

## VALORACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES EN ISRAEL COMO UN RECURSO AGRÍCOLA: CONSIDERACIONES A TOMAR EN CUENTA PARA LA GESTIÓN DEL AGUA EN EL PERÚ

Lawrence Enrique Quiquizco Ushñahua\*

### RESUMEN

Proyecciones realizadas por científicos sobre la situación del agua señalan al Perú como una de las regiones más amenazadas por la escasez del recurso hídrico para el 2025.

Las sequías en varias regiones, la pérdida progresiva de los glaciares, la contaminación de las cuencas de la costa, la sobreexplotación de los recursos acuíferos, el uso irresponsable del recurso agua por las malas prácticas de irrigación, la cada vez creciente demanda de agua en ciudades densamente pobladas, son problemas que hoy en día están incidiendo en aquellos lugares del Perú donde el recurso agua escasea.

Las medidas para contrarrestar la escasez de agua dependerán mucho de las decisiones acertadas que tome el Estado y los gobernantes. Algunas experiencias desarrolladas en el Estado de Israel se pueden tomar en consideración para la gestión del agua en el Perú.

El Estado de Israel planificó y realizó esfuerzos intensivos de Investigación y Desarrollo a largo plazo para integrar las aguas servidas a los recursos hídricos del país.

El objetivo primordial del tratamiento de aguas residuales en Israel no solamente tiene por fin proteger la salud pública, sino además se propone como objetivo la protección del medio ambiente y el reciclaje de las aguas residuales en la agricultura.

Las aguas residuales son a menudo vistas como un desecho, una molestia, un riesgo para la salud pública. El enfoque israelí sostiene que **LAS AGUAS RESIDUALES CONSTITUYEN UN RECURSO, ESPECIALMENTE UN RECURSO AGRÍCOLA.**

En el Perú, el agua residual tratada adecuadamente puede proveer una fuente de agua valiosa para usos no potables. La práctica combinada de sistemas de tratamiento de agua residual y una racional irrigación agrícola como es usada en Israel, significaría una estrategia económicamente posible para desarrollar una fuente de agua crucial para la agricultura peruana.

**Palabras clave:** Sistema de suelo-acuífero, tratamiento de reservorios profundos, humedales artificiales, recurso agrícola.

### AN APPRAISAL OF RESIDUAL WATERS IN ISRAEL AS AN AGRICULTURAL RESOURCE: GUIDELINES TO BE CONSIDERED FOR WATER MANAGEMENT IN PERU

### ABSTRACT

Projections carried out by scientists about the situation of the water, point out that Peru will suffer of shortage of the water resource in the 2025.

\* Ingeniero Agrícola de la Universidad Nacional Agraria La Molina.  
Consultor del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica-Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima-Perú.  
E-mail: lawrence2002pe@yahoo.com

The droughts in several regions, the progressive loss of the glaciers, the contamination of the coastal basin, the over exploitation of the aquifer resources, the irresponsible use of the resource for the bad practice of irrigation, the growing demand of water in densely populated cities, are problems that nowadays are impacting in those places of Peru where the water resource is scarce.

The measures to counteract the shortage of water will depend of the proper decisions that take The State and the governors. Some developed experiences in the State of Israel can be taken in consideration for the management of water in Peru.

The State of Israel planned and carried out intensive efforts of Investigation and Development to long-time to integrate the wastewaters to the water resources of the country.

The main objective of the wastewaters treatment in Israel is not only to protect the public health but also has as objective the protection of the environment and the reuse of the wastewaters in the agriculture.

The wastewaters are often seen as a waste, a nuisance, a risk for the public health. The Israeli principle sustains that **THE WASTEWATERS CONSTITUTE A RESOURCE, ESPECIALLY AN AGRICULTURAL RESOURCE.**

In Peru, the wastewaters appropriately treated can provide a source of valuable water for undrinkable uses. The combined practice of wastewaters treatment systems and a rational agricultural irrigation such as is used in Israel, would mean an economically possible strategy to develop a source of crucial water for the Peruvian agriculture.

**Keywords:** Soil aquifer treatment, deep reservoir treatment, constructed wetlands, agricultural resource.

## 1. INTRODUCCIÓN

Las sequías en varias regiones, la pérdida progresiva de los glaciares, la contaminación de las cuencas de la costa, la sobreexplotación de los recursos acuíferos, el uso irresponsable del recurso agua por las malas prácticas de irrigación, la cada vez creciente demanda de agua en ciudades densamente pobladas, son problemas que hoy en día están incidiendo en aquellos lugares del Perú donde el recurso agua escasea. Las medidas para contrarrestar la escasez de agua dependerán mucho de las decisiones acertadas que tome el Estado y los gobernantes. Algunas experiencias desarrolladas en el Estado de Israel se pueden tomar en consideración para la gestión del agua en el Perú.

Israel comenzó a aplicar el riego con aguas residuales en forma masiva a comienzos de los años 70 para la producción de algodón. Hoy en día, todo tipo de cultivos son irrigados con aguas servidas tratadas; el 80% de las aguas residuales tratadas de Israel son reutilizadas en la irrigación agrícola. Hay cerca de 200 reservorios para el almacenamiento de aguas servidas en el país, y varios proyectos nuevos se encuentran en estado avanzado de planificación o construcción. Las aguas residuales tratadas son consideradas una parte integral de los recursos hídricos del país. Pero, ¿cómo fue posible que Israel haya alcanzado grandes logros en el tema del tratamiento de aguas

residuales y su reuso en la agricultura? En primer lugar, debemos comenzar explicando cuáles fueron las circunstancias que llevaron a tales logros.

Israel se halla situado en la margen oriental del Mediterráneo, entre las latitudes 29° y 33°; norte.

Limita al norte con el Líbano y Siria, al este con Jordania y al sudoeste con Egipto.

Tiene una extensión de 22 000 km<sup>2</sup>, de los cuales menos de 1/5 parte de su superficie está conformada por llanuras costeras y depresiones (Jordán y valle de Yezreel), más de 1/5 parte de colinas (Galilea, Monte Carmelo y colinas de Jerusalén) y de más de 3/5 partes de desierto (región del Negev situada al sur del país).

La escasez de agua es un factor limitante de la agricultura en Israel. Las tres fuentes de agua que abastecen la mayor cantidad de la demanda de agua para el uso industrial, doméstico y agrícola, además de la precipitación, son el Mar de Galilea, del cual un promedio anual de 400 MMC es bombeado al sur (Desierto del Negev), los acuíferos montañosos y los acuíferos costeros.

A causa del sobrebombeo y frecuentes sequías, especialmente durante la última década, la disponibilidad de agua ha decrecido sustancialmente, haciendo necesario cortar la cantidad de agua designada a la agricultura. En tales circunstancias, el Estado de Israel planificó y realizó esfuerzos intensi-

vos de Investigación y Desarrollo a largo plazo para integrar las aguas servidas a los recursos hídricos del país.

El objetivo primordial del tratamiento de aguas residuales en Israel no solamente tiene por fin proteger la salud pública, sino además se propone como objetivo la protección del ambiente y el reciclaje de las aguas residuales en la agricultura.

Las aguas residuales son a menudo vistas como un desecho, una molestia, un riesgo para la salud pública. El enfoque israelí sostiene que *las aguas residuales constituyen un recurso, especialmente un recurso agrícola*. Ello es así hasta el punto de que se prevé que en el año 2020 el agro regado israelí se basará principalmente de aguas residuales tratadas.

## II. TRATAMIENTOS INNOVATIVOS DE AGUA RESIDUAL PARA IRRIGACIÓN EN ISRAEL

El Estado de Israel en la actualidad está aplicando, para el reuso en la irrigación, dos tipos complementarios de tratamiento extensivos de aguas residuales: los tratamientos intensivos y los semi-intensivos. Éstos son:

### 2.1. Tratamiento de suelo acuífero (Soil Aquifer Treatment-SAT)

El Sistema Suelo Acuífero consiste en el paso controlado del efluente, previamente tratado en un sistema intensivo (lodos activados), a través de una

zona saturada y una porción del acuífero dedicado a la purificación y almacenamiento del efluente. El sistema SAT remueve eficientemente materia orgánica y nutrientes (N y P), una variedad de metales pesados, elementos tóxicos, bacterias patógenas y virus.

Por ejemplo, tenemos a la Planta de Tratamiento de Shafdan en Tel Aviv, en donde un total de 300 000 m<sup>3</sup> de agua residual es llevada diariamente allí para su tratamiento y producción de agua para uso agrícola irrestricto (Véase figuras N.º 1 y 2).

Siguiendo el tratamiento de la planta (unidad de pretratamiento, tanques de aeración y clarificadores), el efluente es llevado a campos de infiltración de dunas de arena en un acuífero de agua subterránea (sitios de recarga entre los 25 y 60 ha.). La infiltración sirve de triple propósito: filtración, desinfección y almacenamiento (Véase figura N.º 3). El efluente infiltrado permanece en el suelo alrededor de 400 días. Después, el rebombeo del acuífero provee agua de cerca de la calidad de potable y es canalizada al sur de Israel, contribuyendo al desarrollo agrícola.

Shafdam trata más de 100 MMC anualmente, contribuyendo a más del 100 MMC al potencial de agua subterránea nacional cada año. La capacidad de tratamiento de la planta es alrededor de 150 MMC anuales, esto constituye aproximadamente el 9% del consumo de agua nacional y alrededor del 35% del consumo de agua en la parte sur del país. La población servida es de un estimado de 1.5 millones.

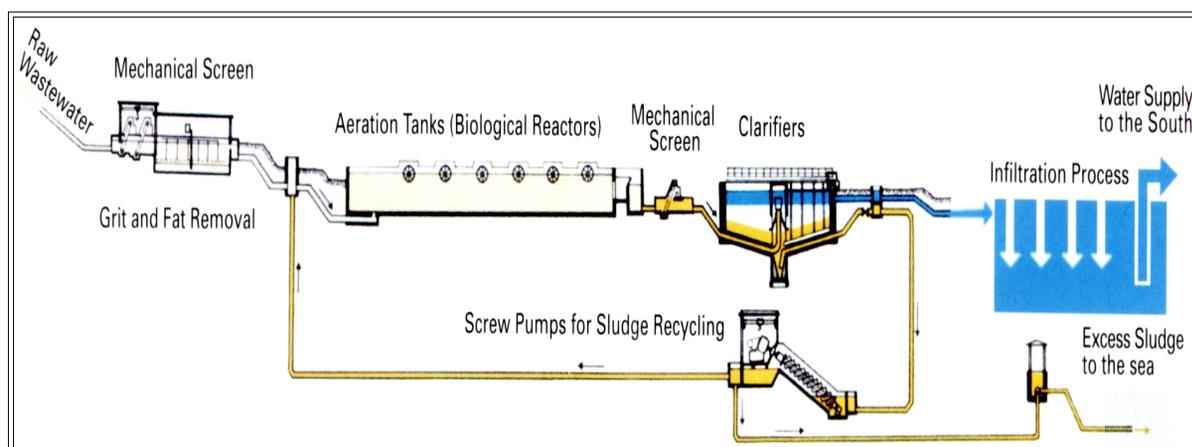
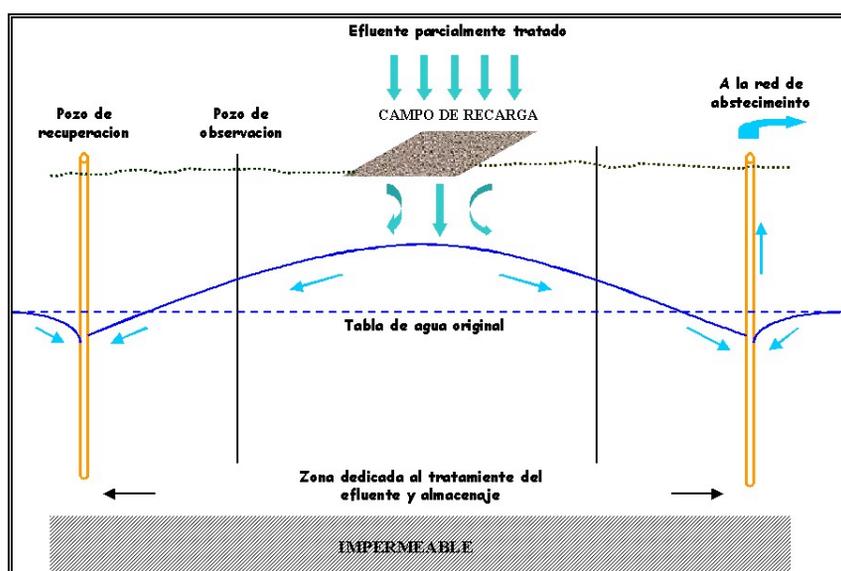


Figura N.º 1. Esquema del proceso de tratamiento en Shafdan.



**Figura N.º 2.** Vista panorámica de la PTAR Shafdan - área 45 ha (pretratamiento, reactores biológicos y clarificadores).



**Figura N.º 3.** Esquema del Sistema de Tratamiento Suelo-Acuífero.

## 2.2. Tratamiento de reservorios profundos (Deep Reservoir Treatment-DRT)

Consiste en reservorios de estabilización (de 8 a 15 m de profundidad) para almacenamiento estacional y purificación de efluentes parcialmente tratados provenientes de sistemas semi-intensivos (lagunas aeróbicas y anaeróbicas) (Véase figura N.º 4).

El mayor y el más grande ejemplo de almacenamiento estacional de agua residual para ser reusado es el complejo Ha Kishon en el área metropolitana de Haifa. Allí, unos 25 MMC anuales de efluentes tratados biológicamente son conducidos a reservorios de estabilización de 12 MMC en volumen.

El Sistema de Reservorios Profundos produce efluentes para uso restringido o limitado para

la irrigación de cultivos no comestibles. Los reservorios son usualmente operados en modo *batch* secuencial. Los reservorios de estabilización, diseñados y operados bajo estas condiciones, pueden remover el 90% de la DBO, detergentes, 3-4 órdenes de magnitud de coliformes fecales y otros contaminantes.

Las principales desventajas de los reservorios de estabilización son los grandes requerimientos de tierra. Sin embargo, su capacidad de almacenamiento regula entre la producción que ocurre a través del año y la demanda de efluentes para irrigación que ocurre solamente durante los meses de verano seco [1, 2, 3, 4].



Figura N.º 4. Vista panorámica de un PTAR basado en unidades semiintensivo y reservorio profundo.

El costo de agua de estos sistemas lo podemos observar en el siguiente cuadro comparativo de varias fuentes:

	US cents por m <sup>3</sup>
<b>Fuentes de agua convencional</b>	25 - 30
<b>Reuso de agua residual:</b>	
a) Tratamiento biológico secundario	5 - 15
b) Tratamiento químico terciario	10
c) Tratamiento reservorio profundo (DRT)	7 - 15
d) Tratamiento suelo acuífero (SAT)	17
<b>TOTAL SAT (a+d o a+b+d)</b>	22 - 42
<b>TOTAL DRT (a+c)</b>	12 - 30
<b>Desalinización de agua salobre</b>	40 - 60
<b>Desalinización del agua del mar</b>	60 - 100

### III. TRATAMIENTO Y DEPOSICIÓN DE LODOS EN ISRAEL

La producción de lodos en Israel es de 104 550 toneladas de materia seca anual, de las cuales el 35% es utilizada en la agricultura como fertilizante (Véase figura N.º 5).

Los aspectos positivos del uso de lodos en la agricultura son:

- Aporte de microelementos N, P, K.
- Aporte de microelementos Fe, Zn, Cu, Mn, Mo.
- Aporte del nivel de materia orgánica en el suelo (influencia sobre la retención de agua, estructura del suelo).
- Se evita contaminación.
- Disminución del costo de deposición de los lodos.

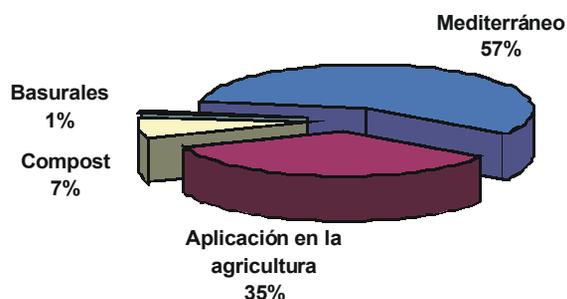


Figura N.º 5. Deposición de lodos en Israel (104 550 toneladas de materia seca/anuales).

#### 3.1. Política de manejo de los lodos en Israel

La política de manejo de los lodos en Israel tiene dos aspectos:

- Deposición de todos los lodos, utilizándolos en forma controlada en la agricultura.
- Alcanzar un nivel de biosólidos de Tipo A.

### 3.2. Regulaciones para el uso de lodo y deposición

#### Requerimientos de estabilización

- No hay un estándar o un método determinado.
- Toda tecnología aprobada que inhiba olor, moscas y reduzca patógenos.

#### Clasificación higiénica

Tipo A de acuerdo a los estándares microbiológicos de la US EPA.

- Coliformes fecales < 1000 NMP / 1g suelo seco.

Tipo B de acuerdo a los estándares microbiológicos de la US

- Coliformes fecales < 2000000 NMP / 1g suelo seco.

#### Concentración de metales pesados

METALES PESADOS	VALORES LÍMITES (mg/kg materia seca)
Cd	20
Cu	600
Hg	5
Ni	90
Pb	200
Zn	2500
Cr	400

### 3.3. Tratamiento de desechos orgánicos en tambos lecheros

En Israel, hay alrededor de 200 000 vacas lecheras. Estas vacas producen aguas servidas en una cantidad equivalente a 6 millones de personas.

Según la reforma de tambos, en Israel se establece el 50% de subsidio para inversiones en el mejoramiento de aspectos ambientales y el 30% de subsidios para mejoras en tambos lecheros.

#### Posibilidades de uso de la fracción sólida

- Como material de lecho para las vacas.
- Como parte de substratos para los cultivos.

- Para la producción de energía (gas metano).
- Uso como fertilizante, cobertura del suelo o mejorador (fresco o después de la compostación).

### 3.4. Procesamiento de lodos para la fabricación de compost

La empresa Shacham Givat Ada recicla residuos orgánicos de 100 000 m<sup>3</sup> en categorías de: *pellet fertilizers* y *compost* de efluentes.

#### *Pellet fertilizers*

Los *pellets* o fertilizantes granulados son hechos de estiércol de vacas de establo, estiércol de aves de corral y fertilizantes (N, P, K).

Entre sus ventajas tenemos que son:

- Los *pellets* son usados en diferentes cultivos, frutas, vegetales, flora y jardines.
- Fácil distribución en el campo, fácil transporte, manejo y almacenamiento.
- Alta calidad, libre de patógenos.
- Descomposición lenta y disponibilidad de nutrir a la planta por largo tiempo.

#### *Compost de efluentes*

Se utilizan la materia orgánica de la basura de la ciudad, la poda de los parques y jardines y efluentes (Véase figuras N.º 6 y 7).



**Figura N.º 6.** Reservorio de efluentes utilizado para la fabricación de compost-Shacham Givat Ada.



**Figura N.º 7.** Preparación de *compost*-Shacham Givat Ada.

### 3.5. Planta de biogás Emek Hefer

La planta procesará más de 200 000 ton/año de residuos: recolección del estiércol de los establos de tres municipalidades regionales siendo Emek Hefer la central (Véase figura N.º 8).



**Figura N.º 8.** Planta de Biogás Emek Hefer-Israel.

La planta está calculada para estiércol húmedo de 12 000 vacas lecheras, además de los industriales como restos de mataderos, etc., los lodos secos de estiércol en los corrales de los establos y gallineros también serán tratados.

El biogás de alta calidad será usado en el calentamiento de los lodos y su mayor parte será utilizado en la producción de electricidad. El resto de los residuos del tratamiento dará fertilizante pasteurizado y líquido, el cual tendrá que ser reducido en su volumen y adaptado en su calidad para poder ser usado en la agricultura [5, 6, 7].

## IV. HUMEDALES ARTIFICIALES PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

En Israel, se está comenzando a implementar humedales artificiales en una forma incipiente pero con éxito. La tecnología de humedales artificiales o *wetlands* está definida como un complejo ecosistema de substratos saturados, vegetación (macrófitas) y agua, cuyo objetivo es la remoción de la mayor cantidad de contaminantes del agua residual, a través de mecanismos de depuración que actúan en los humedales, como la remoción de sólidos suspendidos por sedimentación y filtración, biodegradación de la materia orgánica a partir de microorganismos aeróbicos y anaeróbicos, eliminación de microorganismos patógenos por sedimentación, filtración, toxicidad por antibióticos producidas por las raíces de las macrófitas, absorción en partículas de arcilla y la acción predatora de otros organismos, remoción de metales pesados atribuido al fenómeno precipitación-absorción, precipitación de los hidróxidos, sulfuros, y ajuste de pH.

En el Moshav Zippori, las aguas servidas tratadas por los humedales se están usando en el riego de plantas ornamentales que se están exportando al Japón (Véase figura N.º 9).



**Figura N.º 9.** Humedales artificiales en el Moshav Zippori-Israel.

## V. NORMAS SANITARIAS DE CALIDAD DE EFLUENTE EN ISRAEL

La legislación israelí establece las siguientes normas sanitarias vigentes de calidad de efluentes, actualizadas en 1999 [8, 9]:

Parámetro Unidades	Coliformes fecales por 100 ml	DBO mg/l (max.)	Sólidos suspendidos mg/l (max.)	Oxígeno disuelto mg/l (min.)
Efluentes en general	10	20	30	0.5
Cultivos Industriales		60	90	
Jardines	10	20	30	0.5
Canchas de golf	14	20	30	0.5

Existe la propuesta de un nuevo estándar israelí para el tratamiento de aguas residuales para la irrigación irrestricto y descarga a ríos donde se consideran aspectos ambientales, agrícolas, hidrogeológicos, forestales y salud pública. En esta propuesta, aún no aprobada, se incluye 38 parámetros y una relación DBO/SST de 10/10.

## VI. PLANTEAMIENTO PARA EL MANEJO DE AGUA EN ISRAEL EN EL FUTURO

La prospectiva realizada por los especialistas en Israel para enfrentar el problema de agua en los siguientes años es:

- Alcanzar un uso de efluentes de 500 MMC en el 2010 (aproximadamente 240 MMC de agua residual tratada es reusada, actualmente).
- Para el año 2020, la irrigación agrícola deberá basarse en aguas tratadas, aguas salobres, captaciones de escorrentía superficiales, drenaje urbano tratadas, etc. El agua de calidad de potable será suministrada sólo para las ciudades, y no habrán excedentes para fines de riego.
- En el futuro, la demanda de agua será muy grande, por lo tanto, se deberán usar otras alternativas como la desalinización de agua salobre, desalinización de agua de mar y la importación de agua de otros países.

## VII. ASPECTOS A TOMAR EN CUENTA PARA LA GESTIÓN DEL AGUA EN EL PERÚ

Actualmente en el Perú se producen cerca de 1000 MMC de aguas residuales domésticas (aguas servidas) anualmente. De este volumen, sólo el 19% es tratado.

Aproximadamente el 81% de las aguas servidas generadas por las ciudades peruanas son dispuestas sin ningún tratamiento en ambientes acuáticos superficiales, como ríos, lagos, mares y tierras agrícolas.

En el Perú, el agua residual tratada adecuadamente puede proveer una fuente de agua valiosa

para usos no potables. La práctica combinada de sistemas de tratamiento de agua residual y una racional irrigación agrícola, como se realiza en Israel, significaría una estrategia económicamente posible para desarrollar una fuente de agua crucial para la agricultura peruana.

He considerado seis puntos importantes que deberían tomarse en cuenta en la gestión del agua en el Perú:

- Dar importancia y énfasis a la Educación Ambiental.
- Establecer reglas claras relacionadas al agua que sean respetadas (Ley de Aguas).
- Invertir en la investigación.
- Lograr que el tratamiento de las aguas residuales se dé en el origen de la contaminación, hasta alcanzar los límites establecidos de contaminación.
- Aplicación de tecnologías adecuadas a nuestra realidad, es decir, además de eficientes, que sean baratas y fáciles de mantener y operar.
- Reuso para la agricultura.

## VIII. CONCLUSIONES

Proyecciones realizadas por científicos sobre la situación del agua, señalan al Perú como uno de los países más amenazados por la escasez del recurso hídrico para el 2025.

En la Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible, se estableció que el saneamiento está íntimamente relacionado con la buena salud y se mencionó la necesidad de elaborar planes de acción concretos para proteger la salud humana y el medio ambiente. Algunas de esas medidas son: diseñar y establecer sistemas eficaces de saneamiento para los hogares y promover tecnologías y prácticas de bajo costo y aceptables desde un punto de vista social y cultural.

Asimismo, uno de los grandes desafíos que constituye la estructura del Primer Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo (*The World Water*

*Development Report*) es que las universidades se conviertan en entes que aseguren la difusión de los conocimientos básicos: «La educación científica a nivel universitario enfrenta una grave crisis en muchos países en desarrollo y poco a poco se va instalando la idea que la ciencia no logra abordar los grandes problemas del abastecimiento de agua, del saneamiento, de la seguridad alimentaria y del medio ambiente. Es indispensable contar con más trabajos de investigación sobre estructuras institucionales y técnicas de gestión eficaces para países de bajos ingresos».

Es por ello que, ante el posible escenario de agotamiento del recurso agua y de conflictos en aquellas zonas del Perú donde más escasea, las universidades y, en especial, los institutos de investigación y unidades de post grado deberían promover programas y proyectos de investigación acerca de sistemas de tratamiento de agua residuales, así como su reuso en la agricultura con el fin de integrarlos dentro de una política de gestión de recursos hídricos.

## IX. BIBLIOGRAFÍA

1. Dan Region Association of Towns. *For Sewage and Environmental Issues*. Tel Aviv. Israel. Mey Ezor Dan - Agricultural Cooperative Water Society L.T.D. Dan Region Association of Towns Environment. 2003.
2. Hagali, Zeev. *Empresa de irrigación con agua reciclada en el valle Emek Hefer*. Curso Internacional: «Tratamiento de aguas servidas y su reuso en el agro». Shefayim-Israel. Centre for International Agricultural Development Cooperation. MASHAV-CINADCO, 2003.
3. Idelovich, Emanuel. *Tratamientos Intensivos: Tratamientos Suelo-Acuífero (SAT)*. Curso Internacional: «Tratamiento de aguas servidas y su reuso en el agro». Shefayim-Israel. Centre for International Agricultural Development Cooperation. MASHAV-CINADCO, 2003.
4. Kleim, Jaim. *Caracterización de aguas servidas municipales y agrícolas*. Curso Internacional: «Tratamiento de aguas servidas y su reuso en el agro». Shefayim-Israel. Centre for International Agricultural Development Cooperation. MASHAV-CINADCO, 2003.
5. Lerman, Shlomo. *Normas Sanitarias para el uso de efluentes en la Agricultura*. Curso Internacional: «Tratamiento de aguas servidas y su reuso en el agro». Shefayim-Israel. Centre for International Agricultural Development Cooperation. MASHAV-CINADCO, 2003.
6. Tarchitzky, Jorge. *El uso de aguas recicladas en la agricultura*. Curso Internacional: «Tratamiento de aguas servidas y su reuso en el agro». Shefayim-Israel. Centre for International Agricultural Development Cooperation. MASHAV-CINADCO, 2003.
7. Tarchitzky, Jorge. *El uso de lodos en la agricultura y desechos orgánicos de corrales*. Curso Internacional: «Tratamiento de aguas servidas y su reuso en el agro». Shefayim-Israel. Centre for International Agricultural Development Cooperation. MASHAV-CINADCO, 2003.
8. Wastewater Reclamation and Reuse. *Selected Articles I*. Israel, Ministry of Foreign Affairs and Ministry of Agriculture and Rural Development. 1999.
9. Wastewater Reclamation and Reuse. *Selected Articles II*. Israel, Ministry of Foreign Affairs and Ministry of Agriculture and Rural Development. 2001.