

UTILIZAÇÃO DE MATERIAIS FLUTUANTES NO CONTROLE DA EVAPORAÇÃO NO TRÓPICO SEMI-ÁRIDO (TSA)¹

EVERALDO ROCHA PORTO², MALAQUIAS DA SILVA AMORIM NETO³
e DANIEL DELFINO DA SILVA⁴

RESUMO - Materiais flutuantes foram testados em tanques tipo Classe A, com o objetivo de reduzir as perdas por evaporação das superfícies livres d'água. As coberturas consistiram de discos impermeáveis compostos de vermiculita, parafina e cera de carnaúba (*Copernicia cerifera* Mart.); esferas de barro vitrificadas; esferas de barro não vitrificadas; e discos de isopor impregnados de uma mistura de cera de carnaúba mais parafina derretida. Cada tratamento cobriu 80% da superfície exposta do tanque, apresentando os seguintes resultados no controle das perdas: 54%, 60%, 50% e 61% respectivamente. A eficiência apresentada indicou que as coberturas empregadas poderão ser viáveis.

Termos para indexação: *Copernicia cerifera*, esferas de barro vitrificadas, discos de isopor, cera de carnaúba, vermiculita.

USE OF FLOATING MATERIALS FOR EVAPORATION CONTROL IN THE SEMI-ARID TROPIC

ABSTRACT - Floating materials were tested in Class A evaporation pans for reducing evaporation losses from free water surfaces. The covering materials consisted of impermeable disks of vermiculite covered with parafine and palm (*Copernicia cerifera* Mart.) wax; vitrified clay spheric balls; clay spheric balls without vitrification; and styrofoam disks rendered impermeable by a mixture of palm wax and melted parafine. Each of these treatments covered 80% of the exposed surface of the evaporation pan and controlled 54%, 60%, 50% e 61% of evaporation losses, respectively. These results clearly show that all these covers are viable in controlling evaporation losses.

Index terms: *Copernicia cerifera*, clay spheric balls, styrofoam disks, palm wax, vermiculite.

INTRODUÇÃO

A região do Trópico Semi-Árido (TSA) apresenta características meteorológicas que resultam em alta evaporação. A radiação solar - que incide com grande intensidade, especialmente no período chuvoso - e grandes velocidades do vento na época seca, implicam que a evaporação anual da região seja intensa, contribuindo para que aconteçam perdas anuais superiores a 2.500 mm.

Diversos pesquisadores têm desenvolvido trabalhos tentando encontrar alternativas para controle de evaporação. Barros et al. (1981), utilizando tanques cobertos com isopor, parafina e plantas aquáticas (*Pistia stratiotes* L.), observaram redução da ordem de 28,1% e 8% nos dois primeiros tratamen-

tos e um aumento de 3,9% com o terceiro tratamento. Observações feitas nesse trabalho evidenciaram a dificuldade, na prática, da aplicação de parafina em açudes e barreiros. Por sua vez, por causa da porosidade do isopor, o seu uso *in natura* apresenta baixa eficiência.

Myres & Frasier (1970), estudando a redução da evaporação com materiais flutuantes granulares brancos - os quais resfriam a água por refletir a radiação de ondas curtas -, obtiveram uma redução variando de 21% para areia repelente a água a 17% para partículas de isopor, enquanto pedaços de polietileno reduziram a evaporação em 39% para um período de seis meses. Cooley & Cluff (1972), usando perlita de minério, reduziram a evaporação em 19%. Crow (1973) evidencia que o controle da evaporação com produtos químicos apresenta uma eficiência de 35% a 40% mas é seriamente afetado pelo vento. Outros trabalhos, conduzidos por Cooley (1970), Cooley & Fink (s.n.t.), Cooley & Myres (1973), Cooley et al. (1973), Cooley (1975), Michelena (1981) e Cooley (1983), procuraram reduzir as perdas por evaporação da superfície d'água com a utilização de ma-

¹ Aceito para publicação em 20 de maio de 1985.

² Eng. - Agr., M.Sc., EMBRAPA/Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido (CPATSA), BR 428, km 152, Caixa Postal 23, CEP 56300 Petrolina, PE.

³ Meteorologista, M.Sc., EMBRAPA/CPATSA.

⁴ Eng. - Agrícola, Bolsista CNPq/EMBRAPA/CPATSA.

teriais flutuantes, variação de coloração da água, quebra-ventos e sombreamento da superfície d'água.

Vários trabalhos de pesquisa já foram desenvolvidos numa tentativa de reduzir as perdas por evaporação, através de materiais líquidos e sólidos de baixa densidade. A maioria desses trabalhos têm demonstrado limitações de ordem prática (execução) e econômica. Todavia, deve ser considerado que a redução das perdas por evaporação é a forma de se conseguir um excedente de água sem os investimentos com transporte, escavação e bombeamento, e que, além disso, apresenta as vantagens de eliminar os riscos da tentativa de nova fonte de água e a redução do perigo de ocorrência do processo de salinização.

O objetivo desta pesquisa foi avaliar a eficiência de diferentes materiais flutuantes na redução das perdas por evaporação das águas armazenadas superficialmente.

MATERIAL E MÉTODOS

Este experimento faz parte do projeto "Controle de perdas de água por evaporação", em execução no Campo Experimental da Caatinga, do Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido (CPATSA), localizado no município de Petrolina, PE, em torno das coordenadas geográficas: Latitude 09°05'S, Longitude 40°24'W e Altitude 379 m.

A área experimental é de 1.000 m², onde foram instalados cinco tanques de evaporação tipo Classe 'A' padrão, utilizando um novo sistema de medidas de evaporação desenvolvido por Amorim Neto & Villa Nova (1983). Os tanques estão dispostos em duas linhas espaçadas de 8 m x 9 m entre linhas e tanques, respectivamente, de modo que um tanque não exerça influência sobre outro.

Um tanque foi utilizado como testemunha, e nos quatro restantes foram colocadas coberturas de materiais flutuantes cobrindo a maior parte possível da área.

Os tratamentos usados nos tanques com coberturas foram os seguintes:

Tratamento 1

Discos impermeáveis, compostos de vermiculita, parafina e cera de carnaúba, num total de 183, com área circular de 50 cm², espessura 1,5 cm, cobrindo 80,4% da superfície exposta do tanque. A proporção de vermiculita usada para cera de carnaúba mais parafina foi de 1:1 (60 ml de vermiculita/para 60 ml de cera mais parafina). A percentagem de cera e parafina foi de 25 para 75%, respectivamente.

Para confecção dos discos foram utilizadas formas circulares de alumínio. A quantidade de cera e parafina foram pesadas em separado e em seguida misturadas e derretidas à temperatura de 100°C. A vermiculita foi medida com um "becker", e em seguida a mistura diluída foi colocada, aos poucos, na proporção descrita acima.

Tratamento 2

Esferas de barro vitrificadas, ocas, num total de 60, diâmetro externo 14 cm, área circular 153,9 cm², espessura da parede 0,5 cm, queimadas a 1.100°C, cobrindo 80,7% da superfície exposta do tanque.

Construiu-se um molde de madeira que serviu de matriz para confeccionar moldes de gesso, que foram utilizados na fabricação das esferas. Uma mistura de argila, água e silicato de sódio foi usada como matéria-prima colocada nos moldes. Após as esferas estarem prontas, eram retiradas e postas a secar à temperatura ambiente. Em seguida eram colocadas em forno elétrico com temperatura de 1.100°C, para serem cozidas. Após o cozimento, foi aplicada uma substância para vitrificar as esferas, deixando-as com a porosidade praticamente reduzida a zero.

Tratamento 3

Esferas de barro não vitrificadas, ocas, num total de 60, com dimensões similares às das esferas vitrificadas, e cobrindo a mesma percentagem da superfície exposta do tanque (80,7%). O material e o método utilizados na confecção foram os mesmos das esferas vitrificadas, diferenciando-se apenas pela não-utilização da substância vitrificante.

Tratamento 4

Discos de isopor, num total de 148, diâmetro de 8,8 cm, área circular de 60,8 cm², espessura 2 cm, cobrindo 78,6% da superfície exposta do tanque, e impregnadas com uma mistura de cera de carnaúba mais parafina derretida (percentagem de 25% para 75%, respectivamente).

Folhas de isopor com 2 cm de espessura foram divididas em discos com as dimensões acima, e, em seguida, mergulhadas na mistura diluída de cera mais parafina a baixa temperatura, com o objetivo de reduzir a porosidade do isopor.

As medidas de evaporação dos tanques foram feitas, diariamente, às 7:30 h, para que houvesse maior padronização dos dados. Inicialmente, com os tanques sem cobertura, foram feitas leituras no intuito de verificar diferenças entre eles.

Para verificar a existência de diferenças significativas entre os tratamentos, a série de dados foi subdividida em totais por pentadas, aplicando-se o delineamento estatístico de blocos ao acaso com dois fatores completamente cruzados. Foram feitas análises econômicas para se determinar a viabilidade de utilização das coberturas em larga escala.

RESULTADOS

Os dados utilizados nas análises referem-se ao período de 07.03.83 a 29.02.84, correspondendo a 360 dias de observações, que envolveram as duas estações climáticas predominantes na região, a chuvosa e a seca.

Na Tabela 1 estão reunidos dados médios mensais de temperatura média diária (t), máxima diária (t_M) e mínima diária (t_m), umidade relativa média diária (UR), velocidade do vento diária a 50 cm da superfície do solo (Vv), radiação solar global diária (Rg) e total de precipitação mensal (P) com o respectivo número de dias chuvosos (U). Estes dados foram coletados na estação meteorológica do Campo Experimental de Bebedouro, localizada a 4 km de distância da área onde foi instalado o experimento, cujas coordenadas geográficas são: Latitude $09^{\circ}09'S$, Longitude $40^{\circ}22'W$ e Altitude 365,5 m. Em face da variabilidade espacial da precipitação, este dado foi coletado em um pluviômetro instalado próximo à área experimental.

Na Tabela 2 é apresentado, em percentagem, o total da superfície coberta por tratamento, a quantidade de água evaporada no período e a redução proporcionada pelo material utilizado, em relação à testemunha.

Na Fig. 1, os valores de redução da evaporação mensal em percentagem versus o tempo em meses fo-

ram plotados, para se ter melhor visão da variação temporal dos tratamentos.

A viabilidade econômica de utilização do material empregado no controle da evaporação foi verificada a partir da análise de custo apresentada na Tabela 3, onde se determinou o custo de cada tratamento por metro quadrado, a preço de março de 1984, bem como a redução real da evaporação em percentagem após os tratamentos terem-se estabilizado, e a quantidade de água retida de acordo com estes percentuais, em litro, por metro quadrado, no período de observação.

TABELA 2. Percentagem da superfície livre de água coberta, quantidade de água evaporada e redução da evaporação por tratamento, no período de 07.03.83 a 29.02.84.

Tratamentos	Superfície coberta (%)	Evaporação (mm/período)	Redução da evaporação (%)
Testemunha	0	3745	0
Discos de vermiculita	80	1692	55
Esféras vitrificadas	81	1527	59
Esféras de barro	81	1971	47
Discos de isopor	79	1194	69

TABELA 1. Dados climáticos da Estação Experimental de Bebedouro, de março de 1983 a fevereiro de 1984.

Mês	t ($^{\circ}C$)	t_M ($^{\circ}C$)	t_m ($^{\circ}C$)	UR (%)	Vv (m/s)	Rg Ly/dia	P (mm)	(U) (dias)
Março	27,4	32,5	23,0	69	0,7	469	115	12
Abril	28,3	31,5	21,2	60	0,7	469	4	1
Maio	28,3	33,3	20,6	62	0,8	458	0	0
Junho	27,0	31,5	19,0	71	0,9	410	0	0
Julho	26,2	31,0	18,7	62	1,2	440	17	0
Agosto	26,3	31,5	18,6	62	1,1	451	1	2
Setembro	28,8	34,2	20,3	62	0,8	498	0	0
Outubro	29,1	33,4	21,1	58	0,9	530	2	1
Novembro	30,6	35,0	22,8	51	0,9	634	83	3
Dezembro	29,6	33,8	22,8	53	1,1	464	13	2
Janeiro	29,5	33,9	22,2	57	0,8	523	10	2
Fevereiro	30,4	34,8	28,0	63	-	410	3	4

TABELA 3. Análise do custo do material e redução real da evaporação, após a estabilização dos tratamentos.

Tratamentos	Custo do material (*ORTN)/m ²	Redução real da evaporação (%)	Quantidade de água retida (l/m ²)
Discos de vermiculita	1,5	54	2.022
Esferas vitrificadas	1,4	60	2.247
Esferas de barro	1,1	50	1.872
Discos de isopor	0,6	61	2.284

* Obrigações Reajustáveis do Tesouro Nacional.

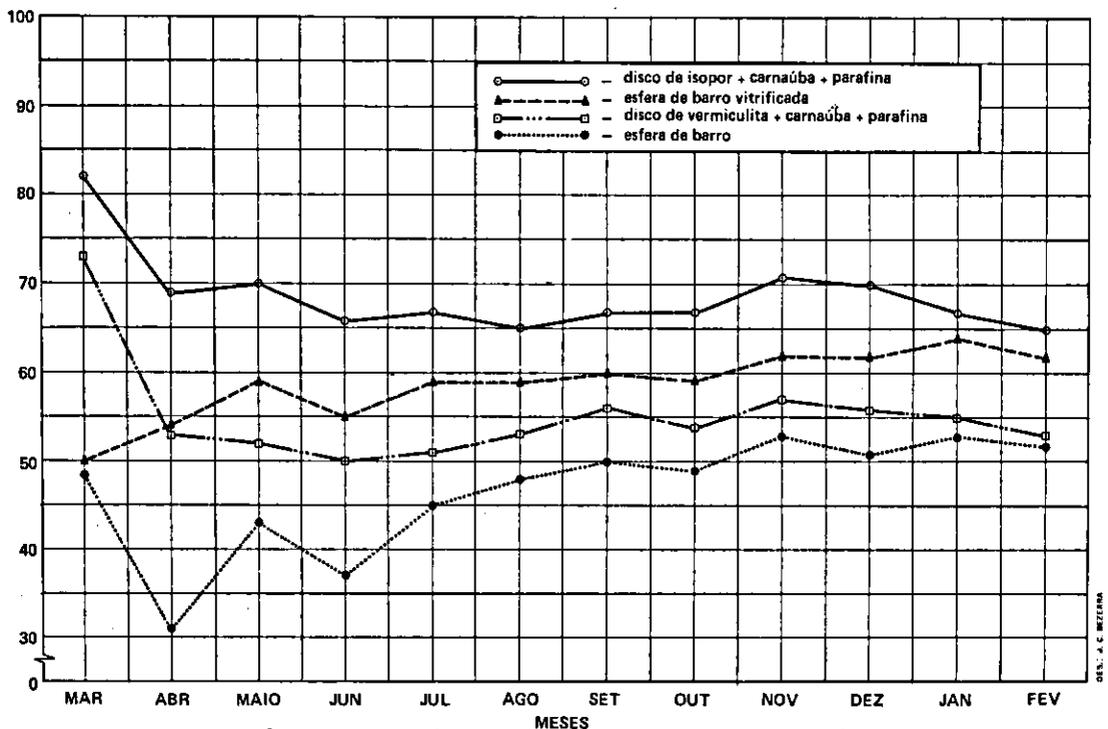


FIG. 1. Redução percentual da evaporação em relação a testemunha.

DISCUSSÃO

Os diferentes tratamentos utilizados apresentam cobertura da superfície líquida em torno de 80%. De maneira geral, os materiais empregados apresentam bons resultados, destacando-se o tratamento dos discos de isopor impregnados com a mistura de cera de carnaúba mais parafina derretida, que reduziu em 69% as perdas d'água. Em seguida, pela ordem, esferas de barro vitrificadas, com redução

em 59%, discos impermeáveis de vermiculita mais parafina e cera de carnaúba, com redução das perdas de água em 55%, e as esferas de barro, com redução em 47%. Tal ordem na redução é explicada pela albedo da superfície dos materiais flutuantes, porque, à medida que a cobertura reflete mais a radiação incidente, a evaporação diminui, em decorrência da redução da energia absorvida pela água, que seria liberada na forma de calor latente.

O tratamento 1, que utilizou discos impermeabilizados compostos de vermiculita, parafina e cera de carnaúba, após o primeiro mês de observação apresentaram uma redução média da evaporação, em torno de 54% (Tabela 3). Mesmo considerando-se o período total, o desvio padrão e o coeficiente de variação, em torno da média, mostram-se bastante baixos, com 6% e 10,9%, respectivamente.

O alto valor apresentado no primeiro mês de observação (73%) deve-se ao fato de que os discos, quando recém-confeccionados, tinham coloração clara, que proporcionava maior poder de reflexão da radiação solar incidente, reduzindo, assim, mais acentuadamente, a evaporação. Nos meses seguintes, observou-se um aumento da evaporação de, aproximadamente, 20% em relação ao primeiro mês, ocasionado pelo desgaste do material e aumento da porosidade dos discos. Isso ocorreu em virtude da intensa radiação solar incidente na região, que, reagindo com o material utilizado na cobertura da superfície da água, tornou-o mais escuro e poroso e, conseqüentemente, mais absorvedor da radiação incidente, que ocasionou o aumento da temperatura e da evaporação.

O tratamento 2, de esferas de barro vitrificadas, no decorrer do período de observação demonstrou uma eficiência de redução da evaporação aproximadamente constante, que pôde ser constatada pelos baixos desvio padrão (4%) e coeficiente de variação (6,8%). Isto deve-se ao fato de a substância empregada para reduzir a porosidade das esferas não sofrer deterioração pelos efeitos do meio ambiente, mantendo-se em perfeito estado durante o período observado. Pelo fato de a coloração da substância utilizada na vitrificação das esferas ser escura (absorvedora da radiação), a redução ficou em torno de 60%. No entanto, utilizando uma substância de cor mais clara (maior refletora da radiação), podem-se obter melhores resultados no controle da evaporação.

O tratamento 3, de esferas de barro sem emprego de nenhuma substância para reduzir a porosidade, apresentou-se instável nos quatro primeiros meses, ora aumentando a redução da evaporação, ora diminuindo-a. Tal fato é explicado pelas porosidades das esferas novas que absorvem água e for-

mam, por capilaridade, um fluxo hídrico para a atmosfera. A instabilidade na demanda hídrica é explicada pelo efeito das oscilações dos elementos climáticos que afetam a evaporação, principalmente radiação solar, vento, e umidade atmosférica. Após o quarto mês de observação, com a redução da porosidade das esferas, a demanda estabilizou-se em torno de 50%. Isso ocorreu em virtude da qualidade da água utilizada no experimento, proveniente de um rio, não sendo, portanto, pura. Deduz-se que as partículas de solo existentes na água contribuíram para redução dos poros. As irregularidades verificadas ao longo do período contribuíram para que os valores do desvio padrão (6,8%) e do coeficiente de variação (14,5%) fossem superiores aos dos demais tratamentos.

O Tratamento 4, de discos de isopor impregnados com a mistura de cera de carnaúba mais parafina, apresentou a melhor eficiência no controle da evaporação: em torno de 68%. Esse comportamento é explicado por sua cor branca, que tem alto poder de reflexão da radiação solar incidente. A discrepância observada no primeiro mês de observação com uma redução de 84% deve-se ao fato de que, como nos discos de vermiculita, estes discos, quando confeccionados, tiveram a porosidade bastante baixa. No entanto, quando submetidos aos efeitos do meio ambiente, a mistura de cera de carnaúba mais parafina que foi impregnada no isopor começou a desagregar-se, aumentando a porosidade e adquirindo uma cor mais escura. Porém, estas alterações não afetaram significativamente os resultados, como pode ser observado pelo baixo desvio padrão de 5,1% e coeficiente de variação de 7,4%.

A viabilidade de utilização dos tratamentos em larga escala pode ser verificada pela determinação do custo de cada cobertura por metro quadrado, pela redução real da evaporação, em percentagem, e pela quantidade de água retida no período (360 dias), em litro por metro quadrado. Em termos de eficiência no controle da evaporação, todos os tratamentos demonstraram viabilidade, por reduzirem as perdas em mais de 50%, retendo apreciável volume de água, superior a 1.800 l/m^2 . Do ponto de vista econômico, a aplicação da cobertura em grandes superfícies livres de água torna-se por de-

mais onerosa, visto que o tratamento mais econômico a preço de março de 1984, o com discos de isopor, custou 0,6 ORTN por metro quadrado.

Por outro lado, em alguns tratamentos foram observados problemas técnicos na utilização. Nos discos de isopor, com o passar do tempo, a mistura de parafina mais a cera de carnaúba impregnada desgastou-se, a ponto de soltar-se completamente do disco, tornando-o mais vulnerável à ação do vento, por tornar a cobertura muito leve. As esferas de barro necessitam, para sua confecção, de mão-de-obra especializada de forno que suporte temperatura em torno de 1.200°C, para o seu cozimento, e de um bom tipo de argila, que não é comum na área do TSA. No entanto, apesar desses problemas e do alto custo (1,1 ORTN)/m², apresentou-se como o material mais promissor para utilização no TSA, pelo fato de poder ser confeccionado de maneira artesanal. Esta prática é adotada pelos agricultores da região na fabricação de diferentes utensílios de uso doméstico. Para tanto, será necessário desenvolver métodos de confecção mais práticos e de fácil assimilação pelos agricultores.

Quanto aos discos de vermiculita, o único inconveniente está na alteração da coloração do material, causada pelo intemperismo, que os torna menos eficientes, e no seu elevado custo (1,5 ORTN), o qual, porém, poderá ser reduzido com o surgimento de melhores métodos de confecção.

CONCLUSÕES

1. As reduções da evaporação demonstradas distintamente pelas coberturas empregadas foram consideráveis, pois apresentaram uma capacidade de redução superior a 50%.

2. Os resultados do uso de discos de isopor impregnados com a mistura de cera de carnaúba e parafina (61%), e de esferas vitrificadas (60%), foram similares, sendo que do ponto de vista econômico o primeiro mostrou-se mais eficiente que o segundo, mas apresentou a desvantagem de sofrer ação dos elementos do tempo, que desagrega a mistura do disco e o torna menos eficiente.

3. Os discos de vermiculita impregnados com a mistura de cera de carnaúba mais parafina (54%)

e as esferas de barro (50%) apresentaram resultados aproximados.

4. As esferas de barro apresentaram a vantagem de serem de menor custo que os discos de vermiculita, de terem a matéria-prima utilizada na confecção disponível na região, e de não terem problema de desgaste com o tempo.

5. Os custos dos diversos tratamentos comparados mostraram-se muito elevados para coberturas de grandes superfícies.

6. Os problemas apresentados pelos tratamentos poderão ser reduzidos se houver um aperfeiçoamento dos métodos de confecção do material.

REFERÊNCIAS

- AMORIM NETO, M. da S. & VILLA NOVA, N.A. Novo sistema de medidas de evaporação para o tanque classe 'A'. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, 18(7):695-702, jul. 1983.
- BARROS, L.C.G.; PORTO, E.R. & SOUZA, O. Efeitos da cobertura de açudes na evaporação da água armazenada. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE HIDROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS, 4., Fortaleza, CE, 1981. Anais... Fortaleza, DNOCS/ABRH, 1981. p.344-50.
- COOLEY, H.R. & FINK, D.H. Conserving water supplies by evaporation reduction. s.n.t. Trabalho apresentado no "Water Animal Relations Symposium", Twin Falls, EUA, 1973.
- COOLEY, H.R.; LLOYD, E. & MYRES, F. Evaporation reduction with reflective covers. *J. Irrig. Drain. Div.*, (IR3):353-63, 1973.
- COOLEY, R.R. Energy relationships in the design of floating covers for evaporation reduction. *Water Resour. Res.*, 6(3):717-27, 1970.
- COOLEY, R.R. Evaporation reduction; summary of long-term tank studies. *J. Irrig. Drain. Eng.*, 109(1):89-98, 1983.
- COOLEY, R.R. Evaporation suppression for conserving water supplies. In: WATER HARVESTING SYMPOSIUM, Western Region., Gana, 1975. Proceedings... Phoenix, US Dep. Agric. Agric. Res. Serv., 1975. p.192-200, (US Dep. Agric. Agric. Res. Serv., W-22).
- COOLEY, R.R. & CLUFF, C.B. Reducing pond evaporation with perlite ore. *J. Irrig. Drain. Div.*, 92(2):255-66, June 1972.
- COOLEY, R.R. & MYRES, L.E. Evaporation reduction with reflective covers. *J. Irrig. Drain. Div.*, 99(3):353-63, Sept. 1973.
- CROW, F.R. Increasing water supplies by suppression of reservoir evaporation; research project final technical. Stillwater, Oklahoma Water Resour. Res. Inst., 1973. 37p. (OWRR Project, A-014).

MICHELENA, R.O. Reducción de la evaporación con materiales granulados flotantes. *Rev. Invest. Agropecu.*, 16(1):93-107, 1981.

MYRES, L.E. & FRASIER, G.W. Evaporation reduction with floating granular materials. *J. Irrig. Drain. Div.*, 96(IR4):425-36, 1970.