

FORMULACIONES RETARDADORAS DE LA EVAPORACION DEL AGUA

L.M. Alfonso Hdez., E. Pérez Hdez. y N. Ravelo Glez.

Dirección de Química, CENIC

Recibido: 5 de Noviembre de 1990

ABSTRAC: It is reported the use of adducts of urea with cetyl alcohol and with stearic acid and efficient way to lower the rate evaporation of the water contained in an open vessel. The adducts can be readily prepared by the mechanical grinding of a mixture of three parts of urea one part of the other component.

RESUMEN: Se reporta la utilización de aductos de urea con alcohol cetílico y con ácido esteárico como una forma eficaz para disminuir la velocidad de evaporación del agua contenida en recipientes abiertos. Estos aductos de urea pueden ser preparados convenientemente mediante un molido mecánico (acción triboquímica) de una mezcla de tres partes de Urea y una del otro material componente.

INTRODUCCION

La evaporación del agua a la atmósfera es un proceso físico muy común que depende de diversos factores y cuyo control puede ser de gran importancia, especialmente en lugares donde el precio del líquido sea deficitario.

La disminución de la velocidad de la evaporación del agua contenida en recipientes, embalses, etc., puede basarse en la aplicación de medios físico-mecánicos (1-2), y también por vía físico-química como ocurre cuando se esparce una fina película de un material insoluble en la superficie del líquido.

Esta última técnica es conocida desde hace muchos años y después de numerosas experiencias y estudios realizados se puede concluir: a) que se puede formar fácilmente una película monomolecular de sustancias que rebajan efectivamente la velocidad de evaporación del agua, b) que entre las sustancias más efectivas se encuentran los alcoholes superiores y los ácidos grasos, y c) que es conveniente dispersar la sustancia activa de una forma adecuada.

Se han reportado en la literatura diversos trabajos sobre la aplicación de las sustancias arriba mencionadas para retardar la velocidad de evaporación del agua, tanto en recipientes pequeños como en embalses, lagos, etc., encontrándose entre ellos los trabajos de La Mer (3-5), de Tovbin (6-7), así como patentes (8), y literatura general (9); enfatizándose siempre (4) lo absolutamente indispensable que resulta el estudio previo, a nivel de laboratorio, de las posibles formulaciones retardadoras de la evaporación antes de realizar cualquier intento de evaluación a una escala mayor.

El presente trabajo reporta resultados obtenidos en pruebas realizadas a nivel de laboratorio de formulaciones de agentes retardadores de la evaporación del agua basadas en el uso de complejos de inclusión de urea (aductos) de los compuestos arriba mencionados, y se reporta también una forma muy fácil de su preparación.

MATERIALES Y METODOS

La determinación de las velocidades de evaporación del agua para los cálculos de estimación de la eficiencia de los retardadores fue realizada basada en pérdida de peso (ΔP) ($\pm 0,01$ g) de volúmenes de agua (aproximadamente 170 mL) contenidos en recipientes de vidrio cilíndricos de 65 cm² de superficie (A), a distintos tiempos (ΔT). Las muestras con retardador fueron preparadas al dejar caer éste, pulverizado, (aproximadamente 1,0 mg) sobre la superficie del líquido. Las experiencias fueron realizadas generalmente por duplicado tomándose el promedio de los valores encontrados:

$$\text{velocidad (v)} = \Delta P / (\Delta T \times A) \quad (\text{g/min} \cdot \text{cm}^2)$$

Se graficó ΔP vs. ΔT a diferentes tiempos mediante el Programa GraphPad, con lo cual se obtuvieron los valores de v con un coeficiente de correlación (r) de 0,99 o mayor en todos los casos.

La eficiencia del retardador (E_r) fue calculada por la fórmula conocida

$$\% E_r = (V_o - V_r) / V_o \times 100;$$

siendo:

V_o y V_r = las velocidades de evaporación de la muestra sin y con retardador, en igualdad de condiciones (corridas simultáneas). Las condiciones escogidas, en un día señalado, fueron bien las existentes fuera del laboratorio (al aire libre), dentro del laboratorio o dentro de una campana de laboratorio.

La preparación de los retardadores (aductos de urea) fue realizada de 2 formas diferentes a partir de mezclas de 3 partes (peso) de urea y 1 de sustancia activa (alcohol cetílico o ácido esteárico): a) al recrystallizar la mezcla urea-alcohol cetílico de etanol, con un rendimiento de 80 %, como se reporta en la literatura (10) (caso del retardador R₁), y b) al pulverizar las mezclas (aproximadamente 30 g) de urea-alcohol cetílico y urea-ácido esteárico en un mortero de laboratorio durante 15 min, (caso de los retardadores R₁ y R₂). Este proceso de molido también fue efectuado a nivel de varios kilogramos en molinos de bolas (de porcelana y de hierro fundido). Para facilitar el proceso a las mezclas le fueron añadidas pequeñas cantidades de agua.

Muestras de los productos R₁ y R₂ (obtenidos de forma triboquímica) fueron tratadas con éter de petróleo (60 °C) en un aparato de Soxhlet, extrayéndose una pequeña cantidad de la sustancia activa (alcohol cetílico o ácido esteárico), los productos resultantes mostraron igual espectro de absorción en el infrarrojo (KBr) que el producto de partida, y semejantes propiedades retardadoras de la evaporación del agua.

Los materiales de partida alcohol cetílico (hexadecanol) y el ácido esteárico fueron de calidad reactivo (BDH, Gran Bretaña, y Reachim, URSS, respectivamente), así como lo fue la urea (Reachim), utilizada en los experimentos triboquímicos en mortero de laboratorio. La urea empleada en los experimentos con molino de bolas fue de procedencia industrial (granulada).

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

En la Tabla 1 se reportan las velocidades de evaporación (v) del agua destilada y del agua corriente del laboratorio del CNIC, determinadas en igualdad de condiciones y simultáneamente. Se indica por m la pendiente de la recta obtenida al graficar los datos de pérdida de peso ΔP (g) contra tiempo ΔT (min) hasta el tiempo t, se denota cor r el coeficiente de correlación (GraphPad, sin incluir el punto de origen).

TABLA 1

Comparación de las velocidades de evaporación del agua

	V (g/min · cm ²)	S (g/min · cm ²)	r
Agua destilada	$2,04 \times 10^{-4}$	$0,03 \times 10^{-4}$	0,9989
Agua corriente	$2,07 \times 10^{-4}$	$0,03 \times 10^{-4}$	0,9988

Las Tablas 2 y 3 muestran los resultados de las experiencias de la evaporación del agua al añadirse agentes retardadores de la evaporación, y de los testigos correspondientes. En la Tabla 2 se reportan los experimentos en los cuales el retardador (R) consistió en el aducto urea-alcohol cetílico preparado por el método clásico (recristalización de etanol), y en la Tabla 3 se reportan los resultados de los experimentos con los retardadores R₁ y R₂, consistentes en los aductos urea-alcohol cetílico y urea-ácido esteárico, respectivamente, preparados por el método triboquímico (utilizando mortero de laboratorio). Experiencias con el retardador R₁ preparado triboquímicamente a escala de kilogramo (utilizando molinos de bolas) mostraron eficiencias variables (25-55 %), dependiendo de las condiciones.

TABLA 2
Eficiencia del retardador R (aducto urea-alcohol cetílico (ETOH))

	15/12/88 Agua dest. dentro lab.	21/12/88 Agua dest. dentro lab.	21/12/88 Agua corriente dentro lab.
Vo (g/min · cm ²)	9,70 × 10 ⁻⁵	7,83 × 10 ⁻⁵	7,39 × 10 ⁻⁵
S (g/min · cm ²)	0,39 × 10 ⁻⁵	0,52 × 10 ⁻⁵	0,40 × 10 ⁻⁵
r	0,9969	0,9892	0,9923
Vr (g/min · cm ²)	6,92 × 10 ⁻⁵	5,89 × 10 ⁻⁵	5,35 × 10 ⁻⁵
S (g/min · cm ²)	0,26 × 10 ⁻⁵	0,28 × 10 ⁻⁵	0,18 × 10 ⁻⁵
r	0,9970	0,9945	0,9974
E	28,6 %	24,8 %	27,6 %

TABLA 3
Eficiencia de los retardadores R₁ y R₂ (aductos urea-alcohol cetílico y urea-ácido esteárico). Método triboquímico.
Agua corriente

	30/3/89 Fuera del lab.	10/4/89 Fuera del lab.	20/4/89 Fuera del lab.
Vo (g/min · cm ²)	1,87 × 10 ⁻³	8,55 × 10 ⁻⁴	2,88 × 10 ⁻⁴
S = 0,12 × 10 ⁻³			S = 0,04 × 10 ⁻⁴
r = 0,9924		r = 0,999	r = 0,9994
V _{R1} (g/min · cm ²)	5,68 × 10 ⁻⁴	4,30 × 10 ⁻⁴	1,78 × 10 ⁻⁴
S = 0,56 × 10 ⁻⁴			S = 0,10 × 10 ⁻⁴
r = 0,9908		r = 0,999	r = 0,9932
E _{R1}	58,5 %	50 %	34 %
V _{R1} (g/min · cm ²)	1,36 × 10 ⁻³	7,73 × 10 ⁻⁴	2,92 × 10 ⁻⁴
S = 0,11 × 10 ⁻³			S = 0,06 × 10 ⁻⁴
r = 0,9932		r = 0,987	r = 0,9984
E _{R2}	0,7 %	7,4 %	-2,1 %

La efectividad relativa de las formulaciones retardadoras de la evaporación del agua fue estimada en este trabajo determinando las velocidades de evaporación de ella, en recipientes pequeños, al adicionarse o no la formulación dada en las mismas condiciones y en experimentos simultáneos, con estos datos fueron calculadas las eficiencias de las formulaciones. Se encontró que, a diferencia de lo que se podría haber esperado (12), la velocidad de evaporación del agua destilada resultó similar a la del agua corriente (laboratorio CNIC).

Los valores de eficiencia obtenidos son comparables a los mencionados en la mayoría de los trabajos reportados en la literatura, excepto en un caso (5), en que se reporta una "eficiencia" excepcional (17) en muchos grados de magnitud. Debe mencionarse que los valores de velocidades de evaporación del agua obtenidos en recipientes pequeños son, generalmente, más elevados que los observados en el caso de la evaporación de grandes masas de agua. (12-13)

Como se ha mencionado, desde hace mucho tiempo se conocía las peculiaridades que exhiben las películas muy finas de sustancias esparcidas en la superficie del agua, y entre ellas la de disminuir la velocidad de evaporación del agua.

Existe un consenso de que las películas formadas a partir de productos tales como los ácidos grasos y los alcoholes superiores, que contienen cadenas carbonadas C₁₈ - C₃₆, presentan en mayor o menor grado la mencionada propiedad de disminuir la evaporación del agua, dependiendo su utilidad de la eficiencia y la du-

rabilidad del efecto, aparte de los aspectos económicos y ecológicos de su formulación.

La forma de aplicación de estos productos es muy variada. Se han utilizado frecuentemente en disoluciones de solventes orgánicos tales como: benceno, éter de petróleo o kerosene (4-5) y también en suspensiones acuosas con jabones y tensioactivos (6), además del empleo de aparatos especiales para lograr una microdispersión. (4)

Este trabajo trata de la preparación de formulaciones para retardar la evaporación del agua consistentes en los compuestos de inclusión de urea (aductos) de la sustancia activa (alcohol cetílico, ácido esteárico), que presentan indudables ventajas.

Los resultados obtenidos pueden ser considerados satisfactorios en el caso del aducto urea-alcohol cetílico (ver Tablas 2 y 3) con el cual se logra disminuir la velocidad de evaporación del agua, en las condiciones señaladas, con eficiencias de 34-55 %, las cuales son análogas, o acaso mejores, que las obtenidas por otros métodos, aunque es difícil establecer comparaciones precisas con los otros trabajos por no disponer de los datos necesarios.

Por ejemplo, en los casos mencionados por la Tabla 1 del trabajo de La Mer (4), se reportan reducciones entre 0 y 85 %, con un promedio de valores de 35 %, para casos de diversos retardadores con distintas formas de aplicación, mientras que Tavbin (8) (en la Figura 3.3 de su trabajo), reporta valores de eficiencias entre 20 y 30 % para emulsiones de alcohol cetílico.

La preparación del aducto urea-alcohol cetílico (relación 3:1 en peso) fue realizada tanto por el método tradicional utilizando etanol como solvente (10) (lo cual conlleva el uso del solvente volátil-inflamable, además de resultar con un rendimiento no cuantitativo, y de necesitar operaciones tales como: calentamiento, filtración, recuperación de solvente, etc.), como por un método triboquímico, con la aplicación de fuerza mecánica a la mezcla de reacción.

No se conoce de la aplicación del método triboquímico para la preparación de los aductos de urea, lo cual es mucho más sencillo y con el no ocurre pérdida de producto.

Se observó que, al parecer, las eficiencias obtenidas a partir del producto por el segundo método llegan a ser superiores a las obtenidas por el aducto obtenido por el método tradicional. (Ver Tablas 2 y 3.)

La formulación encontrada R₁, preparada al mezclar íntimamente 3 partes de urea con 1 parte de alcohol cetílico, ha mostrado, por lo tanto, eficiencias aceptables como retardadora de la evaporación del agua en recipientes pequeños. Debe mencionarse que dicha formulación presenta una serie de ventajas sobre otras conocidas, como son: a) su fácil preparación, b) rendimiento cuantitativo, c) su fácil aplicación (se pulveriza y esparce sin dificultad, a diferencia del alcohol cetílico original), d) no empleo de solventes orgánicos, y e) ahorro de principio activo, mucho más costoso que la urea, al minimizar las pérdidas del primero en las operaciones de preparación, conservación, manipulación, etc.

En la literatura se encuentra referencia de un trabajo de Tavbin (11), anterior a los mencionados del mismo autor (6-7), en el cual se menciona el empleo del producto KARMIDOL, constituido por una mezcla de urea con alcoholes superiores en relación 1:3 (9 veces menor que el requerido para formar el aducto), como represor de la evaporación del agua. No se dan detalles sino que se dice que su eficiencia fue de 56 % (17). (Las formulaciones preparadas posteriormente por el mencionado autor basadas en esos alcoholes reportan eficiencias mucho más modestas. (8))

Es de mencionar que si bien se obtuvieron resultados satisfactorios con el producto R₁ (aducto con alcohol cetílico) ello no ocurrió en el caso del producto R₂ (aducto con ácido esteárico), a pesar de que ambas sustancias dan resultados satisfactorios cuando son esparcidas en disoluciones de solventes orgánicos, según reporta la literatura y también verificada por los autores.

CONCLUSIONES

Es posible lograr una notable disminución de la evaporación del agua contenida en recipientes cuando sobre la superficie de ésta se le añade una pequeña cantidad de aducto urea-alcohol

cetílico, lográndose una eficiencia de aproximadamente 34-55 %, dependiendo de las condiciones. El aducto urea-alcohol cetílico es preparado fácilmente por vía triboquímica a partir de una mezcla de 3 partes de urea y 1 del alcohol. Los aductos preparados a partir de urea y ácido esteárico resultaron no ser muy efectivos como retardadores de la evaporación del agua. Se ha solicitado patente de invención de los resultados obtenidos. (14)

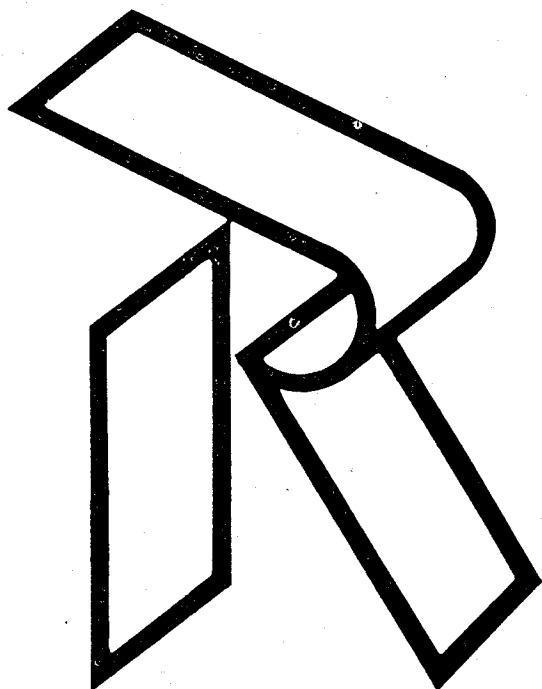
RECONOCIMIENTO

Se deja constancia del reconocimiento de los autores al ingeniero Gerardo Iglesias por su colaboración entusiasta en el procesamiento estadístico de los datos.

BIBLIOGRAFIA

1. ROCHA PORTO, E., M. DA SILVA AMERIN NETO, e D. DELFINO DA SILVA: *Pesq. Agropec. Bras.* 21:1, 1986.
2. VELAZCO-MOLINA, H.A. y J.A. RODRIGUEZ: "El uso de retardadores de evaporación sobre superficies de agua libre", Boletín Técnico, Dept. Suelos

- e Ing. Agrícola, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (México), 32, 1982.
3. LA MER, V.K. (Ed.): *Retardation of Evaporation by Monolayers*, Academic Press, New York, 277 p, 1962.
4. LA MER, V.K. and T.W. HEALY: *Science* 148, (April 2):36, 1965.
5. ARCHER, R.J. and V.K. LA MER: *J. Phys. Chem.* 59:200, 1955.
6. TOVBIN, M.V., V.G. CHALENKO, A.V. ARJAROV i A.N. LEONTIEVA: *Ukrainskii Khim. Zh.* 50:377, 1984.
7. ———: *Ukrainskii Khim. Zh.* 52:1266, 1986.
8. DRESSLER, R.G.: U.S. Patent No.2 903 330, Sep 3 1959, (Chem. Abstr. 54, 1779e, 1960).
9. LOKTES, S.M.: En: "Película en el lago", en Alcoholes grasos superiores (en ruso), Ed. Nauka, Moscú, 97-102, 1964.
10. WITNAUER, L.P., J.E. COLEMAN, W.R. NOBLE and S. GOVERN: *Anal. Chem.* 21:1331, 1952.
11. TOVBIN, M.V. i V.G. CHALENKO: Tr. Ukr. Nauchno-Issle. Hidrometeor. Inst. 152, 92, 1977 (Chem. Abstr. 88:158072b, 1978).
12. SALHOTRA, A.M., E.E. ADAMS and A.R.F. HARLEMAN: *Water Resour. Res.* 23:1769, 1987.
13. MORTON, F.I.: *J. Climat. Appl. Meteor.* 25, 371
14. ALFONSO, L.M. y otros: *Patente Cubana 5490* (Solicitada 21390).



tester

RELIABILITY TESTER GROUP

Una completa red de estaciones de ensayos naturales de corrosión que permite evaluar el comportamiento de cualquier material, equipo o maquinaria en la atmósfera o en agua de mar.