

REDUCCION DE LA EVAPORACION DE AGUA EN RESERVORIOS NATURALES Y ARTIFICIALES

por el prof. ALBERTO LAGOS

Auxiliar de la cátedra de Físico-Química de la Esc. de Quím. y Farm.

Un problema serio y de gran importancia económica, es el que se refiere a la evaporación de agua en tranques, lagos y otros depósitos destinados al riego de las zonas agrícolas de nuestro país, que además de poseer una gran longitud, exhibe varios tipos de clima y en consecuencia, diversos grados de rendimiento agrícola.

En la zona del Norte Grande, la vegetación prácticamente no existe por tratarse de una región desértica, probablemente irre recuperable.

Organismos nacionales, como el Ministerio de Obras Públicas (MOP) y la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO), han presentado Planes de desarrollo para mejorar la capacidad de riego en los sectores actualmente en explotación y también para habilitar otros.

El Programa Nacional de Desarrollo Agrícola confeccionado por la CORFO (1) para el período 1961-1970, señala entre los puntos fundamentales, el que se refiere al "balance de tierras, a fin de examinar la disponibilidad de tierras arables de riego y de secano durante el período que abarca el programa". Más adelante hace notar que "es necesario ampliar las perspectivas del desenvolvimiento agrícola chileno sobrepasando metas de simple autarquía", como consecuencia del crecimiento

de la demanda interna que obedece al aumento de la población (2,5% anual), y al incremento del consumo privado total anual de bienes agrícolas y no agrícolas (2% per cápita).

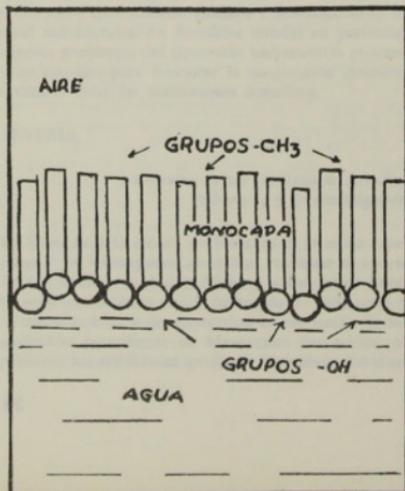
El análisis de la producción agrícola indicó que debe sustentarse más el hecho de acrecentar los rendimientos medios por hectárea, que el de superficies cultivadas, es decir, resulta por una parte más económico, intensificar el uso de los actualmente en explotación. Esto implica un mejoramiento de técnicas en base a condiciones económicas adecuadas.

El Programa incluye un estudio realizado sobre balance de tierras, considerando entre los puntos de más importancia, los siguientes: a) superficie agrícola y superficie cultivable del país; b) aumento del área regada en el período 1961-1970; c) superficie arable regada y de secano en el mismo período; d) balance general entre las tierras arables disponibles y las necesarias para efectuar los diferentes cultivos y explotaciones, etc.

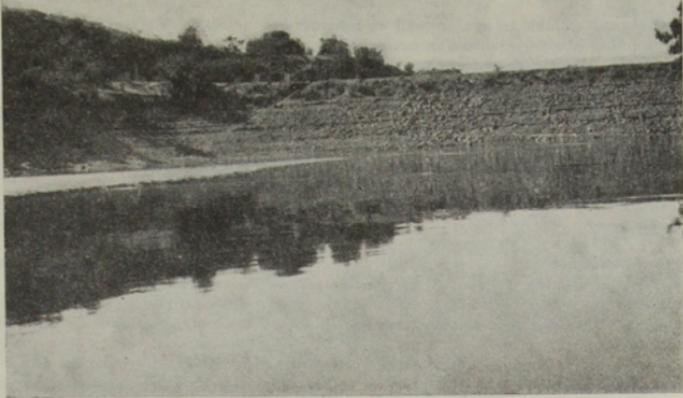
De acuerdo con las informaciones suministradas por el Ministerio de Obras Públicas, en el año 1957 Chile tenía 1.366.000 hectáreas de tierra bajo riego, en zonas que abarcan desde Coquimbo hasta Bío-Bío. Se ha estimado que el área de riego dada para 1957 podría aumentar en el período 1961-1970 en 395.500 hectáreas, o sea un 29%, al mismo tiempo que mejorar el riego de 607.800 hectáreas, correspondiente a un 44,5% de la superficie regada en 1957.

En las inversiones que el Plan propone para acrecentar la producción agropecuaria, se consulta la necesidad de aumento del área regada a través de la acción del Ministerio de Obras Públicas y de la CORFO, habilitando zonas agrícolas hasta ahora no explotadas.

Actualmente, en países de gran desarrollo agrícola e industrial, como por ejemplo en Estados Unidos de Norteamérica, ha sido necesario construir enormes depósitos de almacenamiento de agua para consumo, riego y usos industriales, y aún así presentan déficit, por lo cual las autoridades correspondientes (U. S. Geological Service, Bureau of Reclamation, Select Committee on National Water Resources, etc.) se han encargado de propiciar la mejor forma del uso y aprovechamiento del agua, ya sea aumentando el número de reservorios y aplicando técnicas apropiadas para reducir al máximo posible las pérdidas debidas a la evaporación, que alcanzan enormes proporciones.



1 Monocapa de hexadecanol sobre la superficie del lago



El método más ampliamente usado para reducir la evaporación, consiste en cubrir la superficie del agua con un material de características tales, que forme una capa protectora superficial, lo suficientemente delgada como para que se produzca el normal crecimiento de la flora y fauna que habita los reservorios. De las sustancias probadas, el de mejores resultados es un alcohol graso de cadena larga, conocido con el nombre de alcohol cetílico o hexadecanol que posee la propiedad de disminuir la evaporación, en un 50% a 60% en pruebas de laboratorio y en un 20% a 30% en el terreno.

Las investigaciones acerca de las características de las sustancias que forman monocapas o films sobre la superficie del agua se conocían en 1765, cuando Benjamin Franklin realizó algunas medidas en Claphan, Inglaterra, para determinar el grosor de una capa de aceite extendida sobre un estanque, estimándola en 25 Angstroms (\AA) (2).

Posteriormente, a fines del siglo pasado, se descubrió que algunos compuestos químicos forman una película superficial del espesor de una molécula, cuando se extienden sobre la superficie del agua.

En 1932, Langmuir (3), demostró que la superficie cubierta por una molécula de una sustancia que forme una película superficial sobre el agua, puede comprimirse hasta un límite constante, en el que cada molécula cubre un área de 21 Angstroms cuadrados (\AA^2). Sólo aquellos compuestos que presenta una alta resistencia a la compresión lateral, se comportan como buenos retardadores de la evaporación.

Sucesivas investigaciones revelaron que, si una pequeña cantidad de un ácido graso, por ejemplo, ácido esteárico $\text{C}_{18}\text{H}_{35}\text{COOH}$, se disuelve en benceno y se agrega sobre una superficie de agua pura, el benceno se evaporará, quedando finalmente una película de ácido graso sobre la superficie del agua. Esta película es una capa de una molécula de espesor y está constituida por un extremo polar del grupo carboxilo ($-\text{COOH}$) y en el extremo opuesto, por un grupo apolar ($-\text{CH}_2$). El grupo polar es atraído y disuelto en el agua (solvatado) y el grupo hidrocarbonado, o apolar, se proyecta fuera de la superficie, como se indica en la figura N^o 1.

Esta disposición y orientación, la presentan igualmente los alcoholes grasos de cadena larga, en especial el alcohol cetílico o hexadecanol, $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{CHOH}$, con un grupo polar hidroxilo ($-\text{OH}$).

Se ha recomendado usar materiales en mezcla para intensificar la eficiencia de la película superficial, como es el caso de hexadecanol adicionado de octodecanol. El primero presenta una gran facilidad para extenderse sobre la superficie del agua, y el segundo, una mayor capacidad reductora de la evaporación, aunque de difícil aptitud para dispersarse.

La experiencia indica que de todas las monocapas hasta ahora utilizadas para reducir la evaporación, ya sea en el laboratorio o en el terreno, el hexadecanol es el compuesto más económico y eficiente. Veinticinco gramos de este material pueden producir una película de una hectárea de superficie.

El alcohol cetílico es un compuesto blanco, de olor ca-

racterístico, insoluble en agua, soluble en solventes orgánicos. Se presenta en polvo o en escamas y posee una excelente capacidad de dispersión.

El conocimiento de la efectividad de una monocapa se tiene a partir del concepto de su resistencia específica a la evaporación (4) dada en la siguiente forma:

$$r = a (W_w - W_d) (t/m_t - t/m_w)$$

donde a = área del agua bajo control de un agente deshidratante.

W_w = concentración de vapor de agua en equilibrio, sin deshidratante.

W_d = concentración de vapor de agua en equilibrio, con deshidratante.

t/m = es el valor recíproco de la velocidad de evaporación, con film f , y sin film w .

De acuerdo a lo anterior, la resistencia r es una propiedad particular de la monocapa y se expresa en seg/cm (5).

El gráfico del logaritmo de r contra la longitud de la cadena de alcoholes grasos, permite apreciar que, el aumento de la longitud de la cadena de átomos de carbono, refleja un aumento de la resistencia específica a la evaporación desde C_{16} a C_{22} .

A partir de la ley de Arrhenius donde $k = A e^{-\frac{E_a}{RT}}$,

es posible relacionar el logaritmo de r contra el recíproco de la temperatura, pudiéndose calcular con precisión la barrera de energía de activación.

La energía de activación E_a , varía también con la longitud de la cadena, aumentando uniformemente desde C_{16} a C_{22} , en 300 calorías por grupo $-\text{CH}_2-$. Esta energía es suficiente para separar los grupos carboxilo o hidroxilo entre sí, para que pueda pasar una molécula de agua a través de la monocapa entre las dos cargas parafínicas, lo que corresponde aproximadamente a 9.400 calorías.

Para explicar la resistencia que oponen las monocapas a la evaporación del agua, se han utilizado dos teorías.

1. Teoría de la difusión en base a la ley de Fick.
2. Teoría de la barrera de energía.

La ley de Fick no cumple con exactitud las predicciones en escala molecular, pero la teoría de la barrera de energía o barrera de potencial da valiosas informaciones al respecto.

Esta última puede expresarse así:

$$r = \frac{E^*}{c} e^{-\frac{E^*}{RT}}$$

La energía de activación E^* está constituida por E^*_{w-w} , que señala la interacción entre los grupos COOH ú OH y agua; E^*_{bb} , que es la interacción cabeza de grupo

—cabeza de grupo, o sea COOH-COOH ú OH-OH ; del mismo modo deben mencionarse las interacciones entre los grupos $-\text{CH}_2-$.

El aumento de r se atribuye al incremento de la energía de activación de la cadena hidrocarbonada. Un análisis más extenso cae fuera de los propósitos presentados.

De acuerdo con Franzini (6), las pérdidas debido a la evaporación pueden reducirse almacenando agua en reservorios cerrados bajo tierra, o controlando el agua consumida por las plantas que rodean el depósito, etc. Sin embargo, casi todas estas medidas incurren en enormes gastos debido al empleo de voluminosas instalaciones.

Por estas razones la reducción de la evaporación, usando compuestos químicos adecuados, presenta un extraordinario interés. En el caso del hexadecanol, el grupo hidroxilo en uno de los extremos de la cadena, toma contacto con el agua y el resto de la molécula se orienta verticalmente sobre la superficie. La monocapa es una malla que no impide absolutamente la evaporación, sino que la disminuye, permitiendo el intercambio gaseoso de oxígeno y otros gases, lo que en circunstancias adversas rompería el balance natural con el efecto tóxico consistente sobre la vida de los peces, las bacterias u otras formas de vida (7).

Al respecto, se han presentado problemas debidos al consumo de hexadecanol por las bacterias, como los flabobacterium, que disminuyen la eficiencia del film (8). Estos y otros tipos de microorganismos eliminan más o menos 300 gramos por día y por hectárea de monocapa (9).

Las normas que caracterizan las condiciones de un film empleado en reducción de la evaporación son las siguientes:

- 1 El material deberá ser insoluble en agua, no tóxico y de reacción neutra.
- 2 Reunirá propiedades de fácil aplicación.
- 3 El film originado retardará efectivamente la evaporación.
- 4 No debe constituir alimento para las bacterias a objeto que su rendimiento no resulte disminuido.
- 5 Su precio deberá ser bajo, de manera que el agua salvada resulte económicamente conveniente.
- 6 En general, el film presentará buenas características sanitarias, para evitar efectos indeseables en el agua tratada.

Las pérdidas por evaporación del agua en los reservorios, afectan el regadío de predios agrícolas, las centrales hidroeléctricas y los usos municipales e industriales.

La medida de la evaporación en los grandes depósitos, no se obtiene directamente, aun cuando se conozcan el balance de aguas, las filtraciones subterráneas, el consumo por los vegetales ribereños, etc. Se precisa cono-

2 Efecto del amortiguamiento del oleaje producido por el film de hexadecanol



cer las relaciones que existen entre la evaporación del agua con la temperatura ambiente, la humedad, la radiación solar, la dirección y velocidad del viento, la altura y el clima reinante durante los meses de máxima evaporación.

En los lagos y tranques, la evaporación se obtiene por medio de evaporímetros, que son depósitos circulares de aproximadamente un metro cuadrado de superficie, cuyas medidas exactas se han establecido por convenios internacionales (10). Se presentan en diferentes tipos, siendo el más usado el evaporímetro Clase A, que por lo general se ubica en las inmediaciones de los grandes depósitos. Usando un factor apropiado es posible dedu-

cir la evaporación del reservorio, a partir del dato obtenido en el evaporímetro.

En nuestro laboratorio se ha determinado que durante los meses de diciembre, enero, febrero y marzo se evaporan diariamente alrededor de ocho a diez litros de agua por metro cuadrado, con tiempo despejado y sin viento.

El procedimiento que se usa para determinar la evaporación mediante otros parámetros, es considerándola como factor residual en la suma de los ítem de flujo de entrada y salida de agua incluyendo el reservorio de guarda, la lluvia caída en las áreas acuosas y los cambios de la elevación de la superficie del agua. Sin embargo, el valor más preciso de evaporación en grandes



3 Desplazamiento de la monocapa producido por el viento



4 Procedimiento para aplicar la monocapa de una emulsión de hexadecanol en agua

superficies se obtiene directamente cuando los reservorios están cerrados durante la estación seca, en la que no hay entrada ni salida de agua.

En nuestro país, aún no se han iniciado estudios sistemáticos para aplicar monocapas en los grandes tranques de que dispone el Ministerio de Obras Públicas, pero actualmente se está buscando una forma de establecer contacto y planificar proyectos que se desarrollarán con la participación de la Universidad de Chile. Durante enero de 1963, se realizó una expedición al tranque de Lliú-Lliú, al interior de Limache, donde se hicieron experiencias con la monocapa de hexadecanol, obteniéndose de estos estudios interesantes resultados, puesto que las condiciones allí reinantes son bastante adversas respecto al viento, que alcanza velocidades mayores a cuatro metros por segundo, circunstancias que limita la efectividad del film, pues éste es arrastrado y depositado irrecuperablemente en las orillas.

La forma de aplicar la monocapa puede hacerse de dos maneras, sea directamente como polvo o emulsionado en agua con indicios de un detergente. Se ha comprobado que el rendimiento es mayor con una emulsión. El hexadecanol usado en las experiencias de Lliú-Lliú se obtiene a partir de esperma de ballena (cachalote). Este aceite es sometido a diversos tratamientos y extracciones en una industria ubicada en Santiago (Franchini y Hollemart), en donde se producen dos tipos de hexadecanol, que actualmente se usan en el laborato-

rio. El más puro (68 a 70%) tiene un punto de fusión alrededor de 49 grados centígrados; la otra forma se conoce con el nombre de hexadecanol de prensa y contiene un 40% de ácido oleico, lo que evidentemente disminuye su costo. Este último se ensaya en el laboratorio de Físico-Química de la Facultad de Química y Farmacia y en el Laboratorio Hidráulico de Obras Portuarias de Peñaflo, dependiente del Ministerio de Obras Públicas.

Los resultados obtenidos en el tranque Lliú-Lliú se consignan en la memoria del ing. de ENDESA señor Hernán García.

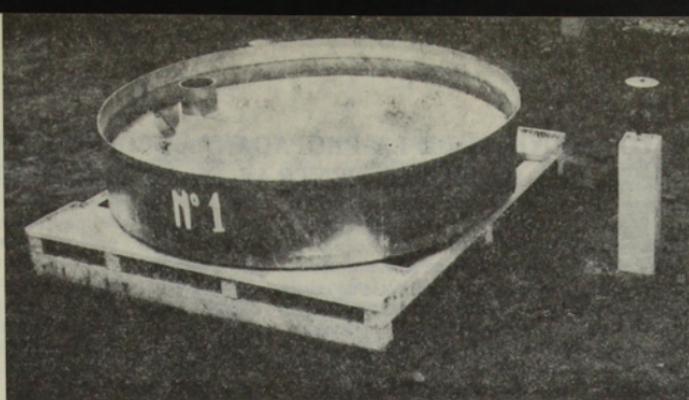
En las fotografías Nos 1, 2, 3 y 4 se aprecia la imagen física de la monocapa y el efecto inmediato como amortiguadora del oleaje producido por el viento; en esta forma se disminuye la superficie del agua, una de las principales causas de la evaporación.

Los estudios realizados en EE. UU. de Norteamérica, en los Lagos Sahuaro, Hefner y muchos otros (11), han conducido al desarrollo de numerosas técnicas, para lograr una eficiente dispersión del film y máximos rendimientos, a objeto de evitar pérdidas innecesarias. A fines de 1962, y durante el año 1963, la Cátedra de Físico-Química de la Escuela de Química y Farmacia de la Universidad de Chile, cuya actual línea de investigación versa sobre fenómenos de superficies, realizó experiencias de reducción de la evaporación (12), y propuso un Plan en el que se pretende desarrollar estudios completos, en detalle, de cada tranque o reservorio natural o artificial, para establecer las características naturales, y la posibilidad de aplicar el film de hexadecanol a fin de reducir la evaporación y aumentar la producción de las zonas agrícolas o la fuerza electromotriz, o posibilitar la explotación de nuevas superficies cultivables.

El proyecto propone estudiar las barreras de potencial en evaporación de agua; medidas de potencial de superficie sobre superficies cubiertas por monocapas, midiendo, por ejemplo, temperaturas superficiales. Las propiedades de los films se tienen del amortiguamiento del oleaje y de la viscosidad superficial, incluyendo también la velocidad de esparcimiento y la persistencia en diversas condiciones.

Naturalmente, que el proyecto propuesto requiere apoyo económico para la obtención de material (hexadecanol) y del numeroso instrumental meteorológico destinado a recoger los datos de climas.

El Ministerio de Obras Públicas, a través del Departamento de Estudios de Riego, en principio, ha cursado las autorizaciones correspondientes para experimentar en los tranques de Rungue, Cotacotani y Chungará, estos dos últimos ubicados a 150 km. al este de Arica y 4.500 metros de altura. Se espera asimismo, que en 1964 este Ministerio apruebe el financiamiento del



5 Evaporímetro clas.
A.

programa, cuya duración se calcula, como mínimo, en cuatro años.

BIBLIOGRAFIA

- 1 Corporación de Fomento de la Producción (CORFO). *Programa Nacional de Desarrollo Económico*. 1961-1970.
- 2 La Mer, Victor K., *Retardation of Evaporation by Monolayers*. Transport Processes. Academic Press. New York and London. 1962.
- 3 La Mer, Victor K., *Ibid.* 1962.
- 4 La Mer, Victor K., *Ibid.* 1962.
- 5 Barnes y La Mer, *The Evaporation Resistances of Monolayers of long-chain acids and alcohols and their mixtures*, *Ibid.* 1962.

- 6 Franzini, J. B., *Research Progress Report, Evaporation Suppression Research, Part I, Water and Sewage Works*, June 1961.
- 7 Hayes, L. Murray, *Biological effects of hexadecanol used to suppress water evaporation from reservoirs*, Colorado State University Fort Collins, Colorado, published by Bureau of Reclamation, March, 1959.
- 8 Hayes, L. Murray, *Ibid.*, March, 1959.
- 9 Toft, Robert A., *J. Am. Water Works Assoc.*, 51, 1421, 1959.
- 10 Longrace, Leonard L. and Blaney, Harry F., *Evaporation at High elevation in California*, J. Irrigation and Drainage Division, Proc. Am. Civ. Eng., June, 1962.
- 11 Harbeck, G. E., Jr., *Evaluation of Evaporation Suppression at Lake Hefner*, Lake Hefner, 1958, published by Bureau of Reclamation, June, 1959.
- 12 G. A. Johnson, A. Lagos N., S. Parcedo, *Experiencias de reducción de la evaporación en los Tranques Litu Litu, Saucalito y El Jasmin*. Informe no publicado. 1963.

"GINECEO UNILOCLAR DE LAS CORNACEAS"

Kubitzki Klaus, ZUR KENNNTNIS DES UNILOKLAREN CORNACEEN-GYNÖZEUMS (CORNACEEN-STUDIEN I). in *Berichten der Deutschen Bot. Gesellschaft*. Año 1963. Vol. LXXVI (2): 33:39 con 3^a figuras (1963)

Como lo indica el título de esta interesante contribución, su autor estudia el "gineceo unilocular de las cornáceas"; en especial el de dos especies chilenas del género *Griselinia*: *G. ruscifolia* (Clos) Taubert y *G. iodiniifolia* (Grisebach) Taubert, plantas características del litoral marítimo de Chile.

En estas dos plantas, el estudio morfológico, bajo consideraciones especiales de sus diagramas florales y de la disposición de los haces conductores en el ovario —que es epigino—, se demuestra que se trata de un gineceo trimero, pero SEUDOMONÓMERO, es decir, debería ser trímetro, pero es UNILOCLAR o FALSO UNILOCLAR.

Los tres carpelos están representados cada uno, por un haz mediano y por dos haces laterales. El haz placentario se origina a partir de uno de los haces laterales existentes.

Se demuestra, además, que en la constitución del gineceo de estas dos especies chilenas, tanto en la pared del ovario como en su pared apical, participan tres carpelos, bajo idénticas condiciones. Según el autor, "esto se podría interpretar que el gineceo —filogenéticamente hablando—, ha sido alcanzado primero, bajo la condición epigina y luego por la reducción de las placentas y de los primordios" (= estado todavía rudimentario de un órgano que empieza a formarse: primordio seminal es un óvulo en formación dentro de un botón floral).

El autor de esta contribución, el Dr. Klaus Kubitzki, desempeñó durante los últimos años el cargo de Profesor de Botánica en la Universidad Austral de Chile, Valdivia, realizando el trabajo que se comenta bajo los auspicios del Instituto de Botánica de la universidad valdiviana.

Prof. Hugo Gunchel