



EL AGUA – ASPECTOS AMBIENTALES

Fritz Räuchle y Carlos Tavares

Instituto de Estudios Ambientales (IDEA-PUCP)
Pontificia Universidad Católica del Perú
Apartado 1761, Lima 100

RESUMEN

Se describen el uso del agua con cifras recientes del Perú y América Latina y posibilidades de un ahorro significativo utilizando tecnologías nuevas, tanto en la agricultura como en la industria.

Por otro lado, se mencionan nuevas fuentes de agua dulce, cuya valorización real debe ser asimilada aún por la población.

INTRODUCCION

El líquido elemento vital representa mucho más que el conjunto de moléculas angulares, cuyos puentes de hidrógeno determinan un alto punto de ebullición y cuyo poder disolvente es enorme por su alta constante dieléctrica. El agua, igual que el suelo, es un elemento puente entre los factores bióticos y abióticos. Esta separación del punto de vista es hasta hoy un elemento de divergencia en la enseñanza superior. Los estudiosos de las Ciencias Naturales muchas veces sobrevaloran el papel biótico (albergador de la vida) cuando del agua se trata. El agua también es mucho más que una fuente de energía (hidroeléctrica), es un elemento complejo en nuestra existencia, lo que se traduce en la discusión si el agua es un bien renovable o no. Si consideramos los océanos como agua posible y la desalación como una tecnología en pleno avance, el agua es un bien infinito, en términos prácticos. (La palabra desalinización es un anglicismo que ha hecho fortuna, como otros tantos, en el vocabulario científico castellano. Se debe superar cuanto antes).

Actualmente, sin embargo, sólo el 0,03% (!) del agua existente en el globo es agua dulce, disponible, restando el agua fijada en los polos y el agua subterránea no fácilmente accesible. Algunas estimaciones proporcionan el dato de que el agua de los ríos se renueva cada 18-20 años, mientras el agua contenida en la atmósfera se repone cada 12 días. Expresadas las cantidades de agua en la tierra en km^3 resultan las siguientes cifras:

Agua salada: 1.400 millones km^3 ; hielo en los casquetes polares: 25 millones km^3 ; 300 000 km^3 de agua dulce en ríos y lagos. En el subsuelo se encuentran unos 200 000 km^3 de agua dulce.

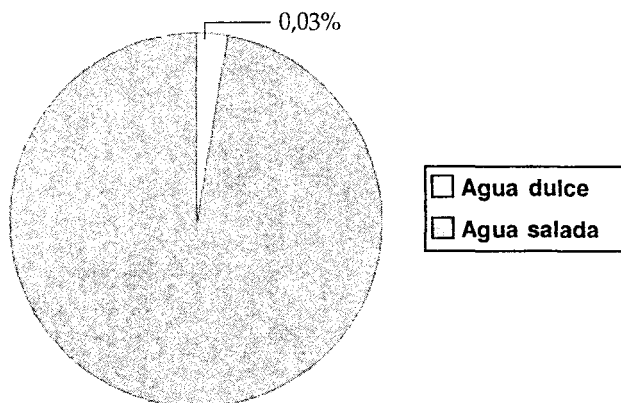


Figura 1: Relación entre agua salada y la totalidad de agua dulce en la tierra

A gran profundidad existen depósitos de agua subterránea procedentes de anteriores eras geológicas, que han permanecido intactos, por ejemplo, en Libia. Aunque hoy en día ya no se renovarán, en estos momentos estas reservas se activan con fines de regadío.

Para poder relacionar las cantidades mencionadas y visualizarlas mejor agregamos que las lluvias totales en Alemania ascienden a 300 000 millones de km³ por año.

La población de Sudamérica está en el orden de 344 millones de habitantes, siendo que más del 80% corresponde a la población urbana.

Esta tendencia en continuo crecimiento se debe a los efectos simultáneos: la mayor oferta de servicios de salud, educación y empleo en la ciudades y la incorporación de tecnologías de capital intensas en la actividad agrícola que logró incrementos considerables de productividad y, en general, produjo una reducción de la demanda de mano de obra (1). En el Perú, la población urbana alcanza en la actualidad el 67% y con franco crecimiento, lo que exigirá mayores demandas de agua a mediano plazo. La distribución del agua en el Perú es muy irregular, siendo que el 90% de la población vive en regiones las cuales reciben sólo el 2% de las precipitaciones que caen sobre su territorio. Además, el Perú dispone anualmente de 1,548 m³ por habitante contrastando extremadamente con la media anual de Sudamérica, con

30,000 m³/hab./año [1] Según la organización de las Naciones Unidas, 1,000 m³/hab./año corresponde al umbral, por debajo del cual se sufre de escasez crónica, a escala suficiente para impedir el desarrollo y afectar a la salud humana [2]. Este índice fue también denominado "stress hídrico" por Falkenmark & Widstrand que lo ubican en los 1,700 m³/hab./año [3]. Hacia el año 2050, se prevé que la disponibilidad media en el Perú alcanzará los 760m³/hab./año, lo que agudizará aún más el stress hídrico a que está sometido actualmente. En este sentido está claro que se requiere una alta sensibilización sobre el valor del agua potable en el país. El grado, actualmente alcanzado, es insuficiente como en muchos otros países. Sin embargo, el abastecimiento de agua para la región de Lima está asegurada hasta el año 2015, a pesar de que la costa recibe una precipitación anual de sólo 38 mm. Dentro de 25 años, sí, habrá problemas de abastecimiento de agua en Lima [4]. A nivel nacional, en el Perú el 65% de la población tiene acceso a servicio de agua potable, mientras sólo el 45% disfruta de servicio de alcantarillado [4]. La insensibilidad se puede medir por el consumo diario de agua y per cápita que en Lima asciende a 290 l, lo que es un valor muy alto aún. De todas formas, este consumo ha bajado en los últimos años de 360 l iniciales [4]. Otro despilfarro de agua se observó en la producción de cerveza. Un litro de la bebida necesitaba 8 litros de agua, mientras la fábrica más moderna del Perú en el Norte usa hoy en día sólo 3 litros [5].

1. PROPIEDADES DEL AGUA

- *Punto de ebullición:* El alto punto permite el desarrollo y manutención de la vida. La molécula de poco volumen pero de alto poder de asociación favorece los procesos vitales del metabolismo, como ósmosis, síntesis e hidrólisis.
- La "*anomalía del agua*", su densidad máxima a 4,2°C y no a 0°C, permite la formación de hielo en la superficie de los cuerpos de agua y no en el fondo lo que, a su vez, da lugar a un aislamiento térmico del agua restante y frena la solidificación total en un tiempo estacional, por ejemplo.
- *El alto calor específico* (1,0 cal/g/°C) (sólo hidrógeno y helio, entre los elementos, poseen valores mayores) permite la absorción de

mucha energía antes de subir considerablemente su temperatura, lo que evita un sobrecalentamiento de nuestra tierra, que en realidad es un planeta de agua. Por otro lado, amortigua el enfriamiento excesivo durante las noches, evitando cambios bruscos, perjudiciales para los procesos vitales. El 70% de la energía solar recibida por el planeta es absorbida por la superficie de los océanos. Además, el agua absorbe tres veces más energía que el suelo por reflejar menos. En el caso de hielo el factor de reflexión, o sea el albedo, es el 60% de la energía solar recibida, mientras el agua absorbe el 92% o sea sólo el 8% es reflejado al espacio. Esta altísima capacidad de absorber energía ayuda a retardar el efecto invernadero provocado por la presencia de gases específicos en la atmósfera. Además, una capa de tres metros de agua contiene tanto calor como toda la atmósfera por encima de ella.

- *El alto calor de evaporación* también ayuda a mantener un cierto rango de temperatura indispensable para la vida. La transpiración ayuda a los seres vivos a refrescarse, incluido el ecosistema planeta (bosques, savanas o tundras).
- Como *excelente disolvente* posibilita los procesos vitales. El agua limpia por su poder de disolución, ¡pero también dispersa a ríos y océanos una posible contaminación!
- *La alta tensión superficial* hace posible la flotación de partículas de polvo (¡con densidades bastante más que la unidad!) y el caminar de insectos sobre el agua.

El alto calor específico del agua merece unas observaciones adicionales. Sabemos que los huracanes son fenómenos meteorológicos que originan su existencia por encima de superficies de agua que tengan como mínimo 28°C. Pequeñas depresiones frente a las costas de Mauritania y Sierra Leona, regiones del Atlántico Ecuatorial Norte y dentro del Golfo de México como parte del Mar Caribe, a medida que avanzan hacia el oeste, movidas por los vientos alisios, alcanzan su desarrollo máximo en el mismo Mar Caribe y/o Golfo de México. La alta energía, que se libera al condensarse el vapor de agua, provoca depresiones de hasta 958 mb y vientos radiales máximos de casi 300 km/h. El tristemente famoso huracán Mitch cobró unas 10000 vidas humanas y retrasó el desarrollo socio-económico de toda una región en

unos 30 años, según estimaciones de la ONU vertidas en los medios de comunicación.

2. USO DOMÉSTICO DEL AGUA

Cambiando nuestros hábitos de consumo de agua doméstico podemos contribuir a aminorar la escasez de agua según el lema: pensar globalmente y actuar localmente; o como dicen otros: prepararse para lo peor y obtener lo mejor. Es indudable que es mucho más económico y eficaz ahorrar recursos en vez de optimizar la búsqueda de nuevos con todas las implicancias inherentes.

El abastecimiento de agua potable constituye una importante demanda de agua dulce, estimándose volúmenes del orden de los 17,000 m³ anuales hacia 1996, lo que representa alrededor del 16,5% del volumen total utilizado en Sudamérica [1]. En el Perú, el sector doméstico consume aproximadamente del 19% del agua disponible. Del total de domicilios en el país (4,5 millones) solamente el 43% tiene acceso a la red pública de agua potable, mientras la mayoría obtiene el recurso de ríos, acequias o manantiales (22,9%), pozos (11,5%), pilones de uso público (10%) u otras fuentes (12,5%) [7].

Todavía el 22% del agua ya tratada y canalizada se pierde en Lima, por kilómetro de red hay entre cinco y seis fugas [5], y aún no se depura en grandes cantidades las aguas residuales para su reuso en agricultura, sea en el regadío de áreas verdes o en la agricultura (véase más adelante).

Una contribución importante se puede hacer disminuyendo el volumen de la carga en los retretes. Diseños modernos que se pueden ver ya en los aviones, se basan en un modelo sueco que necesita sólo 3 litros por descarga y no 20 como los modelos anticuados. Lo mismo ocurre con la máquinas modernas de lavar que se conforman con un tercio del agua (y de paso se ahorra energía de calentamiento). Es interesante conocer el consumo doméstico de agua por tipo de servicio en un país emergente como México en 1992 (7).

Tabla 1: Usos de agua doméstica en Méjico

Tipo de servicio	en %
Inodoro	40
Regadío/lavabo	30
Lavadora	15
Lavaplatos	6
Preparación de comidas	5
Lavado de autos	4

El agua en la agricultura

El uso del agua en la agricultura es destinado principalmente al riego, que consume alrededor del 70% de la demanda total a fin de cubrir las necesidades de cerca de 10 millones de hectáreas y una aplicación promedio de 7,500 m³ anuales por hectárea en Sudamérica. [1]. En el Perú, el sector agricultura utiliza el 72% del agua consumida anualmente. Del total de tierras agrícolas en el país (4,7 millones de hectáreas), el 37% se encuentra bajo riego, cuya aplicación es del orden de 2,500 m³ anuales por hectárea. Este valor es un promedio, dado que la cantidad de agua utilizada depende del tipo de cultivo o técnica de riego y, además, se debe considerar que el 38% de las tierras agrícolas bajo riego no disponen permanentemente de agua [8].

Como el riego es un consumidor principal del agua potable (o con características cerca de ello) y no la industria (como es justamente el caso de los países industrializados) se debe utilizar siempre la última tecnología disponible. La primera medida es aplanar el terreno, respetando escrupulosamente las *líneas de nivelación* para minimizar la erosión. Sin embargo, el aprovechamiento del agua de *riego por inundación* alcanza sólo el 50-60%. El resto se evapora o se filtra a profundidades inalcanzables para las raíces de las plantas cultivadas. El precio del agua de riego es bajo (\$ 0,003 /m³) y con eso se encuentra muy por debajo del costo económico del agua y por debajo de los costos de operación y mantenimiento de la infraestructura empleada para la obtención del agua. Estas bajas tarifas invitan al desperdicio y al uso ineficiente. El Gobierno Central interviene con donaciones de equipos y otros subsidios.

El *riego por aspersión* disminuye el desperdicio pero está claro que siempre se riega necesariamente todo el área de cultivo es decir el suelo entre planta y planta o entre surco y surco. De esta forma no se puede controlar la mala hierba vía oferta de agua.

Los *rociadores* que riegan en círculos de hasta 80 m de radio presentan una eficiencia del 70-80% y se usan para gramíneas (pastos) y cereales (maíz). El agua usada es subterránea, del mismo subsuelo del riego.

El siguiente paso tecnológico es el *riego por goteo* que busca lograr el riego individualizado de cada planta y por ello aprovecha el agua al máximo y su eficiencia llega al 90%. En estos campos prácticamente no hay mala hierba ya que sólo se humedece el área de cultivo de interés. Posibles desventajas, sin embargo, no se deben esconder: peligro de erosión y salinización del terreno que no está bajo riego.

Otra opción para retener la humedad del terreno es el llamado *acolchado plástico*, práctica de tecnología moderna, que evita la pérdida de humedad del terreno por evaporación.

El uso de plásticos bio-fotodegradables eliminó un gran inconveniente inicial de esta tecnología. Casi siempre estos plásticos son de color negro para absorber al máximo los rayos solares y garantizar de esta manera su fotodescomposición.

Se debe ampliar un poco la información sobre el uso del agua depurada en la agricultura, porque se hacen bastante estudios sobre este campo comparando la eficacia frente al agua subterránea del lugar.

En el caso de cítricos se dispone de un estudio hecho en Castellón, España, durante el año en curso [10]. Uno de los factores limitantes en el uso de las aguas depuradas en agricultura es el ion boro, cuya fuente son detergentes en los cuales se encuentra en forma de perboratos. El boro, cuando está presente en un contenido mayor que 1 mg/l [10] causa problemas de crecimiento del árbol. Naturalmente, si la concentración de sales restantes (Na^+ , Cl^-) es alta existe un serio riesgo de una salinización del terreno, que puede ser aminorado por vía natural en regiones con una cierta precipitación pluvial. En este sentido cabe añadir que aún persiste una discusión sobre cómo influye la presencia del cloruro de sodio. Unos se inclinan por el efecto de ósmosis [10] o por

una toxicidad del ion cloruro [11]. Salvando una excesiva salinidad (el valor en cloruro es de 0,7%) [11] y observando un valor máximo en boro no hay diferencia en el crecimiento de árboles ni en la cantidad de la cosecha recogida con los parámetros controlados como peso, diámetro, acidez y relación cáscara *versus* pulpa.

El nitrógeno presente en las aguas residuales parece garantizar un buen desarrollo de las plantas. Se ha tratado este tema con cierta extensión dada la posible importancia para el Perú.

3. EL AGUA EN LA INDUSTRIA

La demanda de agua dulce para la actividad industrial en Sudamérica es del orden de 15,000 m³ anuales. El sector minería es uno de los que más ha crecido en cuanto a demanda de agua en la región. (1). En el Perú, la actividad industrial utiliza el 9% del total de agua consumida en el país, siendo que la actividad minera representa el 12% de este total. Este crecimiento en el consumo de agua por la actividad minera ha afectado a la calidad del agua de riego, pues, se estima que por lo menos el 7% de la superficie agrícola bajo riego utiliza aguas contaminadas con relave (metales pesados) [9].

El potencial de ahorro que ofrece el consumo de agua en la industria es enorme. Es útil mencionar que la industria papelera que en 1900 usaba 1000 litros de agua por 1 kg de papel producido, ha progresado mucho y hoy en día el consumo es nulo, porque el agua recircula al 100%. [12].

En la figura 2 debería aparecer para el año 1995 el consumo de 1,5 litros que es la pérdida por evaporación durante el proceso productivo.

La dación/dotación de leyes que impiden a las industrias verter aguas residuales junto con la presión social constante resulta ser un beneficio para la industria, ya que ello posibilita la reutilización del agua reduciendo su consumo.

La desalación de las aguas salobres sea por ósmosis o por destilación es la solución en algunos casos. La desalación mediante destilación tiene una historia larga.

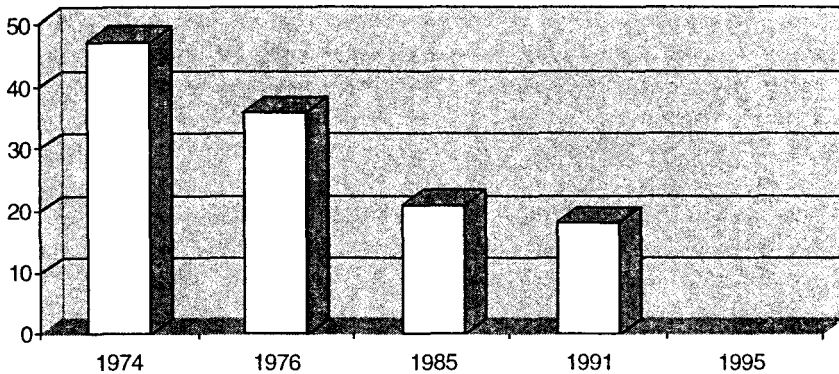


Figura 2: Volumen descendiente de consumo de agua en la industria papelera por kg de papel producido

Los barcos a vapor de largo recorrido destilaban agua de mar con el calor desprendido de la cocina o motores. En 1889, se instaló una destilación de agua de mar en Aden (una colonia inglesa en la ruta hacia la India) para poder abastecer los barcos en este puerto de la península arábiga.

¡Ya en 1872 funcionó en Las Salinas, Antofagasta, Chile una planta con una producción diaria de unos 22 m³!

Hoy día se obtienen más de 20 hm³/día. [13] El crecimiento de la producción de agua potable a partir de agua marina es del 18% anual, un aumento impresionante en los últimos 25 años. América del Norte y la península arábiga lideran la producción mundial. Son dos las técnicas que predominan para la obtención del agua potable. Una es la llamada "ósmosis inversa" que puede partir del agua de mar o aguas salobres y cuya importancia está creciendo año tras año y aún, en primer lugar, la "evaporación súbita en etapas" que es una destilación en cámaras separadas a presiones diferentes. La ósmosis inversa se caracteriza por un ahorro energético frente a la destilación en un 20-30%.

La siembra de nubes mediante yoduro de plata, practicada hace una veintena de años atrás se abandonó por arrojar una baja relación costo/beneficio. (Se usaba AgI por la semejanza de su estructura reticular

con la del hielo, pero uno de los efectos colaterales era el aumento de la formación de granizo. Quiere decir, que el crecimiento del germen que servía como núcleo era demasiado rápido). Estudios más recientes se concentran en la nebulización de sales higroscópicas ("siembra

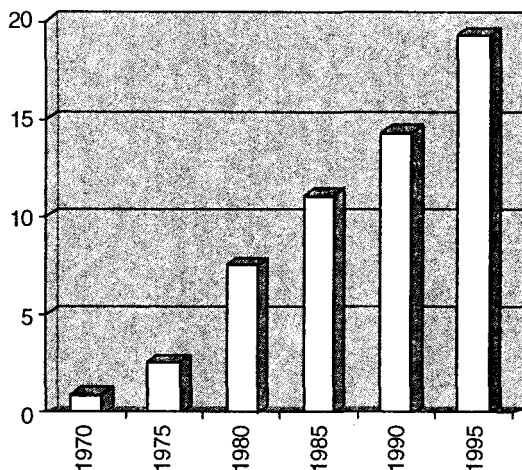


Figura 3: Volumen mundial de agua obtenida por desalación

higroscópica") para iniciar de esta forma la condensación del agua gaseosa [14]. La inyección de la sal se realiza en la parte *inferior* de la nube del tipo "cumulus" y por eso casi no hay peligro de que se forme granizo.

Otro método de conseguir agua para diversas zonas del mundo consiste en el remolque de témpanos oriundos de la antártica hacia regiones desérticas con su derretimiento posterior, hasta ahora sólo ha quedado en proyectos, aunque para Chile, por su posición geográfica, puede ser una opción.

Este año 2001 se está gestionando una patente en Alemania que tiene como principio la obtención de agua a partir de la humedad reunante del ambiente en zonas desérticas. Durante la noche un aparato relleno de adsorbentes de agua retiene del aire fresco la humedad y se satura. A medida que aumenta la temperatura durante el día el adsorbente pierde el agua y además se regenera. De esta forma se

obtiene agua "destilada" que para el consumo humano necesita una adición de minerales. En el Perú, en la franja costera, tenemos la suerte de que el aire contiene bastante humedad (humedad relativa oscila entre el 70 y 100%). Así la energía solar puede abastecernos del líquido elemento.

4. VALORIZACIÓN REAL DEL RECURSO

En casi todo el mundo el recurso agua es subapreciado, es decir, con un precio que no le corresponde en absoluto.

Como el agua cuesta muy poco se reparan insuficientemente las fugas en los sistemas de distribución. (En Lima se pierden el 22 % del agua tratada, como mencionamos arriba).

Se utilizan grandes cantidades para lavar aceras, calles y para el riego de prados y campos de golf.

Muchas ciudades del mundo no incentivan a evitar el despilfarro por no existir medidores de consumo de agua para cada apartamento. Con esta modalidad nadie se ve favorecido por un ahorro del líquido vital. *Sólo cuando se individualiza el consumo, el efecto sensibilizador es inmediato.*

En el campo es frecuente un sobrerriego, lo que no sólo es un despilfarro del recurso, también los fertilizantes van a zonas profundas del suelo donde son inalcanzables para las raíces de la plantas.

Los proyectos hídricos se financian a veces con un presupuesto nacional (en vez de regional) y de esta forma se subsidia el precio del agua en zonas que deben tener un precio ajustado a la realidad regional (relación del recurso natural disponible versus consumo). Cada región debe tener su precio del agua. El precio real del suministro debe prevalecer sobre políticas populistas.

¿Cuáles son estos costos adicionales que suman mucho más que las obras civiles, obras demandadas para disponer de la mera infraestructura?

- política de recargar acuíferos adecuadamente en zonas en que se extrae agua subterránea
- incluir en los costes del agua los gastos necesarios para mantener la cuenca de un río "intacta" ecológicamente
- realizar periódicamente campañas de educación, sensibilización y concientización sobre el aire, el agua y suelo de la región, a nivel infantil y de adultos.
- tomar medidas enérgicas que evitan la contaminación de la región

Se puede profundizar los 4 puntos anteriores en lo siguiente:

- Establecer y aplicar normas, con subdivisiones como uso, recuperación y reciclaje, que tienen como objeto manejar integralmente una cuenca.
No se conoce el porcentaje del agua depurada en la región de Lima, pero es triste saber que en la Islas Canarias sólo el 30% se depura con fines de reutilización, mientras el 70% va al Atlántico, en una región con aguda escasez de agua.
- Se recuerda que la cantidad de agua residual de 1000 consumidores es suficiente para regar 1 hectárea.

Finalizamos con una apreciación personal de que el recurso Agua en el siglo 21 será mucho más importante/determinante y por eso políticamente explosivo, que el petróleo, por el creciente uso de la energía solar, que justamente abunda en zonas áridas y que suaviza el problema energético de muchos países emergentes.

BIBLIOGRAFÍA

1. SAMTAC. Agua para el siglo XXI: de la visión a la acción. Módulo 3, Buenos Aires, 2000, p.81.
2. ONU. Review of sectorial clusters, first phase: health, human settlement and freshwaters, Report of the Secretary General Freshwater Resources, Economic and Social Council, Commission on Sustainable Development, Second Session, 16-27 may 1994. E/CN.17/1994/4.
3. Falkenmark, M.; Widstrand, C.; Population and water resources : a delicate balance, Population Bulletin, Population Reference Bureau, Washington, 1993, p.18-22.

4. Chang, L., El Medio Ambiente del Perú. Año 2000. Citado en "El Comercio" del 7 de noviembre de 2000, p. B 14.
5. Silvestri, C.; Presidente de Sedapal, Canal N, Lima, 21 de septiembre de 2000.
6. Comunicación durante la presentación del proyecto "Centro de Producción Limpia en Perú", auspiciado por USAID y SECO, el día 26 de octubre de 2000 en Miraflores.
7. INEI Socio – demográfico. Lima, INEI, 1993.
8. Fundación F. Ebert; Energía, Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable, 1992.
9. INEI; Perfil agropecuario, Lima, INEI, 1995.
10. Influence of wastewater vs. Groundwater on young Citrus Trees, Reboll, V.; Cerezo M.; Roig, E.; Flors, V.; Lapeña, L.; y García-Agustín, P.; J. Sci.Food Agric. 80,1441-1446,2000.
11. Chapman H.D.; The mineral nutrition of citrus, in The Citrus Industry, vol. II, Ed. por Reuther W. University of California Press, Berkeley, C.A.; p.127 (1968).
12. Cole, P.J.; Chloride toxicity in citrus. Irrig. Sci 6, 63-71 (1985).
13. E.U. v. Weizsäcker *et al.*, Faktor Vier, Droemersch Verlaganstalt, München 1995-1996, p.116.
14. Depuración, Desalación y Reutilización de Aguas en España. A. M. Rico Amorós, oikos-tau, Barcelona, 1998, p.139.
15. Programa TV Discovery, "Supresión del Granizo" 27/11/00.