = 0,9953 \quad (11)$$

- para $t = 2,0$:

$$W_{\max} = 0,2984 \cdot q^{0,3497}, \text{ e } R^2 = 0,9977 \quad (12)$$

$$Z_{\max} = 0,2124 \cdot q^{0,3807}, \text{ e } R^2 = 0,9765 \quad (13)$$

- para $t = 4,0$:

$$W_{\max} = 0,3712 \cdot q^{0,3752}, \text{ e } R^2 = 0,9955 \quad (14)$$

$$Z_{\max} = 0,2743 \cdot q^{0,3695}, \text{ e } R^2 = 0,9813 \quad (15)$$

- para $t = 7,0$:

$$W_{\max} = 0,4476 \cdot q^{0,3966}, \text{ e } R^2 = 0,9926 \quad (16)$$

$$Z_{\max} = 0,3411 \cdot q^{0,4099}, \text{ e } R^2 = 0,9994 \quad (17)$$

As unidades usadas nos modelos propostos são: W_{\max} (diâmetro máximo, em m), Z_{\max} (profundidade máxima, em m), q (vazão aplicada, em $L\ h^{-1}$) e t (tempo de aplicação de água, em h).

O importante para o uso dessas relações não são seus valores absolutos obtidos, pois eles irão depender da umidade inicial do solo, mas para se estabelecer a largura em função da profundidade que se deseja molhar. No caso das relações apresentadas, os valores de W_{\max} e Z_{\max} obtidos são para o solo inicialmente com a umidade próxima ao ponto de murcha permanente.

Os dados do formato do bulbo são importantes tanto para o dimensionamento como para o manejo do sistema de irrigação por gotejamento. Com tais informações é possível se prever a largura máxima do bulbo molhado, sabendo a profundidade que se deseja molhar. Desse modo se pode escolher, por ocasião do dimensionamento do sistema de irrigação, o melhor espaçamento entre emissores que proporcione a formação de uma faixa contínua, sem que haja uma sobreposição excessiva entre os bulbos formados. No manejo da irrigação, a relação entre largura e profundidade molhadas permite também se prever o volume de solo molhado conhecendo-se o volume de água a ser aplicado, a profundidade a ser umedecida e os dados de umidade atual e na capacidade de campo.

CONCLUSÃO

Os resultados apresentados possibilitam gerar um conjunto de novas informações essenciais aos produtores da região semiárida brasileira, possibilitando estabelecer um manejo racional da irrigação das culturas de interesse da mesma.

AGRADECIMENTOS

A CNPq e CAPES pela concessão das bolsas de Pesquisa e Mestrado.

REFERÊNCIAS

BERNARDO, S.; SOARES, A.A.; MANTOVANI, E.C. **Manual de irrigação**. 8 ed.. Editora UFV, Viçosa. 625p., 2006.

BRESLER, E. Analysis of trickle irrigation with application to design problems. **Irrigation Science**, v.1, p.3-17, 1978.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2 ed. EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Rio de Janeiro, 306p., 2006.

EVAN, R.G.; WU, I.; SMAJSTRALA, A.G. **Microirrigation systems**. In: HOFFMAN, G.J.; EVANS, R.G.; JENSEN, M.E.; MARTIN, D.L.; ELLIOTT, R.L. Design and operation of farm irrigation systems. 2 ed. ASABE, St. Joseph, p.632-683, 2007.

HOFFMAN, G.J.; EVANS, R.G.; JENSEN, M.E.; MARTIN, D.L.; ELLIOTT, R.L. **Design and operation of farm irrigation systems**. 2 ed. ASABE, St. Joseph, 850p., 2007.

KELLER, J.; BLIESNER, R.D. **Sprinkle and trickle irrigation**. Van Nostrand, New York, 652p., 1990.

LAMM, F.R.; AYARS, J.E.; NAKAYAMA, F.S. (ed.) **Microirrigation for crop production: design, operation and management**. Elsevier B.V. 618p., 2007

LEVIEN, S.L.A.; MIRANDA, N.O. **Caracterização da dinâmica da água em solos irrigados por gotejamento na região de fruticultura irrigada no Agropolo Assu-Mossoró**. Relatório Técnico, CNPq, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 46p., 2006.

LI, J.; ZHANG, J.; RAO, M. Wetting patterns and nitrogen distributions as affected by fertigation strategies from a surface point source. **Agricultural Water Management**, v.67, p.89-104, 2004.

MEDEIROS, J.F.; LEVIEN, S.L.A.; MAIA, C.E. **Caracterização de bulbo úmido em solos utilizados na irrigação localizada na região de fruticultura irrigada no Agropolo Assu-Mossoró**. Relatório Técnico, CNPq, Escola Superior de Agricultura de Mossoró, Mossoró, 89p., 2004.

MEDINA SAN JUAN, J.A. **Riego por goteo: teoría y práctica**. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, 302p., 2000.

PEREIRA, L.S. **Necessidades de água e métodos de rega**. Publicações Europa-América, Mem Martins, Portugal, 312p., 2004.

RODRIGO LÓPEZ, J.; HERNÁNDEZ ABREU, J.M.; PEREZ REGALADO, A.; GONZALEZ HERNANDEZ, J.F. **Riego localizado**. MAPA-YRIDA, Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, 405p., 1992.

SCHWARTZMAN, M.; ZUR, B. Emitter spacing and geometry of wetted soil volume. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v.112, p.242-253, 1986.

ZAZUETA RANAHAN, F.S. **Micro irrigación**. ICFA International, México, 250p, 1992.