

# CONGRESO INTERNACIONAL DE AGUAS RESIDUALES

# MEMORIAS

**CENTRO DE CONVENCIONES "TUZOFORUM"  
ZONA PLATEADA, PACHUCA, HIDALGO, MÉXICO.**



**DEL 30 DE NOVIEMBRE AL 02 DE DICIEMBRE , 2011.**



Memoria Científica del Congreso Internacional de Aguas Residuales 2011

Primera Edición: 2013

Universidad Politécnica de Francisco I. Madero  
Km 2 Carretera Tepatepec - San Juan Tapa.  
Francisco I. Madero, Hidalgo. México. CP 42660

ISBN 978-607-9260-06-4

México. 2013

**Comité Científico y Compilación:**

*Luis Díaz Batalla*

*Susana G. Sánchez Herrera*

*Juan Noguez Estrada*

*Nellybeth Rodríguez Martínez*

**Ilustración:**

María del Rocío Hernández Vargas

Susana Leticia Soto Fernández



## DIRECTORIO

Secretario de Educación Pública

Lic. Emilio Chuayffet Chemor

Subsecretario de Educación Superior

Dr. Fernando Serrano Migallón

Coordinador de Universidades Politécnicas

Dr. Gustavo Flores Fernández

Gobernador del Estado de Hidalgo

Lic. José Francisco Olvera Ruiz

Secretario de Educación Pública

Prof. Joel Guerrero Juárez

Subsecretario de Educación Media Superior y Superior.

Lic. Rolando Durán Rocha

Rector de la UPFIM

Ing. Juan de Dios Nochebuena Hernández

Secretario Académico de la UPFIM

M.C. Julio Antonio Pérez Espinosa

Directora del Programa Educativo de Ingeniería Agroindustrial

M.C. Susana Graciela Sánchez Herrera



## Estimados Congressistas

El crecimiento de la población actual, la vertiginosa industrialización y el aumento de la producción de alimentos, están llevando los recursos mundiales de agua a sus límites, lo que representa una amenaza mundial para la salud humana, el ambiente y la economía. A nivel mundial, un gran porcentaje de la población todavía no tiene acceso al agua potable y a un saneamiento adecuado.

En Hidalgo, México, una gran cantidad de aguas residuales provenientes de las ciudades y las industrias se desechan sin tratamiento hacia el valle del Mezquital, donde se utiliza para el riego de tierras agrícolas semiáridas, lo que resulta en un aumento del rendimiento de los cultivos, pero a su vez trae consigo daños al medio ambiente y problemas de salud pública.

La demanda de agua en el futuro no podrá sustentarse, sin una revolución en la gestión de las aguas residuales, por eso es imprescindible construir mejores vínculos entre los sectores público, privado y académico; a fin de establecer asociaciones y lograr nuevos enfoques en las políticas de manejo del agua.

Sean bienvenidos al "Congreso Internacional de Gestión de Aguas Residuales: Estado actual y perspectivas", una excelente oportunidad para el intercambio de conocimientos y experiencias.

Atentamente

**MDR. Herminio Baltazar Cisneros**

Presidente del Congreso



## PROGRAMA

Miércoles 30 de Noviembre	
8:00 – 10:00	<b>Registro</b>
10:00 – 10:45	<b>Inauguración</b>
11:00 - 12:00	<b>Conferencia Magistral: Wastewater characteristics and upgrading challenges towards unrestricted use. Dr. Gideon Oron -Universidad de Ben-Gurion, Israel.</b>
	<b>Simpósio A: Caracterización y análisis de agua residual.</b>
	<b>A01.</b> DETERMINACIÓN DE ANTI-INFLAMATORIOS NO-ESTEROIDEOS EN MUESTRAS DE AGUA RESIDUAL DEL DDR03 MEDIANTE MSPE-HPLC. <i>Karina Aguilar Arteaga - UAEH</i>
	<b>A02.</b> CONCENTRACIÓN DE PESTICIDAS ORGANOCOLORADOS EN AGUAS Y SEDIMENTOS DE LA LAGUNA DE METZTITLÁN, RESERVA DE LA BIOSFERA DE LA BARRANCA DE METZTITLÁN, HIDALGO. <i>M. Quiterio Pérez - UTVM.</i>
12:20 – 14:00	<b>A03.</b> EVALUACIÓN DE UN PROCESO FOTO FENTON PARA EL TRATAMIENTO DE UN EFLUENTE TEXTIL <i>Arodí Bernal Martínez - Universidad de Guanajuato</i>
	<b>A04.</b> APLICACIÓN DE EXTRACTOS DE SAPONINAS COMO COAGULANTES NATURALES PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES OBTENIDAS A PARTIR DE <i>Agave durangensis</i> . <i>Ariana Santos – Universidad Politécnica de Durango</i>
14:00 – 16:00	<b>Comida Libre</b>
16:00 – 17:00	<b>Conferencia Magistral: Combined wastewater treatment and managerial considerations towards producing high quality and environmental friendly waters.</b> <b>Dr. Gideon Oron - Universidad de Ben-Gurion, Israel.</b>
	<b>Simpósio B: Tratamiento de agua residual.</b>
	<b>B01.</b> ELIMINACIÓN BIOLÓGICA DE NUTRIENTES PRESENTES EN AGUAS RESIDUALES EN UN BIORREACTOR HÍBRIDO CON MEMBRANA SUMERGIDAS Y BIOPELÍCULAS. <i>Marco. A. Silva Robles – Universidad de Guanajuato</i>
17:00 – 18:40	<b>B02.</b> TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN SISTEMAS CON BIOPELÍCULAS: ANÁLISIS DEL PROCESO DE ESTABILIZACIÓN. <i>Pabel Cervantes Avilés – Universidad de Guanajuato</i>
	<b>B03.</b> DEGRADACIÓN ANAEROBIA DE LACTOSUERO DE REQUESÓN EN REACTOR UASB <i>Windy J. Guerrero Rodríguez – UAEH</i>
	<b>B04.</b> CONSTRUCCIÓN DE UN RALF (REACTOR ANAEROBIO DE LECHO FLUIDIZADO) PARA EL TRATAMIENTO DE VINAZA DEL <i>Agave durangensis</i> . <i>Luis Ordaz - Universidad Politécnica de Durango</i>
18:40 – 20:00	<b>Coctel de Bienvenida</b>
Jueves 1 de Diciembre de 2011	
9:00 – 9:40	<b>Presentación UNESCO SIMEV.</b> <b>Dr. Samuel Elemaleh - Universidad de Montpellier II, Francia.</b>
9:40 – 10:40	<b>Conferencia Magistral: Reúso de agua.</b> <b>Dra. Blanca Jiménez Cisneros – UNAM, México.</b>
	<b>Simpósio C: Reutilización de agua residual.</b>
	<b>C01.</b> CALIBRACIÓN Y ESTANDARIZACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE LABORATORIO PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE EXCRETA LIQUIDA DE CERDO. <i>Manuela Bolívar - Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro</i>
11:00 – 12:40	<b>C02.</b> PROPUESTA DE SISTEMAS DE RECIRCULACIÓN DE AGUA (SRA) PARA EL SECTOR DE PRODUCCIÓN PISCÍCOLA SAN MIGUEL REGLA, HIDALGO, MÉXICO. <i>Rigoberto Engel Ugalde - Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey en Hidalgo.</i>
	<b>C03.</b> USO EFICIENTE DEL AGUA EN LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE PUEBLA. <i>Flores Ordeñana Luis Manuel - Universidad Politécnica de Puebla</i>
	<b>C04.</b> SUSTENTABILIDAD DEL TRATAMIENTO DE AGUA EN MEXICO: NORMATIVIDAD, TECNOLOGIAS DE USO COMÚN, COSTOS DE OPERACIÓN Y ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO. <i>Salvador del Cos – Assul</i>
13:00 – 13:30	TRATAMIENTO Y USO EFICIENTE DEL AGUA EN LA UPFIM. <i>MDR. Herminio Baltazar Cisneros – UPFIM</i>
13:30 – 14:00	ANUP Y EL TEMA DEL AGUA. <i>Luis Téllez Reyes – ANUP</i>
14:00 – 16:00	<b>Comida Libre</b>
16:00 – 17:00	<b>Conferencia Magistral: Tecnología de membranas.</b> <b>Dr. Samuel Elemaleh - Universidad de Montpellier II, Francia.</b>
	<b>Simpósio D: Agua residual, salud, ambiente y sociedad</b>
	<b>D01.</b> AGUA Y DERECHOS HUMANOS: REFORMAS PARA HIDALGO. <i>HÉCTOR CRUZ OLGUÍN - COMISIÓN DE DERECHOS HUMANOS DEL ESTADO DE HIDALGO.</i>
	<b>D02.</b> DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN OZONIFICADOR DIDÁCTICO PARA LA PURIFICACIÓN DE AGUA RESIDUAL. <i>Luis Ordaz - Universidad Politécnica de Durango</i>
17:00 – 19:00	<b>D03.</b> EL LACTOSUERO COMO CONTAMINANTE EN LA INDUSTRIA QUESERA. <i>Efrén M. Daniel García – UAEH</i>
	<b>D04.</b> LA IMPORTANCIA DEL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES COMO PARTE DE LA POLÍTICA PÚBLICA ESTATAL EN MATERIA DE CAMBIO CLIMÁTICO. <i>José Luis Benítez Gil - Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Hidalgo.</i>
	<b>D05.</b> TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES UTILIZANDO LA TECNOLOGÍA DENOMINADA FLOCULACIÓN IÓNICA. <i>Jesús Figueroa Flores. Escorpión Grupo Cooperativo, S. A. de C. V.</i>
	<b>Viernes 2 de Diciembre 2011 - Recorrido DDR03</b>



## CONTENIDO

### CONFERENCIAS MAGISTRALES

**CM01.** WASTEWATER CHARACTERISTICS AND UPGRADING: CHALLENGES TOWARDS UNRESTRICTED USE.

Gideon Oron, Ben-Gurion University of the Negev, Israel. 1

**CM02.** COMBINED WASTEWATER TREATMENT AND MANAGEMENT CONSIDERATIONS: TOWARDS PRODUCING HIGH QUALITY AND ENVIRONMENTAL FRIENDLY WATERS.

Gideon Oron, Ben-Gurion University of the Negev, Israel. 16

**CM03.** TECNOLOGIA DE MEMBRANAS PARA AGUAS USADAS: EL FUTURO DEL RBM

M. Héran and S. Elmaleh, Instituto Europeo de Membranas, Montpellier, Francia. 32

**CM04.** REÚSO DE AGUA.

Blanca Jiménez Cisneros, Instituto de Ingeniería de la UNAM, México.

### SIMPOSIO A: Caracterización y Análisis de Agua Residual

**A01.** DETERMINACIÓN DE ANTI-INFLAMATORIOS NO-ESTEROIDEOS EN MUESTRAS DE AGUA RESIDUAL DEL DDR03 MEDIANTE MSPE-HPLC

Karina Aguilar-Arteaga. UAEH. 36

**A02.** CONCENTRACIÓN DE PESTICIDAS ORGANOCORADOS EN AGUAS Y SEDIMENTOS DE LA LAGUNA DE METZTITLÁN, RESERVA DE LA BIOSFERA DE LA BARRANCA DE METZTITLÁN, HIDALGO. 40

Quiterio-Pérez., M, J. Universidad Tecnológica del Valle del Mezquital.

**A03.** EVALUACIÓN DE UN PROCESO FOTO FENTON PARA EL TRATAMIENTO DE UN EFLUENTE TEXTIL

Arodí Bernal-Martínez. Universidad de Guanajuato 44

**A04.** APLICACIÓN DE EXTRACTOS DE SAPONINAS COMO COAGULANTES NATURALES PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES OBTENIDOS A PARTIR DE *Agave durangensis*.

Ariana Santos. Universidad Politécnica de Durango 47

### SIMPOSIO B: Tratamiento de Agua Residual

**B01.** ELIMINACIÓN BIOLÓGICA DE NUTRIENTES PRESENTES EN AGUAS RESIDUALES EN UN BIORREACTOR HÍBRIDO CON MEMBRANA SUMERGIDAS Y BIOPELÍCULAS.

Marco. A. Silva Robles. Universidad de Guanajuato. 52

**B02.** TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN SISTEMAS CON BIOPELÍCULAS: ANÁLISIS DEL PROCESO DE ESTABILIZACIÓN.

Pabel Cervantes Avilés. Universidad de Guanajuato. 56

**B03.** DEGRADACIÓN ANAEROBIA DE LACTOSUERO DE REQUESÓN EN REACTOR UASB.

Windy J. Guerrero Rodríguez. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. 60



- B04.** CONSTRUCCIÓN DE UN RALF (REACTOR ANAEROBIO DE LECHO FLUIDIZADO) PARA EL TRATAMIENTO DE VINAZA DEL Agave durangensis.  
Luis Ordaz. Universidad Politécnica de Durango. 64

**SIMPOSIO C: Reutilización de Agua Residual**

- C01.** CALIBRACIÓN Y ESTANDARIZACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE LABORATORIO PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE EXCRETA LIQUIDA DE CERDO.  
Manuela Bolívar Duarte. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 69

- C02.** PROPUESTA DE SISTEMAS DE RECIRCULACIÓN DE AGUA (SRA) PARA EL SECTOR DE PRODUCCIÓN PISCÍCOLA SAN MIGUEL REGLA, HIDALGO, MÉXICO.  
Rigoberto Engel Ugalde. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey en Hidalgo. 72

- C03.** USO EFICIENTE DEL AGUA EN LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE PUEBLA.  
Luis Manuel Flores Ordeñana. Universidad Politécnica de Puebla. 76

- C04.** UNA ALTERNATIVA SUSTENTABLE DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES; FILTRO DE MICRÓFITAS FLOTANTE (FMF).  
Salvador del Cos y Gustavo Gámez. Tecnología ASSUL, S.A. de C.V. México. 80

**SIMPOSIO D: Agua Residual; Salud, Ambiente y Sociedad**

- D01.** AGUA Y DERECHOS HUMANOS: REFORMAS PARA HIDALGO  
HÉCTOR CRUZ OLGUÍN. COMISIÓN DE DERECHOS HUMANOS DEL ESTADO DE HIDALGO. 85

- D02.** DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN OZONIFICADOR DIDÁCTICO PARA LA PURIFICACIÓN DE AGUA RESIDUAL  
Luis Ordaz. Universidad Politécnica de Durango. 88

- D03.** EL LACTOSUERO COMO CONTAMINANTE EN LA INDUSTRIA QUESERA.  
Efrén M. Daniel García. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. 92

- D04.** LA IMPORTANCIA DEL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES COMO PARTE DE LA POLÍTICA PÚBLICA ESTATAL EN MATERIA DE CAMBIO CLIMÁTICO.  
José Luis Benítez Gil. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales del Estado de Hidalgo. 96



## CONFERENCIAS MAGISTRALES

**CM01. WASTEWATER CHARACTERISTICS AND UPGRADING: CHALLENGES TOWARDS UNRESTRICTED USE.**

*Gideon Oron, Ben-Gurion University of the Negev, Israel.*

**CM02. COMBINED WASTEWATER TREATMENT AND MANAGEMENT CONSIDERATIONS: TOWARDS PRODUCING HIGH QUALITY AND ENVIRONMENTAL FRIENDLY WATERS.**

*Gideon Oron, Ben-Gurion University of the Negev, Israel.*

**CM03. TECNOLOGÍA DE MEMBRANAS PARA AGUAS USADAS: EL FUTURO DEL RBM**

*M. Héran and S. Elmaleh, Instituto Europeo de Membranas, Montpellier, Francia.*

**CM04. REÚSO DE AGUA.**

*Blanca Jiménez Cisneros, Instituto de Ingeniería de la UNAM, México.*



## CM01. WASTEWATER CHARACTERISTICS AND UPGRADING: CHALLENGES TOWARDS UNRESTRICTED USE.



*Gideon Oron*

Environment Water Resources, J. Blaustein Institutes for Desert Research, Ben-Gurion University of the Negev, Kiryat Sde Boker, 84990, Israel; The Department of Industrial Engineering and Management, and The Environmental Engineering Program, Ben-Gurion University of the Negev, Beer Sheva, 84105, Israel. E-Mail: [gidi@bgu.ac.il](mailto:gidi@bgu.ac.il)

### ABSTRACT

Fast population growth and increased demand for high quality waters, primarily in water scarce regions, along with natural shortage and continuous restrictions in supply are speeding-up the search for alternative sources. The extra sources include domestic treated wastewater, urban and open-space run-off water, brackish water and high quality fresh water obtained from sea-water desalination. Domestic Treated Wastewater (DTW) can be used for diverse purposes however, primarily for agricultural irrigation and for the industry (e.g. cooling), recreation and aquifer recharge. Reuse of DTW, mainly for irrigation, simultaneously enhances solving water shortage along with diminished environmental pollution due to controlled disposal. However, utilizing DTW has disclosed and emphasizes new problems related to the treatment level of the wastewater, public health aspects, and accumulation of contaminants, micro-pollutants and dissolved solids in the soils and natural water sources and sustainable agriculture production. Additional issues refer to long time effects of DTW applications storage options and further treatment, all which are strongly related to the costs.

The main directions of solutions for better and safer use of the DTW are based on implementing nanotechnology (membrane) treatment methods. Application of nanotechnology allows reaching very high quality effluent for diverse use purposes. Field experiments reveal the great advantage of membrane treatment and maintaining sustainable agriculture production. Although the extra costs, nanotechnology methods can guarantee obtaining effluent that will offset public health risks and diminish environment pollution. That should be combined with efficient application methods such as onsurface and subsurface drip irrigation. Field results are presented, demonstrating the promising however, challenging directions.

*Keywords: Nanotechnology; Urban treated wastewater; Reuse; Management; Environment; Sustainable agriculture production.*



## INTRODUCTION

### Water scarcity

Water has always been a sensitive topic in dry and arid regions (Postel, 2006). Climate changes is becoming a key issues subject to reduction in precipitation however, increasing frequency of irregular hydrological extreme events. It is now widely recognized that the lack of high quality and safe drinking waters are threatening factors worldwide. Water is actually one of the most vital elements for comfortable life. There is an estimate that currently one third of the world population is living under water stress and it is anticipated to rise to more than 50 percent until the year 2025. Along with land requirements, water vitality and transboundary sources are potential for regional struggles and trans-boundaries instabilities. Besides the physical availability, water quality becomes an extra factor in the daily life. Unsafe water use is frequently associated with waterborne diseases outbreaks causes to a daily death toll of up to 5 millions children per year (Sobsey et al., 2008). The emerging new diseases are expanding due to low quality and contaminated streams, contaminated soils and plants that are the main food sources (Montgomery and Elimelech, 2007).

### Availability and extra water production

A typical picture of water consumption by the main sectors in several countries worldwide is given in Table 1. As indicated, in most regions with limited amounts of water the larger portion is allocated to agriculture, namely for food production. Inefficient use of water for irrigation is frequently associated with scarcity, beyond other effective factors such as excessive aquifer depletion, climate changes, irregular hydrological events and frequent droughts.

**Table 1. Water availability and consumption for agriculture, industry and domestic use in some selected countries (Goto, 2002)**

Country	Total available Billion m <sup>3</sup>	Agriculture, percent of total	Industry percent of total	Domestic percent of total
Algeria	4.5	60	-*	-
China	2,829	77	18	5
Egypt	55.1	95	-	-
Indonesia	2,838	93	8	6
Israel	1.7	64	12	24
Japan	430	64	17	19
Jordan	1.0	75	-	-
Libya	4.5	87	-	-
Malaysia	580	76	13	11
Morocco	11.1	92	-	-
Philippines	479	88	4	8
Syria	14.4	94	-	-
Thailand	410	91	4	5
Turkey	36.5	73	11	16

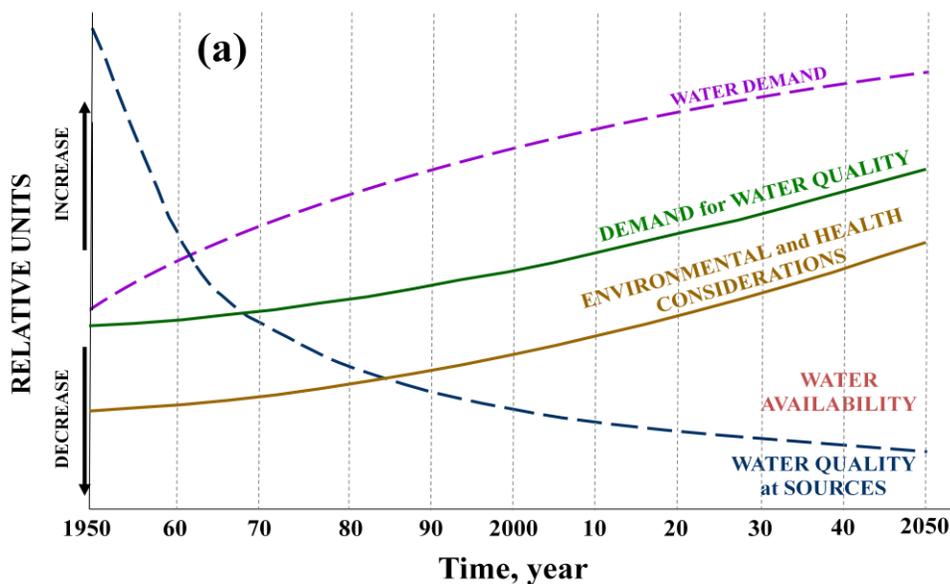
\* - Missing data

Water shortage and water sources pollution are strongly linked to other phenomena which have to be taken into account (Llamas and Martinez-Santos, 2005; Lund et al., 2006)



(Figure 1). Environmental issues are getting increased public attention due to sensitivity to water quality and maintaining a green and friendly environment, preventing aquifer and soil contamination (Oron et al., 2006; Rogres, 2008; Shannon et al., 2008). Accumulation of salts in the upper production soil layers and in the aquifers hinders natural use of the groundwater and surface waters without pre and/or post.

The general trends in water availability, utilization and related issues are well presented in Figure 1. As demonstrated reduction in water availability is as well associated with a reduced quality, deeper aquifers and ultimately with increased costs for pumping and agriculture production. The increase in energy costs last decade and the higher toll for improved environmental control turn high quality water supply into a worldwide challenge. The expanding nanotechnology is foreseen as main direction for solving some of these water problems. Water scarcity and quality is associated with breakouts of a variety of water born diseases, jeopardizing human health and production capacities. Along it, water scarcity and mainly the frequent droughts events on one side and the unexpected huge floods jeopardize agriculture production on the other one. Agriculture is still one of the major sources for food (now also an alternative source for energy generation) for most communities (Table 1).



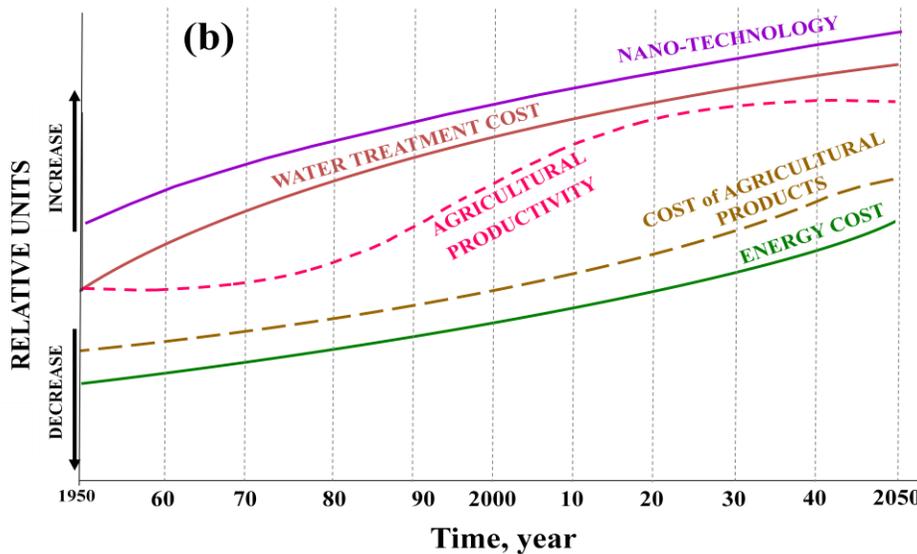


Figure 1. Water shortage and other linked phenomena: (a) Qualitative criteria; (b) Technological aspects

## NEW WATERS

### The extra water sources

Complementary water amounts, required to bridge the gap between supply and demands (both in quantities and qualities) can be obtained by putting into use the extra water resources, including additional treatment stages. It includes different directions:

**Saline and Sea Water (SSW).** Saline water and sea water can be treated to drinking quality by implementing nanotechnology methods. In many cases saline water can be applied in excess amount for agricultural irrigation yielding products with have higher sugar content however, reduced yield per unit area and per unit of applied water. Sea water can be desalinated to acceptable qualities by Reverse Osmosis (RO), distillation, ElectroDialysis (ED) are desalination methods already in use where Enhanced Direct Osmosis (EDO), Capacitive Deionization (DCI) and others are treatment methods in progressive development (Riziero-Martinetti et al., 2009; Charcosset, 2009; Zou et al., 2010). The EDO process is based on potential chemical gradients between tow liquids which are separated by a membrane barrier. Water is diffusing to a withdrawal liquid thus yielding a permeate with minimal content of dissolved solids (McCutcheon et al., 2006).

**Cloud harvesting.** Climate conditions can be changed to some extent by cloud seeding methods in order to enhance precipitation and for aquifer enrichment. Cloud seeding technologies are well know however, so far are relatively expensive.

**Runoff Water (ROW).** Runoff water is generated during sparse rainfalls events during the wet (winter) season. In areas with low soil surface permeability (or urban areas and highways) the floodwater can be collected and diverted to special facilities and stored for future needs mainly for the summer supplementary irrigation and/or other uses (Yeh, 1985; Boers, 1994; Weiss et al., 2007). Urban and highway ROW are valuable alternative



water resources that need further development, although the relatively high capital investments. The stochastic nature of runoff water supply raises reliability issues and difficulties to use this resource efficiently (Oron and Enthoven, 1987).

**Treated Wastewater (TWW).** Treated wastewater, and primarily domestic treated sewage can be reused for a large pattern of possibilities, primarily for agricultural irrigation (Asano et al., 1992; Gillerman et al., 2006). Treated wastewater includes as well the option of separate utilization of treated greywater on the residents' yards and/or in Mega-Cities relatively close to the generation sites for gardening, toilet flushing and other uses (Friedler et al., 2005). The major drawbacks of TWW use are the high capital investment in the treatment facilities and equipment, the dual piping system required to distribute it separately from potable water, effluent quality control and additional required precautions to minimise health and environmental risks. Treatment level is related to the purpose of reuse and is of extra concern. The nutrients contained in the TWW are beneficial for agricultural use however, might be a problem when discarded into stagnant large water bodies (Del Pino and Durham, 1999). Storage of treated effluent in open surface reservoirs frequently can relieve water shortage along with obtaining effluent with a reduced content of pathogens (Yeh, 1985).

### Low quality waters upgrading

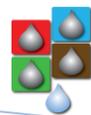
The difficulties associated with the extra water quality enhanced implementing advanced treatment methods. Science and technology will combine forces in order to develop new advanced methods for water purification. Advanced methods will be based in the near future on nanotechnology methods. In practice it means to implement predominantly the membrane technology for reclaiming most kinds of low quality waters (Shannon et al., 2008).

## NANOTECHNOLOGY and LOW QUALITY WATERS UPGRADING

### General

Nano science deals with materials that are thousands of times smaller than a human hair. It is a multi-disciplinary area that gets its' momentum from the unique properties of the microscopic Carbon Nano-Tubes (CNT). The CNTs' are cylindrical carbon molecules with novel properties that make them potentially useful in daily life for a wide variety of applications such as communication and optical systems, electronic, liquid quality control and filtration (Kang et al., 2008; Mauter and Elimelech, 2008). Membrane separation technology is one of the directions allowing removing most dissolved solids (salinity) and other risking factors (pathogens) from water (Kang et al., 2008). The main advantage of implementing the membrane technology is that it allows treating low quality water to a required quality level via a sophisticated and controlled industrial procedure.

Membrane technology is entering forcefully into most fields of liquid-solids separation processes, primarily for polishing low quality waters. It allows using the membranes as an efficient physical barrier to separate between the liquid and the solid fractions in the low quality waters. The membrane technology can be implemented as part of the biological



treatment process [e.g. in Membrane BioReactors (MBR)] and also as a separation tool for removal of the suspended mater and pathogens from effluent. The membrane technology is probably the predominantly promising direction also for better treatment of the industrial wastewater and removal of the hazardous dissolved solids contained in the water. Membrane technology is based on the removal of dissolved minerals (including but not limited to salt), pharmaceutical constituents, and pathogens from seawater, brackish water, treated wastewater and any other low quality water.

Worldwide there are close to 8,000 desalination plants (mainly for sea water), about 60% in the Mediterranean Basin. One of the largest membrane treatment plants is located in Saudi Arabia (producing around  $175 \times 10^6 \text{ m}^3$  per year (130 MGD) of desalinated water. Currently one of the largest RO sea water desalination plant is located in The City of Ashkelon, Israel ( $100 \times 10^6 \text{ m}^3$  per year). Under first stages of operation is the sea water membrane desalination plant of The City of Barcelona, Spain ( $60 \times 10^6 \text{ m}^3$  per year).

Several membrane technologies can be implemented for saline water and sea water upgrading (Rahardianto et al., 2008). The leading method is based on the RO process and ElectroDialysis (ED). Other methods include distillation, thermal desalination and others (Lu and Hein, 2002). Main advantages of treatment facilities that are based on membranes are the small foot print (primarily MBRs'), efficient treatment in terms of consistent removal, and the options of turning biological processes into efficient industrial processes and possibility to use modular components in expanding systems. Membrane technology has a great advantage when implemented in small and isolated communities.

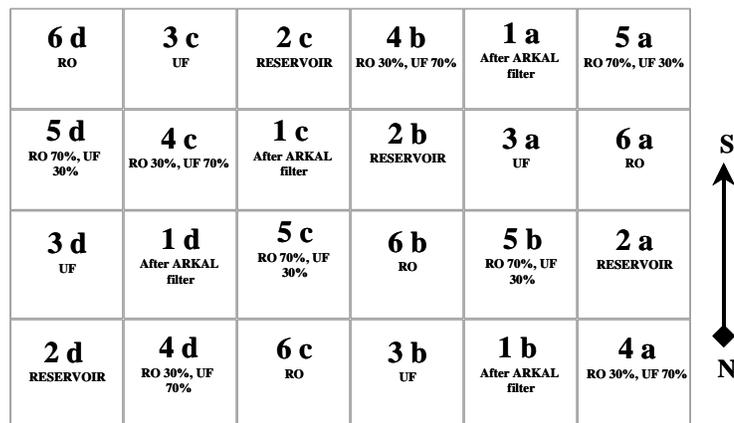


Figure 2. The corn experimental field layout, Arad, Israel



## NANOTECHNOLOGY FOR TREATED DOMESTIC WASTEWATER UPGRADING



### Description of the field experiment

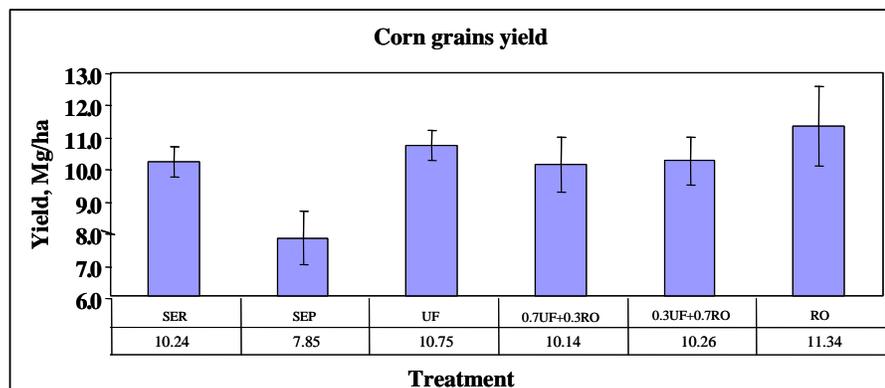
Field experiments with corn were conducted adjacent to the City of Arad, Israel, applying different qualities of treated wastewater. The following treatments, all purposely under Onsurface Drip Irrigation (ODI) are: (i) irrigation with Secondary Effluent from conventional Stabilization Ponds (SEP); (ii) irrigation with Secondary Effluent from the Reservoir (SER); (iii) irrigation with UF effluent; (iv) irrigation with RO effluent; (v) irrigation with a mixture of 70 % UF effluent and 30 % RO effluent (0.7UF+0.3RO), and; (vi) irrigation with a mixture of 30 % UF effluent and 70 % RO effluent (0.3UF+0.7RO). Each treatment consists of 4 replications (4 plots). –totally 24 plots. The soil texture in the experimental fields consist is of about 28.8% clay, 45.2% silt and 26% sand.

Each plot was 12 x 16 m and the total experimental area was around 0.46 ha. Corn (*corn for grains #3223*) was seeded on 2 May (8 seeds per 1m length of row). The plants were arranged in rows on of 0.93 m wide. Each row was irrigated by Netafim RAM Emitting Pipe ISO 9261A-laterals. The lateral has a length of 16 m. Emitters with a flow rate of 1.2 L/hr are 25 cm apart. One drip lateral is serving each plants row. View of the experimental corn field is presented in Figure 3.

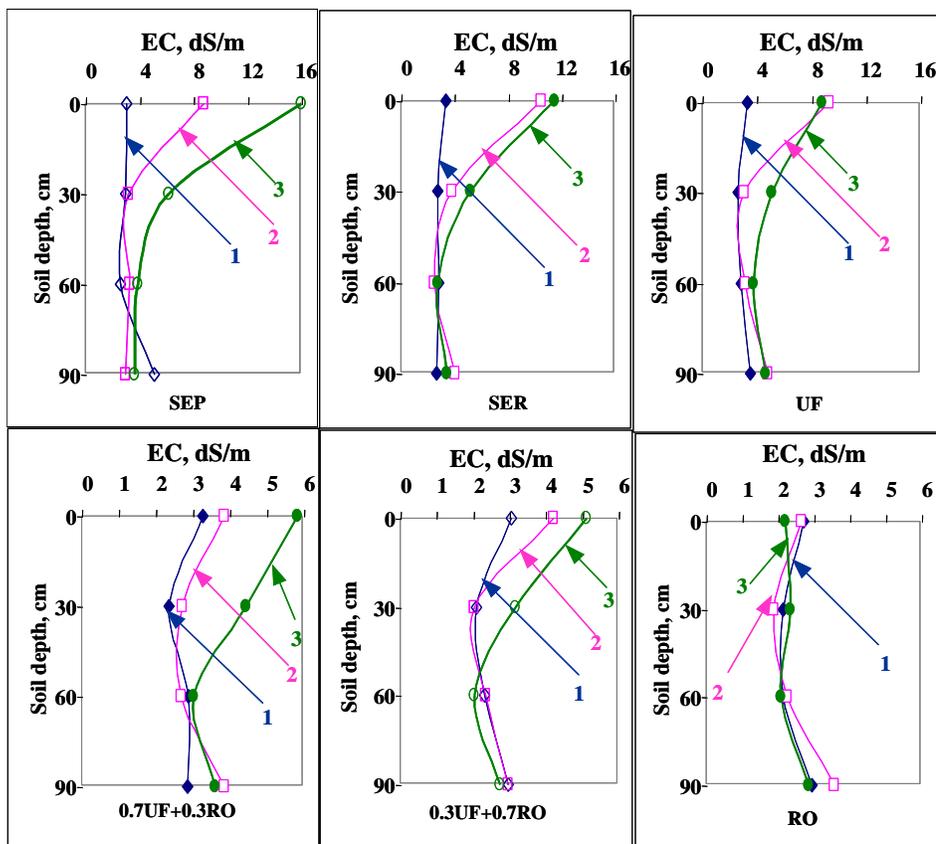
Effluent and soil chemical and microbiological characteristics were determined by a common method (Eaton et al., 1995). Soil samples for moisture, chemical and microbiological assessment were taken at 0, 30, 60 and 90 cm depths from the equidistant on both sides of the plants, near the emitters and in the middle between two adjacent emitters.

### Results of the field experiment

**Yields.** The best yield was obtained for irrigation with RO effluent and the worst for irrigation with RO Secondary Effluent from the Reservoir (Figure2). The differences in the yield of corn dry grains subject to different qualities of water applied were significant (P-value < 0.1).



**Figure 3. Corn dry grains yield subject to different qualities of water applied.** (SEP - Secondary Effluent from the Ponds; SER- Secondary Effluent from the Reservoir; UF-UF permeate; RO- RO permeate; 0.7UF+0.3RO –a mixture of 70 % UF permeate and 30 % RO permeate; 0.3UF+0.7RO - mixture of 30 % UF permeate and 70% of RO permeate)

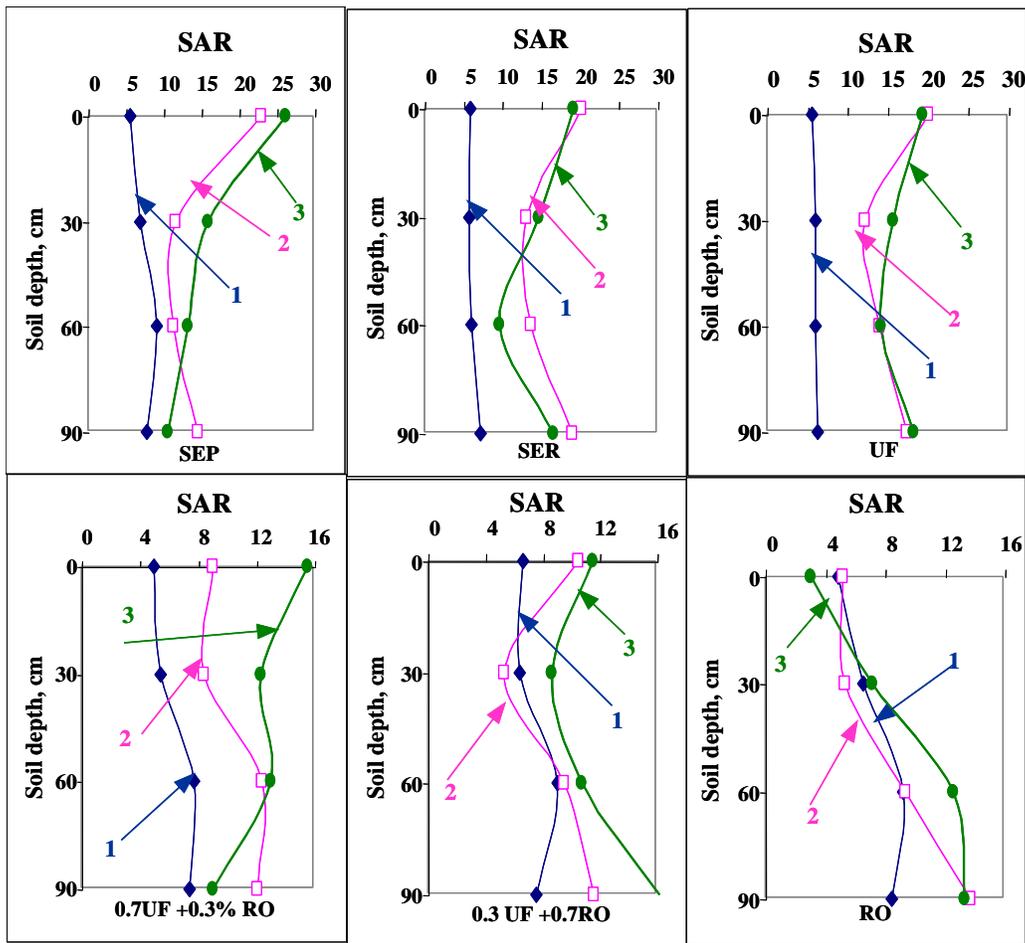


**Figure 4. Soil salinity-Electrical Conductivity (EC) profiles subject to different qualities of effluent applied.** (Timing of soil sampling: 1-Initial: 1 of May; 2-1 of July; 3-Final-15 of August).

**Soil chemistry.** The obtained differences in corn yield subject to qualities of water applied can be explained by results of soil chemical analysis. Soil salinity profiles are presented in Figure 4. These salinity profiles can explain the differences in obtained yields. As shown in Figure 4 the best conditions for plant development and consequently for highest yield regarding to soil salinity were for plots irrigated with RO permeate, where irrigation didn't cause salt accumulation, but on the contrary, provides soil leaching. At the same time the worst conditions were for plot irrigated with Secondary Effluent from the Reservoir.

Similar results were obtained for data of sodium absorption hazard. The sodium-absorption –ratio (SAR) were used like an indicator of exchangeable sodium status in the soil (Jensen 1983). The SAR profiles subject to different qualities of effluent applied are depicted in Figure 5.





**Figure 5. Sodium Abortion Ratio profiles subject to different qualities of effluent applied, Arad** (Timing of soil sampling: 1-Initial-1 of May; 2-1 of July; 3-Final-15 of August).

### Technical drawbacks and further challenges

Although the several advantages of implementing the nanotechnology in water treatment processes there are encountered also some drawbacks. These drawbacks are in the focus of main technological research programs. Intensive integrative efforts are in progress, frequently including the industry and research institutions in order to solve the faced problems. These are essentially the forthcoming challenges.

***Fouling and extended time span of membrane systems operation.*** Membrane fouling is commonly associated with a reduction in flow (Jarusutthirak and Amy, 2006). Fouling is



subject to the minerals and organic matter content in the feed water, pre-treatment stages (e.g. settling, sand filtration, flocculation, use of activated carbon) and flushing policy (frequency of backwash, amounts, frequency of chemical flush) and finally the timing of the membrane replacement (Haberkamp et al., 2008; Contreras et al., 2009). Molecular methods are implemented in order to better define and characterize of the biofilm generated on the membrane surface and cause the flux decline (Kim, 2006). In some cases worn-out membranes can be installed as a pre-treatment and protective stage prior to new and more sensitive membranes.

**Energy demand for membrane systems operation.** Membrane treatment systems commonly consume high amounts of energy. In RO processes of sea water the energy demand is above 2.0 KWh/m<sup>3</sup> (Geisler et al., 1999; Geisler et al., 2001; Subramani et al., 2011). Reaching a goal of energy demand of 1.0 KWh/m<sup>3</sup> (or less) can change the entire economic of desalination. Energy demand can probably be reduced by improving the flow rates in the systems and reducing the head losses (due to flow) and implementing other methods such as enhanced direct osmosis and capacitive deionization (Geisler et al., 2001; McGinnis et al., 2007; Zou et al., 2010). It is probably a combination of the membrane system structure and materials, including aspects that refer to keeping the system clean with minimal deposits in the pores and on the surface. Energy issues in MBR system are mainly related to aeration demands for maintaining adequate bio-chemical conditions in the reactor (aerobic MBR) (Yang et al., 2009; Teychene et al., 2011). Temperature control and retaining adequate flow regime are additional energy demands considerations.

**Brine disposal, minimization and/or reclamation.** Brine disposal is undoubtedly a challenging task (Mickley, 2001). It refers primarily to systems that are located relatively far away from the sea or any other acceptable central end disposal site. When considering disposal one has to take into account the environmental pollution risks. The approach of minimizing brine discharge (zero discharge) is investigated in several institutions worldwide. When considering large scale inland membrane systems one can consider large scale drainage carriers that will collect the brine from a series of facilities and dispose it (or reuse) in a central environmental friendly disposal site. That demonstrates the need for an integrative approach of combining technological, economic and environmental considerations. A preferable approach, primarily in water scarce regions, will be to further treat the brine and/or to identify reuse option and not just wasting it (e.g. via solar ponds).

**Separation at the source of unique/specific constituents.** Current utilized membrane system hardly remove all constituents, subject to the pore size and operating conditions,



feed quality and membrane characteristics. There are still some constituents that need extra attention and additional studies for optimal removal (Tung et al., 2009). These include for example Boron, pharmaceuticals and the endocrine disruptors. There is probably a list of additional hazardous constituents that are not removed however, have not been identified yet.

There are on the other hand some constituents that are removed during the membrane processes and their minimal content is a discrepancy. Examples included removal of Mg from desalinated sea water that turned to be an important element for agriculture or calcium that under low content in still pipes might enhance corrosion processes.

**Selective membranes.** The nanotechnology industry will be enforced, sooner or later according to the market demands to manufacture membranes that will be able to treat the low quality waters according to the feed quality and subject to the end users demand characteristics (Teoh et al., 2009). These membranes have to be adjusted to hydrophilic and/or hydrophobic properties of the incoming fluids, reject or absorb the constituents according to the ultimate purpose of separation. Two main options are envisioned: (i) manufacturing membranes of diverse characteristics according to given inputs and required outputs (permeate), and; (ii) constructing hybrid membrane systems namely, a series of treatment stages with different membrane characteristics. The preferable options will be an integrative outcome of economic, system operation expenses, capital investment and environmental considerations.

## SUMMARY

Sustainable water use for most diverse purposes is a real drive for implementing new advanced solutions for new water production subject to environmental considerations. These can be accomplished by combining various treatment technologies and subject to economic, environmental, production and public acceptance considerations. Combined theoretical and field work efforts have to focus on research towards reclamation and reuse of impaired waters. The efforts to create new sources of high quality waters through the reclamation and reuse of impaired waters have to be subject to protecting public health, future needs and the environment. The integrative approach of producing the extra high quality waters is feasible since it is based on combining chemical constituents, microbiological agents, treatment technologies, materials characteristics, environment management, public perception, economics, and marketing.

## Acknowledgements

The work was supported partially by The IWRM (Integrated Water Resource Management)-SMART (Sustainable Management of Available Water Resources with Innovative Technologies) project on development, modeling and providing tools for optimal



water use in arid regions, which is supported by The Federal Ministry of Education and Research, Germany and The Ministry of Science and Technology (MOST) of the State of Israel.



## REFERENCES

- Asano, T., Richard, D., Crites, R. W., and Tchobanoglous, G. (1992): Evolution of tertiary treatment requirements in California. *Water Environment and Technology*, **3**(2), 37-41.
- Boers, Th. M. (1994). Rainwater harvesting in arid and semi-arid zones. The International Institute for Land Reclamation and Improvement/ILRI, Wageningen, p 133.
- Brimberg, J., Mehrez, A. and Oron, G. (1994). Economic development of groundwater in arid zones with applications to the Negev Desert, Israel. *Management Science*, **40**(3), 353-363.
- Charcosset, C. (2009). A review of membrane processes and renewable energies for desalination. *Desalination* **245**, 214-231
- Contreras, A. E., Kim, A., Li, Q. (209). Combined fouling of nanofiltration membranes: Mechanisms and effect of organic matter. *Journal of membrane science*, **327**, 87-95
- Del Pino, M. P. and Durham, B. (1999). Wastewater reuse through dual-membrane processes: opportunities for sustainable water resources. *Desalination* **124**, 271-277.
- McCutcheon, J., McGinnis, R., Elimelech, M. (2006). Desalination by ammonia-carbon dioxide forward osmosis: Influence of draw and feed solution concentrations on process performance. *Journal of Membrane Science* **278**: 114-123
- Friedler E., Galil, N., and Kovalio, R. (2005). On-site greywater treatment and reuse in multi-storey buildings. *Water Science and Technology*, **51**(10), 187-194.
- Geisler, P., Krumm, W., Peters, T. (1999). Optimization of the energy demand of reverse osmosis with a pressure-exchange system. *Desalination*, **125**, 167-172.
- Geisler, P., Krumm, W., Peters, W. T. (2001). Reduction of the energy demand for seawater RO with the pressure exchange system PES. *Desalination*, **135**, 205-210.
- Gillerman, L., A. Bick, N. Buriakovsky and G. Oron. (2006). Secondary wastewater polishing with ultrafiltration membranes for unrestricted reuse: fouling and flushing modeling. *Environmental Science and Technology* **40**(21), 6830-6836
- Goto, T. (2002). East and South East Asia. *Desalination & water reuse*, **12**(1), 28-30.
- Haberkamp, J., Ernst, M., Bockelmann, U., Szewzyk, U., Jekel, M. (2008). Complexity of ultrafiltration membrane fouling caused by macromolecular dissolved organic compounds in secondary effluents. *Water Research*, **42**, 3153-3161.
- Haas, C. N. (2002). The role of risk analysis in understanding bioterrorism. *Risk analysis*. **22**(4), 671-677.
- Jarusutthirak, C. Amy, G. Role of soluble microbial products (SMP) in membrane fouling and flux decline. *Environmental Science and Technology*, **40**(3), 2006, 969-974.
- Kang, S., Herzberg, M., Rodrigues, D. F., and Elimelech, M. (2008). Antibacterial effects of carbon nanotubes: size does matter!, *Langmuir*, **24**(June), 6409-6413
- Kim, A. S., Chen, H. Q., Yuan, R. (2006). EPS biofouling in membrane filtration: An analytic modeling study. *Journal of Colloid and Interface Science*, **303**, 243-249.
- Llamas, M. R., Martinez-Santos, P. (2005). Intensive groundwater use: silent revolution and potential source of social conflicts. *Journal of Water Resources Planning and Management*, **131** (5), 337-341.
- Lu, H., Walton, J. C. and Hein, H. (2002). Thermal desalination using MEMS and salinity-gradient solar pond technology. Final report, cooperative agreement No. 98-FC-81-0047, University of Texas at El Paso, El Paso, Texas, p-40.
- Lund, J. R., Cai, X. Characklis, G. W. (2006). Economic engineering of environmental and water resource systems. *Journal of Water Resources Planning and Management*, **132** (6), 399-402.



- Mauter, M.S. and Elimelech, M. Environmental applications of carbon-based nanomaterials. *Environmental Science and Technology*, **42**(16), 2008, 5843-5859.
- McGinnis, R. L., McCutcheon, J. R., Elimelech, M. (2007). A novel ammonia-carbon dioxide osmotic heat engine for power generation. *Journal of Membrane Science*, **305**, 13-19.
- Mickley, M. C. (2001). Membrane concentrate disposal: practices and regulations. Final report (No 69) prepared by Mickley & Associates, Boulder, CO, USA, submitted to U.S. Department of the Interior, September 2001, p-266.
- Montgomery, M. A., and Elimelech, M. (2007). Water and sanitation in developing countries: including health in the equation, *Environmental Science and Technology*, **41**, 17-24.
- Nicklow, J., Reed, P. M., Savic, D., Dessalegne, T., Harrell, L., Chan-Hilton, A., Karamouz, Minsker, B., Ostfeld, A., Singh, A., and Zechman, E. (2010). State of the Art for Genetic Algorithms and Beyond in Water Resources Planning and Management. *ASCE Journal of Water Resources Planning & Management*, **136**(4), 412-432.
- Oron, G., and Enthoven, G. (1987). Stochastic considerations in optimal design of a microcatchment layout of runoff water harvesting. *Water Resources Research*, **23**(7), 1131-1138.
- Oron, G., A. Bick, L. Gillerman, N. Buriakovsky, Y. Manor, E. Ben-Yitshak, L. Katz, and J. Hagin. (2006). A two stage membrane treatment of secondary effluent for unrestricted reuse and sustainable agricultural production. *Desalination*, **187**(1-3), 335-345
- Postel, S. L. (2006). For our thirsty world, efficiency or else (book review), *Science* **313**, 1046-1047.
- Rahardianto, A., NcCool, B., and Cohen, Y. (2008). Reverse osmosis desalting of inland brackish water of high gypsum scaling propensity: kinetics and mitigation of membrane mineral scaling. *Environmental Science and Technology*, **42**, 4292-4297
- Reed, P. M., and Kasprzyk, J. R. (2009). Water resources management: the myth, the wicked, & the future. *ASCE Journal of Water Resources Planning & Management*, **135**(6), 411-413.
- Shannon, M. A., Bohn, P. W., Elimelech, M., Georgiadis, J. G., Marinas, B. J., Mays, A. M. Science and technology for water purification in coming decades (2008). *Nature* **452**, 20, 301-310.
- Sobsey, M., Stauber, C., Casanova, L., Brown, J., and Elliot, M. (2008). Point of use household drinking water filtration: a practical, effective solution for providing sustained access to safe drinking water in the developing world. *Environmental Science and Technology*, **42**, 4261-4267.
- Subramani, A., Badruzzaman, M., Oppenheimer, J., Jacaneglo, J. G. (2011). Energy minimization strategies and renewable energy utilization for desalination: a review. *Water Research*, **45**, 1907-1920.
- Teoh, M. M., Wang, K., Bonyadi, S., Chung, T. S. (2009). The materials development in membrane distillation process for pure water production. Paper presented at the IWA Membrane conference, 1-3 September 2009, Beijing China.
- Teychene, B., Guigui, C., Cabassud, C. (2011). Engineering of an MBR supernatant fouling layer by fine particles addition: a possible way to control cake compressibility. *Water Research*, **45**, 2060-2072.
- Tung, K.-L., Li, Y.-L., Lai, J.-Y., Lim, C.-F. (2009). Membrane separation process for wash-up effluent treatment from water-based flexo-inks production industry. Paper presented at the IWA Membrane conference, 1-3 September 2009, Beijing China.



Weiss, P.T., Gulliver, J. S., Erickson, A. J. (2007). Cost and pollutant removal of storm-water treatment practices. *Journal of Water Resources Planning and Management*, **133**(3), 218-229.

Yang, F., Bick, A., Shandalov, S., Brenner, A., and Oron, G. (2009). Yield stress and rheological characteristics of activated sludge in an airlift membrane bioreactor. *Journal of membrane science* **334**, 83-90

Yeh, W. W-G. (1985). Reservoir management and operations models: A state-of-the-art review. *Water Resources Research*, **21**(2), 1797-1818.

Zou, L., Li, L., Song, H., Morris, G. (2010). Improving the capacitive deionization performance by optimizing pore structure of the electrodes. *Water Science & Technology*, **61**, 1227-1233.



**CM02. COMBINED WASTEWATER TREATMENT AND MANAGEMENT  
CONSIDERATIONS: TOWARDS PRODUCING HIGH QUALITY AND  
ENVIRONMENTAL FRIENDLY WATERS**

*Gideon Oron*

Environment Water Resources, J. Blaustein Institutes for Desert Research, Ben-Gurion University of the Negev, Kiryat Sde Boker, 84990, Israel; The Department of Industrial Engineering and Management, and The Environmental Engineering Program, Ben-Gurion University of the Negev, Beer Sheva, 84105, Israel. E-Mail: [gidi@bgu.ac.il](mailto:gidi@bgu.ac.il)

**ABSTRACT**

Many regions in arid and semi-arid regions are facing continuous processes of increasing gap between supply and demand for water. This gap is closely linked with agricultural production and environmental issues. It is probably due to small amounts of precipitation and low availability of natural water sources. Special ventures have to be undertaken in order to supply water at adequate quality for all requirements. These can be accomplished by development of additional water sources that currently are considered marginal.

The additional sources include saline and sea water, treated wastewater, water obtained from cloud seeding and runoff water. These extra waters are usually required to augment the limited supply from the regional conventional high quality local sources. However, the main faced problem of most extra waters is their inferior quality.

Maintaining successful and productive lasting agriculture systems depends on combining adequate technologies with proper decisions. Maintaining sustainable agriculture is subject to adapting the holistic approach for water systems. The role of management modeling is demonstrated for treated wastewater use for agriculture irrigation under drip methods. The risk modeling results reveal that subsurface drip irrigation is associated with minimal health and environmental risks. It as well indicated that technology and management modeling have to be combined for getting better water systems.

*Keywords. Water Sources; Management Modeling; Holistic; Membrane Technology; Water quality.*



## INTRODUCTION

### Water scarcity

It is widely recognized that water shortage and the lack of high quality and safe drinking water are threatening factors all over the globe. Water is actually the most vital element for comfortable life. There is an estimate that at present one third of the world population is living under water stress and it is anticipated to rise to more than 50 percent until the year 2025. Along with land requirements water vitality is a potential for regional struggles and trans-boundaries instabilities. Besides the availability, water quality becomes an extra factor in our daily life. Unsafe water use associated with waterborne disease outbreaks causes to a daily death toll of up to 5 millions children per year (Sobsey et al., 2008). The emerging new diseases are expanding due to low quality and contaminated streams, contaminated soils and plants that are the main food sources (Montgomery and Elimelech, 2007).

### Water availability and extra production

A typical picture of water consumption by the main sectors in several countries is given in Table 1. As indicated, in most regions with limited amounts of water the larger portion is allocated to agriculture, namely for food production and potentially for alternative energy resources. Inefficient use of water for irrigation is consequently associated with scarcity, beyond other effective factors such as climate changes and frequent droughts.

Water scarcities along with continuous quality deterioration continue to be one of the major threats on human survival in many parts of the world, in arid and semi-arid regions. The general trend in water availability and related developing aspects is well presented in Figure 1. As demonstrated reduction in water availability is associated with a decreased aquifers' water quality and ultimately with increased costs for pumping, further treatment agriculture products. The increase in energy costs and the higher toll for improved environmental control turn high quality water supply into a worldwide challenge. Water scarcity and lower quality (primarily wastewater) is associated with breakouts of a variety of water born diseases, jeopardizing human health and limited production abilities. Along it, water scarcity and mainly the frequent droughts events on one side and the unexpected extreme hydrological and environmental events jeopardize agriculture production. Agriculture is still one of the major sources for food (now also alternative source for energy generation) for most communities (Table 1).

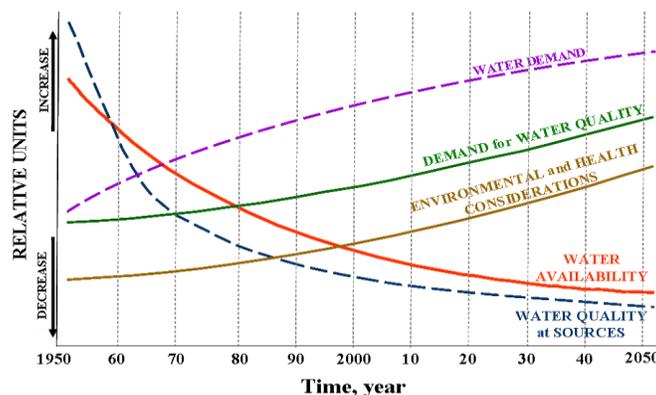


Figure 1. Water characteristics development



**Table 1. Water availability and consumption for agriculture, industry and domestic use in some selected countries (Goto, 2002)**

Country	Total available Billion m <sup>3</sup>	Agriculture, percent of total	Industry percent of total	Domestic percent of total
Algeria	4.5	60	-*	-
China	2,829	77	18	5
Egypt	55.1	95	-	-
Israel	1.7	64	12	24
Japan	430	64	17	19
Jordan	1.0	75	-	-
Libya	4.5	87	-	-
Malaysia	580	76	13	11
Morocco	11.1	92	-	-
Philippines	479	88	4	8
Syria	14.4	94	-	-
Thailand	410	91	4	5

\* - Missing data

Water gaps worldwide are due to a series of combined technical factors such as elevated water consumption for irrigation, higher human consumption due to population increase and elevated living standards, industrial development and probably also the effects of climate changes and managerial factors such as. Water availability is decreasing due to over pumping from groundwater sources along with significant decline in natural aquifer recharge due to urbanization processes. This gap between water supply and demand is expected to increase next decades due to population increase and per capita consumption (Postel, 2006). Environmental issues are getting increased attention subject to higher demands for green recreation sites, due to sensitivity of maintaining a friendly environment, preventing aquifer and soil contamination and potential reduction in agricultural productivity. Accumulation of salts in the upper production soil layers and in the aquifers hinders natural use of the groundwater and surface waters without pre or post extraction treatment. Water shortage and water sources pollution is strongly linked to other phenomena which have to be taken into account (Lamas and Martinez-Santos, 2005; Lund et al., 2006).

Complementary water amounts can be obtained in arid and semi-arid regions by putting into use the extra water resources. It includes different directions:

**Saline and Sea Water (SSW).** Saline water and sea water can be treated to drinking quality by implementing nanotechnology methods. In many cases saline water can be applied in excess amount for agricultural irrigation yielding products with higher sugar content (Brix) however, reduced yield per unit area and per m<sup>3</sup> applied. Water can as well be pumped from the sea and treated to acceptable qualities by implementing membrane technologies.

**Cloud harvesting.** Climate and clouds conditions can be adapted by seeding methods in order to enhance precipitation and for runoff generation and aquifer enrichment. Cloud seeding technology is well know however, so far is relatively expensive.



**Runoff Water (ROW).** Runoff water is generated during sparse rainfalls events during the wet (winter) season. In areas with low soil surface permeability (or urban areas) the floodwater can be diverted to special facilities and stored for future needs mainly for the summer supplementary irrigation and/or other uses (Boers, 1994; Weiss et al., 2007). Urban and highway ROW are valuable alternative water resources that need further development, although the relatively high capital investments. The stochastic nature of runoff water supply raises reliability issues and difficulties to use this resource efficiently (Oron and Enthoven, 1987). Collecting ROW during floods and storing it for the peak demand periods can alleviate water scarcity (Yeh, 1985).

**Treated Wastewater (TWW).** Treated wastewater, and primarily domestic treated wastewater can be reused for a large pattern of possibilities, primarily for agricultural irrigation (Asano et al., 1992). Separated greywater from households can be treated and used in Mega-Cities relatively close to the generation sites (Friedler et al., 2005). The major drawbacks of TWW use are the relatively high capital investments in the treatment facilities and equipment, the dual piping system required to distribute it separately from potable water, effluent quality control and additional required precautions to minimise health and environmental risks. Treatment level is related to the purpose of reuse and is of extra concern. The nutrients contained in the TWW are, however, beneficial for agricultural use however, might be a problem when discarded into stagnant large water bodies (Del Pino and Durham 1999). Storage of treated effluent in open surface reservoirs frequently can relieve water shortage along with obtaining effluent with a reduced content of pathogens (Yeh, 1985). The difficulties associated with the extra water quality enhanced implementing advanced treatment methods. Science and technology and management measures have to combine forces in order to develop and implement new advanced methods for water purification. Advanced methods will be based in the near future on the nanotechnology discipline. In practice it means to implement predominantly the membrane technology for reclamation of most kinds of low quality waters (Shannon et al., 2008).

## NANOTECHNOLOGY for EXTRA WATER UPGRADING

### General

Membrane technology is entering aggressively into most fields of liquid treatment, primarily for polishing low quality waters. It allows using the membranes as an efficient physical barrier to separate between the liquid and the solid fractions in the low quality waters (Kang et al., 2008). The membrane technology can be implemented as part of the biological treatment process [e.g. in Membrane BioReactors (MBR)] and also as a separation tool for removal of the suspended matter and pathogens from effluent (Oron et al., 2006). The membrane technology is probably the predominantly promising direction also for better treatment of the industrial wastewater and removal of the hazardous dissolved solids contained in the water. Membrane technology is based on the removal of dissolved minerals (including but not limited to salt) and pathogens from seawater, brackish water, treated wastewater and any other low quality water.

Worldwide there are close to 8,000 desalination plants (mainly for sea water), about 60% in the Mediterranean Basin. One of the largest membrane treatment plants is located in



Saudia Arabia (producing around  $175 \times 10^6$  m<sup>3</sup> per year (130 MGD) of desalinated water. Current largest Reverse Osmosis (RO) sea water desalination plant is located in Ashkelon, Israel ( $100 \times 10^6$  m<sup>3</sup> per year). Soon will be operated the membrane sea water desalination plant of Barcelona, Spain ( $60 \times 10^6$  m<sup>3</sup> per year)..

Several membrane technologies are implemented for low quality upgrading (Rahardianto et al., 2008). The leading method is based on the Reverse Osmosis (RO) process and ElectroDialysis (ED). Other methods include distillation, thermal desalination and others (Lu and Hein, 2002). Main advantages of treatment facilities that are based on membranes are the small foot print, efficient treatment in terms of consistent removal, and the options of turning biological processes into efficient industrial processes and possibility to use modular components in expanding systems. Membrane technology has a great advantage when implemented in small and isolated communities.

### Forthcoming Challenges

Although the several advantages of implementing the nanotechnology in the treatment processes there encountered also some drawbacks. These drawbacks are in the focus of main technological research programs. Intensive integrative efforts are in progress, frequently including the industry and research institutions in order to solve the faced problems. These are essentially the forthcoming challenges.

***Fouling and long time span membranes operation.*** Membrane fouling is commonly associated with a reduction in flow. Fouling is subject to the minerals and organic matter content in the feed water, pre-treatment stages (e.g. settling, sand filtration, flocculation, use of activated carbon) and flushing policy (frequency of backwash, amounts, frequency of chemical flush) and finally the timing of the membrane replacement. In some cases worn-out membranes can be installed as a pre-treatment and protective stage before new and more sensitive membranes .

***Energy demand for operation.*** Membrane treatment systems commonly consume high amounts of energy. Energy demand can probably be reduced by improving the flow rates in the systems and reducing the head losses (due to flow). It is probably a combination of the membrane system structure and materials, including aspects that refer to keeping the system clean with minimal deposits in the pores and surface. In MBR system energy issues are mainly related to aeration demands for maintaining adequate bio-chemical conditions in the reactor.



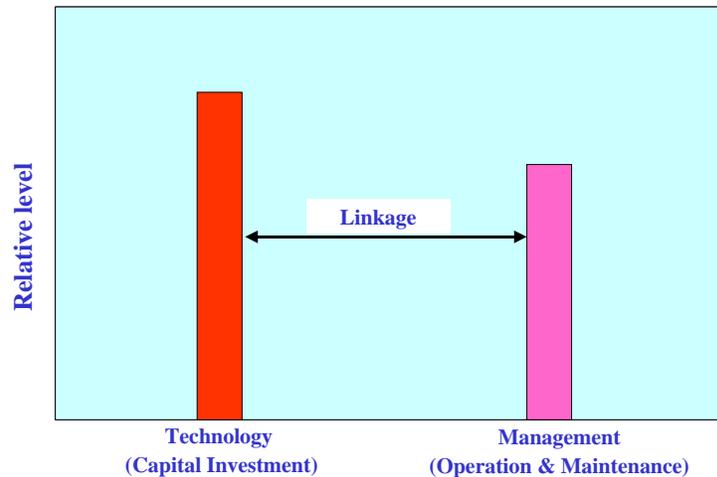
**Brine disposal and or reclamation.** The brine disposal is undoubtedly a challenging task. It refers primarily to systems that are located relatively far away from the sea or any other acceptable central disposal site. When considering disposal one has to take into account the environmental pollution risks. The approach of minimizing brine discharge (zero discharge) is investigated in several institutions worldwide. When considering large scale inland membrane systems one can consider large scale drainage carriers that will collect the brine from a series of facilities and dispose it in a central environmental friendly disposal site. That demonstrates the integrative approach of combining technological, economic and environmental considerations. A preferable approach, primarily in water scarce regions will be to further treat the brine and/or to identify reuse option and not just the waste it.

**Separation of unique/specific constituents.** Current utilized membrane system hardly remove all constituents, subject to the pore size and operating conditions, feed quality and membrane characteristics. There are still some constituents that need extra attention and additional studies for optimal removal. These include for example Boron and the endocrine disruptors. There is probably a list of additional hazardous constituents that are not removed however, have not been identified yet.

There are on the other hand some constituents that are removed during the membrane processes and their minimal content is a discrepancy. Examples included removal of Mg from desalinated sea water that turned to be an important element for agriculture or calcium that under low content in still pipes might enhance corrosion processes.

**Selective membranes.** The nanotechnology industry will be enforced, sooner or later according the market demands to manufacture membranes that will be able to treat the low quality waters according to the feed quality and subject to the end users demand characteristics. These membranes have to be adjusted to hydrophilic or hydrophobic properties of the incoming fluids, reject or absorb the constituents according to the ultimate purpose of separation. Two main options are envisioned: (i) manufacturing membranes of diverse characteristics according to given inputs and required outputs (permeate), and; (ii) constructing hybrid membrane systems namely, a series of treatment stages with different membrane characteristics. The preferable options will be an integrative outcome of economic, system operation and investment and environmental considerations.





**Figure 2. The linkage between technology and management**

### MANAGEMENT CONSIDERATIONS

Optimal utilization of the various waters, primarily in regions with scarce high quality conventional sources requires a broad view and integration of most related factors (Brimberg et al., 1994). The main factors include the timing of development and putting into use new waters such as desalinated sea water and treated wastewater, level of treatment according to consumers' demands' characteristics and location of demand sites in reference to the sources. It means that an holistic approach has to be adapted. The practical implication is that for optimal future performance and sustainable technical aspects of treatment have to be combined with financial investment, operation and maintenance of the systems. Operation and maintenance should include water quality at the water source location, required qualities at the destinations, transportation and energy requirements, the public acceptance and impact on the environment. These can be mainly addresses by development of management models. Common management models consist of an objective function (commonly minimal expenses or maximal returns) which is optimized subject to a series of technological constrains. Although many of the management models are a close abstract of reality they can provide preferable development directions and guidelines for realizing specific model. Unfortunately, these management models are associated with a combination of expertise that includes economics, technology and mathematics. That unique combined background frequently hinders providing integrative water scarcity solutions. Consequently, it looks as if the managerial aspects are not always taken in full consideration resulting in elevated expenses and sometimes failure of systems (Figure 2).

### THE RISKS ASSOCIATED WITH EFFLUNT APPLICATION

Health risk assessment is the process through which toxicological or pathogenic (from wastewater) data is combined with information concerning the degree of exposure to external hazardous. Risk analysis is performed in order to quantitatively predict the likelihood that a particular adverse response will arise in a specific human community [Paustenbach, 1997]. Quantitative microbial risk assessment has recently been applied to estimate the risk of infection and illness subject to enteric pathogens presence in water and food. Viruses might accumulate on plants due to direct contact (e.g. by sprinkler



irrigation) or in the distributed aerosols. Survival time on plants can reach up to 60 days, depending highly on temperature with increased survival at lower temperatures (Pepper et al., 1996). Content of enteric viruses can reach several thousands in raw wastewater however, during treatment it might decrease to dozens were even several organism are sufficient to cause an infection.

More than a few studies focus on health risk associated with wastewater reuse in agriculture [Asano et al., 1992; Rose et al., 1996; Tanaka et al., 1998; Baggett et al., 2006; Salgot, 2008]. Two major risks can be considered: (i) The ones related to microbial pollutants that pose health hazards due to the direct contact with low quality effluent which might contain bacteria, viruses, helminthes, nematodes, protozoa, fungi and algal toxins [Salgot et al., 2006], and; (ii) chemical risks which are subject to concentration levels of main chemicals in the applied effluent and do not comply with effluent reuse standards [Salgot et al., 2006; Toze, 2006; Kamizoulis, 2008]. Endocrine Disrupting Chemicals (EDCs) and pharmaceutical active compounds pose additional health risks [Joss et al., 2005; Toze, 2006]. Limited attention has been focused on exposure assessment and related health risk analysis due to consumption of agricultural products irrigated with reclaimed wastewater. The exposure of consumers to contaminated agriculture products due to treated wastewater irrigation depends on a series of factors such as the quality of the applied wastewater, the irrigation method and the community habits. Previous works deal only roughly with the effect of the irrigation method, which is, in practice, one of the key issues for their exposure estimate [Tanaka et al., 1998; Wagner and Strube, 2005]. Other sources estimate an accidental ingestion of 100 mL of irrigation water per year, without specifying whether this concerns consumers or workers [Rose et al., 1996].

## **RISK MODELING of SAFE EFFLUENT USE**

### **General**

Risk assessment during effluent reuse for irrigation of agriculture products consists of two however, combined major components. The technical component which refers to the influent quality, treatment level and quality of applied effluent, irrigation application method, kind of fruits/vegetables (e.g. peeled fruits *vs.* onsurface thrown vegetables) and related part eaten raw (peeled or consumed entirely), and elapsed time between last watering and timing of consumption. The other component refers to the human consumer characteristics. The consumer is described by the weight, amount of fruits/vegetables consumed per day and fraction eaten raw, immunity level and heredity properties, sanitary conditions and general health environment. A management model was defined in this work in order to isolate some of the above effective variables and to assess the risks during consumption of raw fruits/vegetables which were irrigated with domestic effluent.

### **The exposure model characteristics**

Exposure consists of a series of events in which a person (or a community) is in a close contact with biological, chemical, or physical agents that might have adverse effects on human life [Hammad and Manocha, 1995]. The prevailing route of exposure to reclaimed wastewater for human consumers is primarily through ingestion of food irrigated with reclaimed effluent and/or contaminated waters. When modeling exposure of a community to a unique phenomenon, regarding wastewater, the following are considered: (i) wastewater treatment characteristics and related quality; (ii) the route of virus migration from the irrigation wastewater into and within the food plant; (iii) virus die-off during the period between last irrigation and agricultural raw product harvesting and consumption,



and; (iv) the consumption pattern of the population.

The exposure route is based in this model on a human adult whose dietary intake of fruits and vegetables is based entirely on crops irrigated with effluent. The corresponding assumptions for the dose-response modeling are as follows: (a) only exposure through ingestion is considered; (b) the virus concentration in raw sewage is log normally distributed. A common virus arithmetic mean in effluent is 1,000 Plaque Forming Units per liter (PFU/L), and the standard deviation is 300 PFU/L [Rose et al., 1996; Tanaka et al., 1998]; (c) the decay of pathogens during storage of effluent before irrigation is a complementary part of the treatment system; (d) the total period between final irrigation and human consumption includes also the effluent storage immediately after harvesting; (e) no cross-contamination of fruits and vegetables after harvesting is considered, and; (f) commonly, consumers eat 50% of their diet uncooked, unpeeled, and unwashed.

### The Dose-Response Model (DRM)

A Dose-Response Model (DRM) was adapted in order to examine the effect of consuming agricultural products irrigated by secondary effluent on human health. The DRM explains the linkage between the rate of exposure (e.g. virus dose) and the rate (actually exposure) of consuming products irrigated with effluent. The DRM is based on the  $\beta$  Poisson Distribution Model ( $\beta$ -PDM) assuming rotaviruses is the dominant pathogen. Rotaviruses are the type of enteric viruses with the lowest infectious dose. The hypothesis of an independent action of single organisms forms the base for the  $\beta$ -PDM. The  $\beta$ -PDM is considered an appropriate model for virus ingestion and infection probability assessment [Rose and Gerba, 1991; Rose et al., 1996; Tanaka et al., 1998]. The daily probability of infection by ingesting pathogens  $P_d$  is given by:

$$P_d = 1 - (1 - D_i/\beta)^\alpha \quad (1)$$

Where:

$D_i$  - daily consumed dose of risking contaminant, PFU/d.

$\beta$  - the  $\beta$  Poisson distribution coefficient. Poisson expresses discrete probability distribution of rare events with a known mean.

$\alpha$  - a model parameter for assessing the infection rate ( $\alpha$  is in the range of 0.232 to 0.247 (Haas, 1983)).

Consequently, the annual probability  $P_a$  of infection by ingesting pathogens is given by:

$$P_a = 1 - (1 - P_d)^{365} \quad (2)$$

### Contaminated agriculture products consumption

**Consumption of contaminated fruits and vegetables.** In order to be able to compare between the two drip irrigation methods (ODI and SDI) the Effluent Equivalent Volume (EEV) concept was adopted. The EEV approach is implemented for ODI, with a triangular distribution, expressing variability and uncertainty. The triangular distribution is a conservative characterization of a normal distribution and takes into account a high level of uncertainty [Finley et al., 1994]. Accordingly, the EEV has an average pathogen content of 0.16 mL in the applied effluent penetrating into 100 g of plant matter (the minimum is 0.016 mL/100 g and the maximum is 1.6 mL/100 g).

Fruits and vegetables are the major component of the human diet which is affected by the quality of the applied reclaimed effluent. The US-EPA [1997] investigated the daily intake of fruits and vegetables per body weight in the United States. The US-EPA analysis is based on a mean common body weight of approximately 71 kg [Finley et al., 1994]. The



fraction of fruits and vegetables that is consumed uncooked, unpeeled, and unwashed can be described by a triangular distribution pattern (average 50%; minimum 25%; maximum 75%). The combination of this data leads to a daily per capita consumption of raw fruits and vegetables that is affected by effluent application.

**The risks associated related to the application method.** Under Subsurface Drip Irrigation (SDI) the risk of crop contamination is reduced due to the minimal direct contact between the above surface parts of the plant and/or the soil surface and the contaminated applied effluent. The two possible mechanisms of contamination under SDI are either by over-head irrigation (probably adjacent fields), causing effluent air drift to the soil surface, or through penetration via the root system and internal migration to the upper parts of plants. The limited data regarding SDI revealed that very small amounts or no viruses can penetrate into the plants [Katzenelson and Mills, 1984; Oron et al., 1995; Shuval et al., 1997]. In spite of it the EEV concept was as well applied for SDI and a triangular distribution. Under SDI and for a triangular distribution the average EEV was 0.016 mL/100 mL, the minimum was 0.0016 mL/100 g, and the maximum was 0.16 mL/100 g. Comparisons with conventional ODI irrigation demonstrate that at least 2 orders of magnitude reduction in pathogen levels in soil and crops can be attained under SDI [Campos et al., 1998].

#### **Pathogens die-off after last effluent application**

Under adequate environmental conditions pathogens (mainly viruses) can survive for extended periods of several months [Feachem et al., 1983]. The survival depends on a series of surrounding conditions where their multiplication needs a suitable host. Natural decay processes of viruses depend on moisture, salinity, temperature, pH, and radiation intensity. The fate of pathogens in the environment is usually represented by first-order rate die-off kinetics [equation (3)]. A decay constant  $k$  ( $d^{-1}$ ) in the range of 0.65– 0.73  $d^{-1}$  is often used for viruses [Asano and Sakaji, 1990; Shuval et al., 1997; Tanaka et al., 1998]:

$$C_t = C_d [\exp(-k \cdot t_d)] \quad (3)$$

Where:

$C_t$  - virus concentration at elapsed time  $t_d$  after irrigation or at consumption, PFU/L.

$C_d$  - initial virus concentration in the applied effluent, PFU/L.

$t_d$  - elapsed time between final irrigation and consumption, d.



**Table 2. Input data for the simulation runs**

<i>Parameter</i>	<i>Value and dimensions</i>
<i>Virus content in raw wastewater</i>	<i>1,000 PFU/L</i>
<i>Kinetic decay coefficient for viruses (1<sup>st</sup> order)</i>	<i>0.69 1/d</i>
<i>Daily fruits/vegetables consumption per person</i>	<i>7.7 g/(kg ca d)</i>
<i>Percent of fruits/vegetables consumed raw</i>	<i>50 %</i>
<i>Human body weight</i>	<i>71 kg</i>
<i><math>\alpha</math> - An coefficient in Poisson distribution [Eq. (1)]</i>	<i>0.232</i>
<i><math>\beta</math> - An coefficient in Poisson distribution [Eq. (1)]</i>	<i>0.247</i>

### **The risk simulation model**

An Exposure Model (EM) for assessing the risk associated with consumption of agricultural products irrigated with effluent was defined and tested. The model compared health risks under Onsurface Drip Irrigation (ODI) and SDI. The EM provides quantitative relationship between effluent quality, irrigation policy, application method and the anticipated daily virus dose that a person consumes. The expected annual risk of infection is estimated stochastically by using the Monte-Carlo Simulation Method (MCSM) and the developed EM (Thompson et al., 1992). The outcomes of the numerical computations are compared, including the given and obtained risks. Irrigation effluent quality and the exposure model lead concurrently to the daily virus dose that consumers ingest. The daily viral risk of infection is then calculated using a dose response model implementing data from literature. Finally, the daily viral risk of infection is converted into an annual risk of infection taking into account the exposure frequency. The input data for the risk management model is given in Table 2. The simulation model was run for diverse conditions. However, major variables were the wastewater treatment level (expressed by log removal of pathogens), irrigation method (DI vs. SDI), elapsed time between last effluent application and fruits/vegetables consumed raw, and the associated risks. Additional complementary input data is given in Table 2. This data is based on information given in literature and some related assumptions.

### **RESULTS of TESTING the RISK MODEL**

#### **General**

The Exposure Model (EM) was examined for various situations and conditions. A sample result for representative scenarios for different effluent qualities (municipal primary, secondary and advanced treatment) applied through the two considered drip irrigation methods (ODI and SDI) are presented (Fig. 2.). The number of simulation runs using the RiskMaster software (1995) ranged from 2,500 to 50,000. Additional calculated information is given in Table 3.

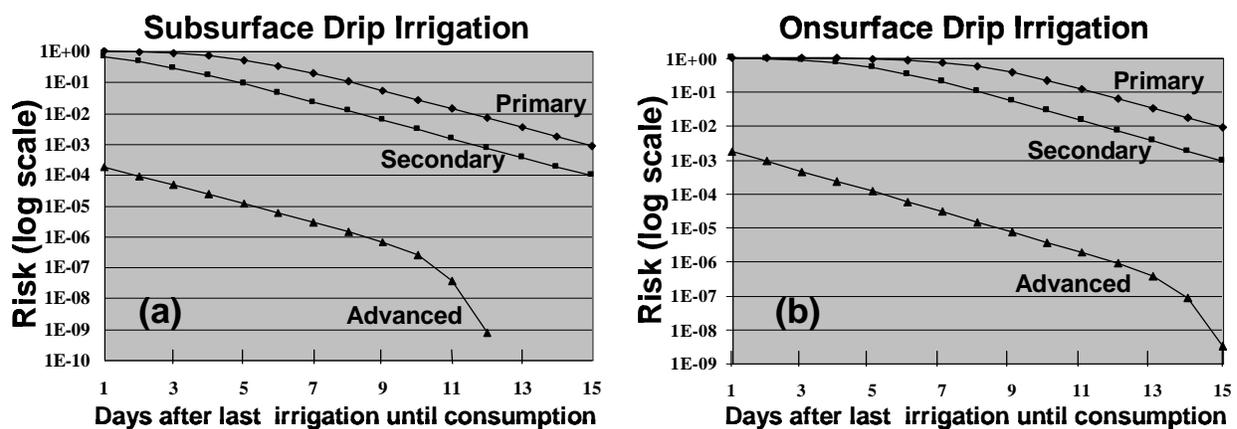


**Table 3. Ranges of main risk values (dimensionless) obtained during the Monte-Carlo simulation, subject to the number of days after last irrigation until product consumption**

Drip Irrigation Method	Primary effluent		Range of values Secondary effluent				Advanced treated effluent					
	Mean		Standard Deviation		Mean		Standard Deviation		Mean		Standard Deviation	
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
ODI	<b>8.50</b> $\times 10^{-3}$	0.9999	2.05 $\times 10^{-3}$	2.45 $\times 10^{-1}$	<b>8.97</b> $\times 10^{-4}$	<b>9.82</b> $\times 10^{-1}$	7.13 $\times 10^{-4}$	2.40 $\times 10^{-1}$	3.25 $\times 10^{-9}$	1.77 $\times 10^{-3}$	5.69 $\times 10^{-8}$	1.40 $\times 10^{-3}$
SDI	<b>8.57</b> $\times 10^{-4}$	0.9810	6.81 $\times 10^{-4}$	2.41 $\times 10^{-1}$	<b>8.97</b> $\times 10^{-5}$	6.35 $\times 10^{-1}$	7.13 $\times 10^{-5}$	2.46 $\times 10^{-1}$	0.0	1.77 $\times 10^{-4}$	0.0	1.41 $\times 10^{-4}$

### Effluent quality and assessed risks

As expected (Figure 3) the risk is decreasing along with the improvement in the effluent quality. That holds for both application methods [Figure 2(a) and 2(b)]. The advanced treatment is commonly associated with a disinfection stage, killing most pathogens. The primary and secondary stages are commonly based on settling and biological phases. For example for ODI [Fig. 2(b)] for 9 days after last irrigation the risk for the primary and secondary treatment level the associated risks are 1 and 0.1, respectively. The related risk for the advanced treatment stage is only  $10^{-5}$ .



**Figure 3. Assessed Risks based on simulation for applying different effluent qualities via onsurface and subsurface drip irrigation**

### The linkage between the risk and application method

Figure 3 reveals the advantages of SDI **vs.** the conventional ODI. SDI application method has a series of extra advantages such as reduced water demand, efficient nutrients uptake



and the option of using saline water, convenience and labor saving (Oron et al., 2002). For example, for an elapsed time of 5 days after last effluent application the associated risk under ODI is  $10^{-4}$  [Fig 2(b)] where for SDI it is only  $10^{-5}$  [Fig. (2a)]. These results comply with the various field studies (Campos et al., 1998) prove that the soil layer above the subsurface laterals performs as a safe barrier preventing pathogens transfer from the dripping laterals towards the upper soil surface, thus mitigating the risks of effluent application for irrigation of edible crops.

### SUMMARY

Sustainable water use for diverse use purposes requires innovative advanced solution for the water production subject to environmental considerations. These can be accomplished by combining various treatment technologies of low quality waters and subject to economic, environmental, and public acceptance considerations. Combined theoretical and field work efforts have to focus on applied research towards reclamation and reuse of impaired waters. The efforts to create new sources of high quality water through the reclamation and reuse of impaired waters have to be subject to protecting public health and the environment. Ultimately, the success of using the low quality and new waters depends to a large extent on combining advanced technologies with adequate managerial decisions. The integrative approach of producing and applying the extra new waters has to take into account all aspects. These aspects include chemical constituents content, microbiological agents, treatment technologies, salinity management, public perception, economics, and marketing and maintaining a clean and friendly environment.

### **Acknowledgement**

The work was partially supported by The Integrated Water Resource Management (IWRM) - Sustainable Management of Available Water Resources with Innovative Technologies (SMART) project on development, modeling and providing tools for optimal water use in arid regions, which is supported by The Federal Ministry of Education and Research, Germany and The Ministry of Science and Technology (MOST) of the State of Israel.



## REFERENCES

- Asano, T. and Sakaji, R. H. 1990. Virus risk analysis in wastewater reclamation and reuse. In: Hahn, H. H. and Klute, R. (Eds.) *Chemical Water and Wastewater Treatment*, Springer Verlag, Berlin, Germany, pp. 25–35.
- Asano, T., Richard, D., Crites, R. W., and Tchobanoglous, G. 1992. Evolution of tertiary treatment requirements in California. *Water Environment and Technology*, **3**(2), 37-41.
- Baggett, S., Jeffrey, P., Jefferson, B. 2006. Risk perception in participatory planning for water reuse. *Desalination* **187**, 149-158.
- Boers, Th. M. 1994. Rainwater harvesting in arid and semi-arid zones. The International Institute for Land Reclamation and Improvement/ILRI, Wageningen, p 133.
- Brimberg, J., Mehrez, A. and Oron, G. 1994. Economic development of groundwater in arid zones with applications to the Negev Desert, Israel. *Management Science*, **40**(3), 353-363.
- Campos, C., Oron, G., Gillerman, L., and Salgot, M. 1998. Transport of bacteria, virus and parasites in wastewater applied to soil under onsurface and subsurface drip irrigation, paper presented at the *Nineteenth Biennial Conference of the International Association of Water Quality*, Vancouver, B. C., Canada, June 21–26.
- Del Pino, M. P. and Durham, B. 1999. Wastewater reuse through dual-membrane processes: opportunities for sustainable water resources. *Desalination* **124**, 271–277.
- Feachem, R. G., Bradley, D. J. Garelick, H., and Mara, D. D. 1983. Sanitation and Disease: Health Aspects of Excreta and Wastewater Management, World Bank Study. *Water Supply Sanitation* **3**, World Bank, Washington, D. C.
- Finley, B., Proctor, D., Scott, P., Harrington, N., Paustenbach, D., and Price, P. 1994. Recommended distributions for exposure factors frequently used in health risk assessment. *Risk Analysis* **14**(4), 533–553.
- Friedler E., Galil, N., and Kovalio, R. 2005. On-site greywater treatment and reuse in multi-storey buildings. *Water Science and Technology*, **51**(10), 187-194.
- Goto, T. 2002. East and South East Asia. *Desalination & water reuse*, **12**(1), 28-30.
- Haas, C. N. 1983. Estimation of risk due to low doses of microorganisms: A comparison of alternative methodologies. *Am. J. Epidemiol.* **118**, 573–582.
- Hammad, Y. Y., and Manocha, Y. 1995. Principles of exposure assessment, in *Environmental Medicine*, edited by S. M. Brooks et al., Mosby Year Book, St. Louis, Mo.
- Joss, A., Keller, E., Alder, A. C., Goebel, A., McArdell, C. S., Ternes, T. A., Siegrist, H. 2005. Removal of pharmaceuticals and fragrances in biological wastewater treatment. *Water Research* **39**(14), 3139-3152.
- Kamizoulis, G. 2008. Setting health based targets for water reuse (in agriculture). *Desalination* **218**, 154-163
- Kang, S., Herzberg, M., Rodrigues, D. F., and Elimelech, M. 2008. Antibacterial Effects of Carbon Nanotubes: Size Does Matter!, *Langmuir*, **24**(June), 6409-6413
- Katzenelson, E., and Mills, D. 1984. Contamination of vegetables with animal viruses via the roots. *Monogr. Virol.* **15**, 216 –220.
- Llamas, M. R., Martinez-Santos, P. 2005. Intensive groundwater use: silent revolution and potential source of social conflicts. *Journal of Water Resources Planning and Management*, **131** (5), 337-341.
- Lund, J. R., Cai, X. Characklis, G. W. 2006. Economic engineering of environmental and water resource systems. *Journal of Water Resources Planning and Management*, **132** (6), 399-402.



Montgomery, M. A., and Elimelech, M. 2007. Water and sanitation in developing countries: including health in the equation, *Environmental Science and Technology*, 41, 17-24.

Oron, G., and Enthoven, G. 1987. Stochastic considerations in optimal design of a microcatchment layout of runoff water harvesting. *Water Resources Research*, 23(7), 1131-1138.

Oron, G., DeMalach, Y., Gillerman, L., David, I., Lurie, S. 2002. Effect of water salinity and irrigation technology on yield and quality of pears. *Biosystems Engineering* 81(2), 237-247.

Oron, G., Gillerman, L., Bick, A., Buriakovsky, N., Manor, Y., Ben-Yitshak, E., Katz, L., Hagin, J. 2006. A two-stage membrane treatment of secondary effluent for unrestricted reuse and sustainable agricultural production. *Desalination* 187, 335–345.

Oron, G., Goemans, M., Manor, Y., and Feyen, J. 1995. Poliovirus distribution in the soil-plant system under reuse of secondary wastewater. *Water Research* 29(4), 1069–1078.

Palacios, M. P., Mendoza-Grimon, V., Fernandez, F., Fernandez-Vera, J. R., and Hernandez-Moreno, J. M. 2007. Sustainable reclaimed water management by subsurface drip irrigation systems: a study case for forage production. Paper presented at the 6th IWA specialist conference on Wastewater Reclamation and Reuse for Sustainability WRRS 2007, 9-12 October 2007 Antwerp, Belgium, p.-12.

Pepper, I. L., Gerba, C. P., Brusseau, M. L. 1996. *Pollution science* Academic press, p-397.

Postel, S. L. 2006. For our thirsty world, efficiency or else (book review), *Science* 313, 1046-1047.

Rahardianto, A., NcCool, B., and Cohen, Y. 2008. Reverse osmosis desalting of inland brackish water of high gypsum scaling propensity: kinetics and mitigation of membrane mineral scaling. *Environmental Science and Technology*, 42, 4292–4297

RiskMaster 1995. *Master solution*. Cambridge, Mass., USA, p-47.

Rose, J. B., and Gerba, C. P. 1991 Use of risk assessment for development of microbial standards. *Water Science Technology* 24(2), 29–34.

Rose, J. B., Dickinson, L. J., Farrah, S. R., and Carnahan, R. P. 1996. Removal of pathogenic and indicator micro-organisms by a full-scale water reclamation facility. *Water Research* 30(11), 2785–2797.

Salgot, M, Huertasa, E., Weberb, S., Dottb, W., Hollenderb, J. 2006. Wastewater reuse and risk: definition of key objectives. *Desalination* 187, 29-40.

Salgot, M. 2008. Water reclamation, recycling and reuse: implementation issues. *Desalination* 218, 190-197.

Shannon, M. A., Bohn, P.W., Elimelech, M., Georgiadis, J. G., Mariñas, B. J. and Mayes, A. M. 2008. Science and technology for water purification in the coming decades, *Nature*, 452, 301-310

Shuval, H., Lampert, Y. and Fattal, B. 1997. Development of a risk assessment approach for evaluating wastewater reuse standards for agriculture. *Water Science Technology* 35(11–12), 15–20.

Sobsey, M., Stauber, C., Casanova, L., Brown, J., and Elliot, M. 2008. Point of use household drinking water filtration: a practical, effective solution for providing sustained access to safe drinking water in the developing world. *Environmental Science and Technology*, 42, 4261–4267.

Tanaka, H., Asano, T., Schroeder, E. D., and Tchobanoglous G. 1998. Estimating the



- safety of wastewater reclamation and reuse using enteric virus monitoring data. *Water Environ. Research* **70**(1), 39-51.
- Tanaka, H., Asano, T., Schroeder, E. D., and Tchobanoglous, G. 1992. Estimating the safety of wastewater reclamation and reuse using enteric virus monitoring data. *Water Environ. Research* **70**(1), 39 –51.
- Thompson, K. M., Burmaster, D. E., and Crouch, E. A. C. 1992. Monte Carlo techniques for quantitative uncertainty analysis in public health risk assessments. *Risk Analysis* **12**(1), 53– 63.
- Toze, S. 2006. Reuse of effluent water—benefits and risks. *Agricultural Water Management* **80**, 147-159.
- U.S. Environmental Protection Agency (US-EPA) 1997 Exposure Factor Handbook, Update Volume II, Food Ingestion Factors. *EPA/600/P/002Fb*, Washington, D. C.
- Wagner, M., Strube, I. 2005. Risk management in waste water treatment. *Water Science Technology* **52**(12), 53-61.
- Weiss, P.T., Gulliver, J. S., Erickson, A. J. 2007. Cost and pollutant removal of storm-water treatment practices. *Journal of Water Resources Planning and Management*, **133**(3), 218-229.
- Yeh, W. W-G. 1985. Reservoir management and operations models: A state-of-the-art review. *Water Resources Research*, **21**(2), 1797-1818.



## CM03. TECNOLOGÍA DE MEMBRANAS PARA AGUAS USADAS: EL FUTURO DEL RBM

M. Héran and S. Elmaleh  
*Instituto Europeo de Membranas*  
34095 Montpellier CEDEX 5, Francia

### 1. Introducción

La demanda en agua crece de manera tal que ya no es factible, en muchas regiones del mundo, planear cualquier desarrollo sin solicitar recursos hídricos inconvencionales como la reutilización/reciclaje de aguas usadas, campo en el cual la técnicas de membrana han jugado y jugarán un papel importantísimo.

### 2. ¿Qué son las membranas?

Una membrana es una barrera selectiva -pared o interfase- a través de la cual permea un disolvente impulsado por un gradiente. Cuando se trata de un gradiente de presión se distinguen varios procesos según la talla del soluto a retener: microfiltración, ultrafiltración, nanofiltración y osmosis inversa.

Las membranas pueden ser orgánicas o inorgánicas con varias estructuras microscópicas y presentarse bajo forma plana, tubular o como fibras huecas.

### 3. Configuraciones hidráulicas

El caudal que atraviesa una membrana puede ser perpendicular a ella (filtración frontal) como en una filtración convencional sobre soporte: a presión constante, el flujo disminuye entonces con el tiempo hasta anularse ya que la resistencia del depósito va aumentando. Si el caudal es paralelo a la membrana, la filtración es llamada tangencial y el flujo, después de disminuir paulatinamente consigue un régimen estacionario.

La inyección de aire sobre la superficie de una membrana alimentada frontalmente (air-lift) permite de conseguir un flujo semejante al de la filtración tangencial.

### 4. Las membranas en depuración de aguas

Varias plantas hacen uso de osmosis inversa en fin de tratamiento terciario: se asegura, de ese modo, un efluente perfectamente desinfectado que puede ser utilizado en agricultura e incluso potabilizado. La osmosis inversa necesita un pretratamiento convencional, por ejemplo filtración sobre lecho de carbón activado, o una micro/ultrafiltración.



Los reactores biológicos de membrana (RBM) permiten, en una sola etapa, depurar biológicamente y producir un efluente de calidad comparable.

## 5. Los RBM

Un RBM resulta de la combinación de un reactor biológico de células en suspensión con una membrana, generalmente de micro o ultrafiltración. Presenta muchas ventajas:

- a) La selectividad es independiente de la calidad del agua bruta;
- b) La clarificación final no depende de las características del lodo;
- c) La retención de sólidos, bacterias y hasta virus es completa.

Un RBM es, en consecuencia, equivalente a un fango activado seguido de un tratamiento terciario, como filtración sobre lecho de arena, y de una desinfección. Aporta una compactidad significativa: un clarificador convencional necesita 0,014 m<sup>2</sup>/HE, una membrana solo 0,003 m<sup>2</sup>/HE, lo que significa 4 veces menos.

### 5.1. Ensuciamiento

El ensuciamiento de la membrana aumenta la resistencia global: mantener el caudal constante implica aumentar el consumo de energía. Los parámetros responsables del colmataje son varios.

- a) La configuración del módulo: geometría, densidad de membrana y talla de fibras (fibras huecas).
- b) La aireación: talla de las burbujas, régimen hidráulico.
- c) Las características del fango: concentración, reología.
- d) Los parámetros de operación: flujo, caudal de aireación.
- e) Los parámetros que condicionan la biología: carga orgánica, tiempo espacial de la fase líquida, edad del fango.

El colmataje interviene a tres escalas:

- i) Macroscópica: acumulación de sólidos sobre la membrana.
- ii) Microscópica: desarrollo de un biofilm.
- iii) Nanoscópica: adsorción irreversible al interior de los poros.

### 5.2. La unidad de RBM

El módulo de membrana puede ser exterior al reactor o sumergido en este mismo. Los resultados indican que se consigue minimizar la energía de operación cuando las membranas se encuentran sumergidas en el reactor. Con este diseño, los mejores resultados se consiguen con membranas planas o de fibras huecas.



### **5.3. Diseño y fabricación de RBM**

Existen 45 compañías que comercializan RBM repartidas en el mundo entero con una mayoría de ellas en Europa. Algunas han simplemente adaptado sus equipos de filtración previamente existentes, otras han hecho un esfuerzo para diseñar equipos innovadores. Hoy en día hay un esfuerzo para estandarizar el conjunto que constituyen módulo, material de membrana, condiciones de operación, sostenibilidad de la filtración y requisitos en solar. El pretratamiento, por ejemplo, suele ser diferente de lo que se necesita para un fango activado ya que es imprescindible eliminar los materiales fibrosos.

### **5.3. El futuro del RBM**

- 1) No queda todavía claro que tipo de membranas dominará: la membrana plana o la de fibras huecas. La membrana plana permite de conseguir mejor hidráulica, pero la densidad de pared filtrante es baja (120 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>). Del otro lado, con fibras huecas, la densidad es muy superior pero con una hidráulica difícil a controlar.
- 2) Es probable que los materiales derivados de la nanotecnología permitirán mejorar las membranas.
- 3) Para disminuir el coste de operación, se tendrá que minimizar la demanda en aire instalando sistemas de aireación por burbujas pequeñas. Se minimizará también el número de lavados químicos (1/año).
- 4) La operación será más sencilla haciendo posibles los contra-lavados. La simulación permitirá de controlar el estado biológico de la biomasa y sus características reológicas.
- 5) Se tendrá que mejorar la cisalladura inducida por la aireación. Se puede incluso pensar en introducir promotores de turbulencia.



## SIMPOSIO A

### Caracterización y Análisis de Agua Residual

#### **A01. DETERMINACIÓN DE ANTI-INFLAMATORIOS NO-ESTEROIDEOS EN MUESTRAS DE AGUA RESIDUAL DEL DDR03 MEDIANTE MSPE-HPLC**

*Karina Aguilar-Arteaga. UAEH.*

#### **A02. CONCENTRACIÓN DE PESTICIDAS ORGANOCORADOS EN AGUAS Y SEDIMENTOS DE LA LAGUNA DE METZTITLÁN, RESERVA DE LA BIOSFERA DE LA BARRANCA DE METZTITLÁN, HIDALGO.**

*Quiterio-Pérez., M, J. Universidad Tecnológica del Valle del Mezquital.*

#### **A03. EVALUACIÓN DE UN PROCESO FOTO FENTON PARA EL TRATAMIENTO DE UN EFLUENTE TEXTIL**

*Arodí Bernal-Martínez. Universidad de Guanajuato*

#### **A04. APLICACIÓN DE EXTRACTOS DE SAPONINAS COMO COAGULANTES NATURALES PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES OBTENIDOS A PARTIR DE *Agave durangensis*.**

*Ariana Santos. Universidad Politécnica de Durango*



## A01. DETERMINACIÓN DE ANTI-INFLAMATORIOS NO-ESTEROIDEOS EN MUESTRAS DE AGUA RESIDUAL DEL DDR03 MEDIANTE MSPE-HPLC

*Karina Aguilar-Arteaga, José A. Rodríguez.*

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Carretera Pachuca-Tulancingo Km 4.5  
Pachuca Hidalgo, México. E-mail [josear@uaeh.edu.mx](mailto:josear@uaeh.edu.mx)

### Presentación

En el presente trabajo se reporta el análisis de contaminantes emergentes: paracetamol, naproxeno, diclofenaco e ibuprofeno (AINEs), en muestras de aguas residuales utilizadas para la irrigación de cultivos dentro del distrito de riego 03 ubicado en el estado de Hidalgo.

La región utiliza las aguas residuales de la Cd. de México y las aguas residuales locales para la irrigación de los cultivos. Es debido a esta práctica que un estudio del nivel de contaminantes emergentes presentes en las aguas es de gran importancia.

La composición de las aguas residuales es variada, la mezcla se compone de aguas municipales, industriales, comerciales, agrícolas, pecuarias, domésticos y similares [1].

En una primera etapa se lleva a cabo la pre-concentración de los analitos utilizando un soporte de sílice funcionalizado con cadenas alquílicas para su posterior elución, determinación y análisis mediante cromatografía de líquidos de alta resolución (HPLC) con detección UV.

En estas condiciones pueden determinarse simultáneamente los distintos analitos en concentraciones comprendidas entre 50-700  $\mu\text{gL}^{-1}$ , con precisión menor al 10% y

con límites de detección entre 1-2  $\mu\text{gL}^{-1}$ . El método propuesto es rápido, preciso y exacto.

### Método

La toma de muestras se realizó en una zona comprendida entre los municipios de Actopan y Mixquiahuala Hidalgo. El muestreo se llevó a cabo en enero de 2011 entre las 9 am y 3 pm. Se tomaron 4 L de muestra en botes de polipropileno.

El método de pre-concentración involucra los siguientes pasos 1 mL de metanol se adiciona a 0.1 g de soporte magnético funcionalizado con grupos octilo, se agrega a 0.5 L de muestra ajustando el pH a 3 con HCl 0.01 M. La mezcla se dispersa en un baño ultrasónico durante 10 min.

El soporte magnético se aísla con los analitos adsorbidos en su superficie, del resto de la muestra. La fase líquida se elimina por decantación, lavando el sólido posteriormente con dos porciones de 10 mL de agua desionizada para eliminar impurezas. Los analitos retenidos en la fase sólida se eluyen añadiendo 1 mL de metanol. El sólido se aísla nuevamente con ayuda del imán, recuperando la fase metanólica que contiene los analitos para su análisis en un equipo de HPLC-DAD [2].

El análisis cromatográfico se llevo a cabo en fase inversa. Se utilizó un cromatografo



de líquidos PerkinElmer Serie 200 con detección UV-Vis a 220 nm, con inyección manual conectado a un loop externo de 20  $\mu\text{l}$ . La separación cromatográfica se llevo a cabo en una columna Microsorb 100-C18 (5 $\mu\text{m}$ ; 150mm $\times$ 4.6mm d.i.). Como fase móvil se utilizó metanol-buffer de fosfatos (2:1), pH 2.5, 0.01 mol L<sup>-1</sup>. La velocidad de flujo fue de 1.0 ml min<sup>-1</sup>, a temperatura ambiente [3].

### Discusión de resultados

En las condiciones seleccionadas se evaluaron los parámetros analíticos utilizando concentraciones en el intervalo de 50-700  $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ . Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 1. El LOD fue calculado para una relación señal ruido igual a 3 (S/R=3). El LOQ fue determinado usando una relación señal/ruido igual a 10 (S/N=10). Las líneas de calibrado se construyeron a partir del área de la señal vs concentración mg $\cdot\text{L}^{-1}$ .

La repetitividad y reproducibilidad del método (< 5%) conjuntamente con las recuperaciones obtenidas (> 90%) permite afirmar que el método propuesto es preciso y exacto para la determinación de los AINEs seleccionados.

La Tabla 2 muestra los resultados para los compuestos farmacéuticos analizados para los tres canales analizados. Las concentraciones encontradas en los efluentes demuestra la presencia de este tipo de contaminantes y su persistencia en el medio. La determinación de residuos farmacéuticos, especialmente aquellos que como los AINEs presentan riesgos para la salud humana y los ambientes acuáticos, es un campo de especial interés y actualidad [4-5].

La Figura 1 muestra el cromatograma obtenido bajo las condiciones descritas como óptimas para un estándar y una muestra de agua residual, donde se aprecia que el método propuesto es altamente selectivo para los AINEs determinados.

### Conclusiones

Se ha propuesto un método para el análisis de rutina de cuatro antiinflamatorios no esteroideos de uso frecuente, el cual involucra la cuantificación mediante HPLC con detección UV. La principal ventaja del método reportado se debe a su sencillez y rapidez. Se logra la cuantificación de los AINES en niveles de  $\mu\text{g L}^{-1}$ .

Las condiciones de análisis encontradas son adecuadas logrando la separación y cuantificación de los AINES en un tiempo total de análisis de 30 minutos.

La confirmación de residuos farmacéuticos en efluentes de aguas residuales da pauta para seguir trabajando en la determinación de este tipo de residuos y lograr la disminución de los límites de detección y cuantificación, con la finalidad de evaluar de manera correcta los efectos adversos sobre la flora y fauna de la región.



**Tabla 1.** Parámetros analíticos a diferentes volúmenes iniciales de muestra

Volumen inicial (L)	Análito	Límite de detección ( $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ )	Límite de cuantificación ( $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ )	Repetibilidad (%DER)		Reproducibilidad (%DER)	
				50 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	100 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	50 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	100 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$
0.2	Acetaminofen	8	24	1.10	2.02	2.02	1.34
	Naproxeno	10	30	2.01	3.15	4.01	3.02
	Diclofenaco	7	21	2.06	2.02	1.03	2.07
0.5	Ibuprofeno	8	24	1.22	4.03	2.04	3.09
	Acetaminofen	2	7	2.02	1.04	2.01	2.02
	Naproxeno	4	11	1.01	2.02	1.02	2.05
1.0	Diclofenaco	3	8	4.30	3.31	3.03	3.07
	Ibuprofeno	3	9	3.16	1.05	1.05	3.09
	Acetaminofen	1	3	2.04	1.10	1.40	3.60
	Naproxeno	2	5	2.15	3.04	1.05	2.10
	Diclofenaco	1	4	1.01	3.02	2.01	4.03
	Ibuprofeno	1	4	1.03	2.06	1.04	3.07

**Tabla 2.** Concentraciones de AINES en los canales analizados mediante MSPE-HPLC.

Efluente	Acetaminofen $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ (%DER)	Naproxeno $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ (%DER)	Diclofenaco $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ (%DER)	Ibuprofeno $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ (%DER)
Canal 1	194(1.11)	47(2.30)	51(1.13)	ND
Canal 2	119(2.07)	19(1.02)	70(2.02)	ND
Canal 3	203(1.49)	20(3.36)	58(2.94)	ND



## Referencias

[1] INEGI 2007 “Estadísticas a propósito del día mundial del agua” Datos nacionales.

[2] K. Aguilar-Arteaga, J. A. Rodríguez, J. M. Miranda, J. Medina, E. Barrado, Talanta. 80, (2010) 1152.

[3] Real Farmacopea Española. Ministerio de Sanidad y Consumo, 2ª edición. Madrid 2005.

[4] V. L. Cunningham, M. Buzby, T. Hutchinson, F. Mastrocco, N. Parke, N. Roden, Environ. Sci. Technol. 40 (2006) 3456.

[5] S. D. Richardson, Anal. Chem. 79 (2007), 429

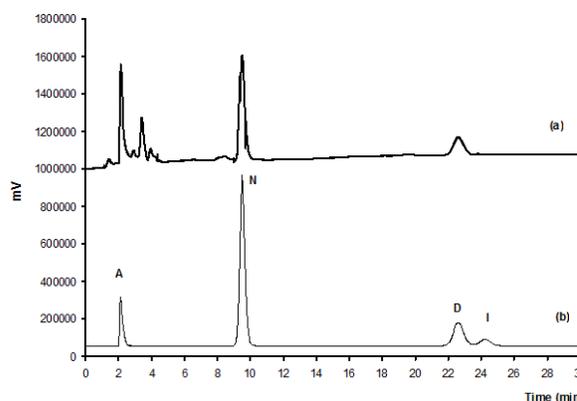


Figura 1. Cromatogramas obtenidos bajo las mejores condiciones encontradas a) muestra de agua residual, b) Solución estándar AINES  $100 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ . A: Acetaminofen, N: Naproxeno, D: Diclofenaco, I: Ibuprofeno.

## A02. CONCENTRACIÓN DE PESTICIDAS ORGANOCLORADOS EN AGUAS Y SEDIMENTOS DE LA LAGUNA DE METZTITLÁN, RESERVA DE LA BIOSFERA DE LA BARRANCA DE METZTITLÁN, HIDALGO.

Quiterio-Pérez, M.<sup>1</sup>, J. C. Gaytán-Oyarzún<sup>2</sup>, S. Monks<sup>2</sup>, G. Pulido-Flores<sup>2</sup>, A. J. Gordillo-Martínez<sup>3</sup>

Universidad Tecnológica del Valle del Mezquital (UTVM) y Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH). <sup>1</sup>Laboratorio de Análisis Instrumental (UTVM), <sup>2</sup>Centro de Investigaciones Biológicas (UAEH) y <sup>3</sup>Centro de Investigaciones Químicas (UAEH). Carretera Ixmiquilpan-Capula, Km 4, colonia el Nith, Ixmiquilpan, Hidalgo. E-mail: [mquiterio@utvm.edu.mx](mailto:mquiterio@utvm.edu.mx)

### Presentación

La actividad económica de mayor importancia en Metztitlán, Hidalgo es la agricultura, en ella se ocupa el 73% de la población de los municipios que conforman el área de la Vega y es considerada una de las zonas agrícolas de mayor importancia en el estado.(CONACAP, 2003). Dada la gran productividad de los suelos aluviales de la Reserva, el uso de agroquímicos (fertilizantes, acaricidas, nematicidas, insecticidas, fungicidas, etc.) es abundante y a través del arrastre por el Río Metztitlán, llegan finalmente a la Laguna. Allí presentan un riesgo para la salud de los pobladores de la zona. Debido a lo anterior, el objetivo de este trabajo es la determinación de las concentraciones de los pesticidas organoclorados (PO), en agua y sedimentos de Laguna de Metztitlán, Hidalgo.

### Método

Se tomaron 5 muestras de agua en la Laguna de Metztitlán, Hidalgo, en época de sequía (abril-2009), así como, 5 muestras en época de lluvia (octubre 2009). También se tomo una muestra (No. 6) de sedimento en la desembocadura del río Metztitlán (Fig. 1), las muestras fueron tomadas bajo los lineamientos de la NMX-AA-003-1980.

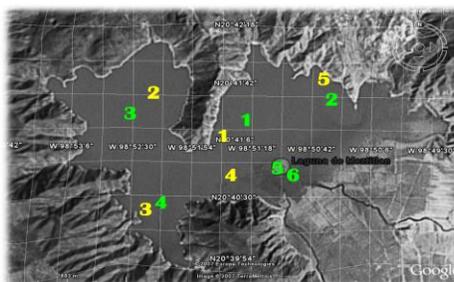


Fig. 1 ■ Sitios de muestreo en época de sequía en la Laguna de Metztitlán, Hidalgo.

■ Sitios de muestreo en época de lluvia en la Laguna de Metztitlán, Hidalgo.



Una vez tomadas las muestras de agua fueron analizadas, utilizando el método IMTA CAQAC6-O3, USEPA 8270D, 1998 cromatografía de gases espectrometría de masas. La muestra de sedimento fue analizada, utilizando el método IMTA CAQAC6-O8, USEPA 3620B. Florisil Cleanup. 1996, US EPA 8081B. Organochlorine pesticides by gas chromatography, 1996 (cromatografía de gases espectrometría de masas).

## Resultados

Los resultados obtenidos en el muestreo de época de sequía (abril-2009) nos revelan que ningún pesticida organoclorado analizado se encuentra en concentraciones mayores a <0.01 µ/ml (Tabla I).

Tabla I: Concentraciones de pesticidas organoclorados presentes en el agua de la Laguna de Metztitlán, Hidalgo (abril-2009).

MUESTRAS	PESTICIDA ORGANOCLORADO								
	Agua								
	Clordanos µ/ml	Dieldrín µ/ml	DDT isómeros µ/ml	Metoxicloro µ/ml	Hexacloro- benceno µ/ml	Lindano µ/ml	Heptacloro µ/ml	Aldrín µ/ml	Epoxido de Heptacloro µ/ml
Muestra 1	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Muestra 2	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Muestra 3	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Muestra 4	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Muestra 5	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01

\* Ver sitios de muestreo en Figura 1



Los resultados obtenidos en el muestreo de época de lluvia (octubre-2010) nos revelan que ningún pesticida organoclorado analizado se encuentra en concentraciones mayores a 0.01 µ/ml en

agua (Tabla II). Sin embargo, en la muestra de sedimento el Lindano, el DDE y el DDD están presentes en concentraciones mayores a 0.33 µ/ml (Tabla III).

Tabla II: Concentraciones de pesticidas organoclorados presentes en el agua de la Laguna de Metztitlán, Hidalgo (octubre-2009).

MUESTRAS	PESTICIDA ORGANOCLORADO								
	Agua								
	Clordanos µ/ml	Dieldrín µ/ml	DDT isómeros µ/ml	Metoxicloro µ/ml	Hexacloro -benceno µ/ml	Lindano µ/ml	Heptacloro µ/ml	Aldrín µ/ml	Epóxido de Heptacloro µ/ml
Muestra 1	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Muestra 2	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Muestra 3	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Muestra 4	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Muestra 5	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01

\* Ver sitios de muestreo en Figura 1

Tabla III: Concentraciones de pesticidas organoclorados presentes en sedimento de la Laguna de Metztitlán, Hidalgo (octubre-2009).

MUESTRA	PESTICIDA ORGANOCLORADO										
	Sedimento										
	Clordanos µ/ml	Dieldrín µ/ml	DDT isómeros µ/ml	Metoxicloro µ/ml	Hexacloro -benceno µ/ml	Lindano µ/ml	Heptacloro µ/ml	Aldrín µ/ml	Epóxido de Heptacloro µ/ml	DDE µ/ml	DDD µ/ml
Muestra 6	<0.33 3	<0.333	<0.333	<0.333	<0.33	0.3	<0.333	<0.33	<0.333	4.2	1.5

\* Ver sitios de muestreo en Figura 1



## Discusiones y Conclusiones

Los pesticidas organoclorados analizados en agua en las dos épocas del año no se encuentran en concentraciones mayores a 0.01  $\mu$ /ml. Sin embargo hay evidencia de su uso en la zona de estudio.

Los compuestos organoclorados presentes en sedimentos son: lindano (0.03  $\mu$ /ml), DDE (4.5  $\mu$ /ml) y DDD (1.5  $\mu$ /ml).

Los organoclorados presentes en sedimentos corroboran los estudios realizados por Fernández-Bringas *et. al.*, (2008).

## Bibliografía

- CONANP. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, (2003). Programa de manejo de la Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán. Dirección General de Manejo para la Conservación, D. F, México, 202 p.

-Fernández-Bringas L. M., G. Ponce-Vélez, L. G. Calva B., I. H. Salgado-Ugarte, A. V. Botello y G. Díaz-González. 2008. Organochlorine pesticides in lacustrine sediments and tilapias of Metztitlan, Hidalgo, Mexico. Rev. Biol. Trop. (Int. J. Trop. Biol. ISSN-0034-7744) Vol. 56 (3). Pág. 1381-1390.

-NMX-AA-003-1980. Aguas residuales-muestreo.



### A03. EVALUACIÓN DE UN PROCESO FOTO FENTON PARA EL TRATAMIENTO DE UN EFLUENTE TEXTIL

Arodí Bernal-Martínez, Mónica Jacqueline Martínez-Ramírez, Germán Cuevas-Rodríguez.

Universidad de Guanajuato, Avenida Juárez # 77, Col. Centro CP 36000. Guanajuato,

Gto. E-mail: [arodibera@ugto.mx](mailto:arodibera@ugto.mx).

#### Presentación

Los procesos biológicos, físicos y químicos convencionales resultan ineficaces en la decoloración y mineralización completa de estos efluentes. Por lo que, los procesos avanzados de oxidación (PAO) han tomado importancia por sus posibles aplicaciones en la descontaminación de aguas residuales textiles (ART). Los procesos Fenton y Foto-Fenton son considerados los más prometedores debido a su elevada eficacia y bajo costo. El objetivo de este trabajo fue evaluar el proceso foto-Fenton como alternativa al tratamiento de un efluente textil. Diferentes dosis tanto para Fenton como foto Fenton, fueron aplicadas para evaluar las eficiencias de remoción de la DQO, SST, turbidez y color. Las mejores eficiencias (92.9, 87.1, 92.1 y 99.1 %, DQO<sub>t</sub> y s, turbiedad, y color respectivamente) detectadas fueron con foto Fenton con una dosis de 70 mg/L de FeSO<sub>4</sub> y 300 mg/L de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. El proceso fue un tratamiento atractivo, ya que se pueden disminuir las dosis de los reactivos empleados.

#### Método

Este trabajo se dividió en dos etapas: la primera etapa fue la caracterización del efluente textil y la segunda etapa, fue la realización de las pruebas de tratabilidad.

##### *Caracterización del efluente textil*

En primer lugar se debe conocer las características fisicoquímicas del efluente a tratar. Los parámetros considerados para ello fueron: el pH, la DQO (total y soluble),

DBO, turbiedad, sólidos suspendidos totales (SST), sólidos suspendidos volátiles (SSV), sólidos totales (ST), color, azúcares y proteínas de acuerdo a los métodos normalizados (APHA, 1998).

##### *Evaluación de la tratabilidad del efluente textil por el proceso foto-Fenton*

En primer lugar es descrito el procedimiento realizado para el método Fenton y posteriormente el foto-Fenton. El proceso Fenton fue llevado a cabo en el equipo tradicional de jarras. Fueron aplicadas las dosis de 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350 y 400 mg/L de sulfato ferroso y 300 mg/L de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> a un pH de 4. La adición de los reactivos fue llevada a cabo de forma simultánea. La mezcla fue agitada durante un minuto a 100 rpm y después durante 30 minutos a 50 rpm, al término de este tiempo se suspende la agitación. Finalmente, fue sedimentado durante una hora para separar el sobrenadante de los sólidos sedimentados. Posteriormente, fue verificado el efecto del peróxido de hidrógeno sobre la remoción de nutrientes, para esto fue aplicada la dosis óptima del sulfato ferroso (350 mg/L) a diferentes dosis de peróxido de hidrógeno (50, 100, 150, 200, 250 y 300 mg/L). Por otra parte fue aplicado el proceso foto-Fenton. Este fue llevado a cabo en un reactor batch a nivel laboratorio, con un volumen útil de 2 L. En la parte superior cuenta con un puerto para la dosificación de reactivos, un refrigerante donde se hace recircular agua a una temperatura controlada



(20 °C) y una apertura central, en la cual se encuentra inmersa la lámpara de UV. La agitación del sistema fue realizado por medio de un agitador magnético. La dosis aplicada del reactivo sulfato ferroso fue de 70 mg/L y 300 mg/L de peróxido de hidrógeno. El efluente fue expuesto a la radiación durante una hora, con la toma de muestras a cada 10 minutos. Los parámetros de respuesta después de ambos tratamientos fueron: DQO (total y soluble), pH, turbiedad, SST, color y conductividad.

### Resultados

#### Caracterización del Agua Textil

En la tabla 1, se muestran las concentraciones determinadas en el efluente textil. La DQO total de 1952±42 mg/L, una DQO soluble de 1038.01±6.5 mg/L, ST de 1810±2.5 mg/L, de los cuales la mayor concentración corresponde a los SDT, un pH ácido y, alta conductividad y turbidez (611 µS/cm y 219 UNT respectivamente), lo anterior se debe a las sales empleadas durante el proceso de teñido de la industria textil.

Tabla 1. Características del Agua Textil

Parámetro	Valor
DQO total (mg/L)	1952±42
DQO soluble (mg/L)	1038.1±6.5
ST (mg/L)	1810±2.5
SDT (mg/L)	620±1.0
SST (mg/L)	395±0.3
Turbidez (UNT)	219±9.5
Conductividad (µS/cm)	611±39.5
Color (abs 494 nm)	3.77±0.04
pH	5.97±0.3
Azúcares (mg/L)	2.51±0.17
Proteínas (mg/L)	5.06±0.11

#### Comparación de procesos Fenton y foto-Fenton para el tratamiento de un efluente textil

De acuerdo a los resultados presentados en los apartados anteriores. En la tabla 2, se presenta una comparación de los procesos empleados (Fenton y foto-Fenton) para el tratamiento de un efluente textil. El proceso foto-Fenton ( $\text{FeSO}_4 = 70 \text{ mg/L}$  y  $300 \text{ mg/L}$  de  $\text{H}_2\text{O}_2$ ), presentó los más altos porcentajes de eliminación para la mayoría de los parámetros determinados (DQO t y s y turbidez). El color fue eliminado completamente en ambos procesos alcanzando porcentajes del 99%. En cuanto a los SST, con Fenton se obtuvieron las mayores remociones (92.4%), los flóculos generados en foto-Fenton fueron más pequeños, por lo que su velocidad de sedimentación fue más lenta. Cada destacar que en los valores de conductividad fueron más altos en Fenton ( $3136 \pm 20 \text{ µS/cm}$ ) que los generados en foto-Fenton ( $1360 \pm 30 \text{ µS/cm}$ ).

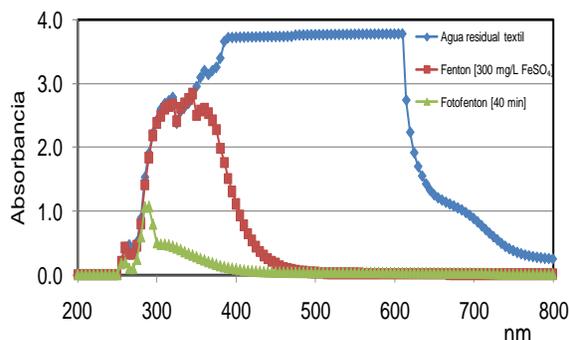
Tabla 2. Comparación de los porcentajes de eliminación de procesos Fenton y foto Fenton.

Parámetro	Proceso Fenton [300 mg/L $\text{FeSO}_4$ ]			Proceso foto Fenton [70 mg/L $\text{FeSO}_4$ ]	
	ART	EF	%E	EF	%E
DQOt (mg/L)	1952	558.4	71.4	140.7	92.8
DQOs (mg/L)	1038.1	481.3	53.6	133.9	87.1
SST (mg/L)	395	30	92.4	150	62
Turbiedad (UNT)	219	19.5	91.1	17.3	92.1
Conductividad (µS/cm)	611	3136		1360	
Color (494 nm)	3.77	0.038	98.9	0.032	99.1

\*Eliminación



En la figura 1, se muestra el escaneo de longitud de onda (de 200 a 800 nm), para cada uno de los mejores tratamientos (Fenton 300 mgFeSO<sub>4</sub>/L y 300 mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, foto Fenton 70 mg/L FeSO<sub>4</sub> y 300 mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), es sabido que la molécula que confiere color a esta agua textil, es el ácido carmínico, el cual absorbe luz a una longitud de onda de 494 nm. Así en esta figura, se puede observar en ambos procesos, que el tratamiento con ambos procesos, muestra un claro efecto sobre la molécula, la cual hace que el olor característico desaparezca. Sin embargo, en el proceso foto Fenton, disminuyen otros compuestos, el proceso foto Fenton parece ser más eficiente.



**Figura 1. Escaneo de longitud de onda con los dos procesos evaluados (Fenton y foto Fenton).**

### Conclusiones

De acuerdo a este estudio se concluyó lo siguiente: Se logró un 92.8% de remoción de la DQOt y un 87.1% como DQOs, para foto Fenton (70 mg/L de FeSO<sub>4</sub> y 300 mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y 40 minutos de reacción). En comparación con Fenton, las remociones más altas (71.4 % de DQOt y 53.6% de

DQOs) fueron con dosis superiores (300 mg/L de FeSO<sub>4</sub> y 300 mg/L de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>). Así mismo, con foto Fenton fueron alcanzadas remociones del 92.1%, y con Fenton del 91.1%. Los SST fueron removidos con más eficiencia con Fenton (92.4 %) que con foto Fenton (62%), este último generó floculos más pequeños. El color fue eliminado en ambos procesos. El proceso foto Fenton puede ser una alternativa viable al tratamiento de efluentes textiles. Se debe optimizar el proceso foto Fenton para este tipo de efluentes.

### Agradecimientos

A la Dirección de Apoyo a la Investigación y Posgrado de la Universidad de Guanajuato, por la beca otorgada para la realización de esta investigación.

### Bibliografía

- APHA, AWWA, WPCF. (1998). Standard methods for the examination of water and wastewater. 20a ed. Washington, EUA.
- Kim T.K., Park C., Lee J., Shin E.B., Kim, S. (2002). Pilot scale treatment of textile wastewater by combined process (fluidized biofilm process-chemical coagulation-electrochemical oxidation). *Water Research*. **36**:3979-3988.
- Silva A.S., Trujillo S.J., Aguilar M. L., Hincapié P.M. (2009). Tratamiento de contaminantes orgánicos por foto fenton con luz artificial. *Revista Ingenierías*. **8**(15):53-62.



## A04. APLICACIÓN DE EXTRACTOS DE SAPONINAS COMO COAGULANTES NATURALES PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES OBTENIDOS A PARTIR DE *Agave durangensis*.

Ariana Santos<sup>2</sup>, Tania Montoya<sup>2</sup>, Rocío Moreno<sup>1</sup>, Maribel Madrid<sup>1</sup>

<sup>1,2</sup>Universidad Politécnica de Durango, carretera Durango-México Km. 9.5 Loc. Dolores Hidalgo [maribelpalacio@hotmail.com](mailto:maribelpalacio@hotmail.com), [rmm29@yahoo.com](mailto:rmm29@yahoo.com)

### PRESENTACIÓN

El objetivo de esta investigación es aplicar extractos de saponinas como coagulantes naturales bactericidas para el tratamiento de aguas residuales obtenidos a partir de *Agave durangensis*. Para lograr el objetivo se trabajó con dos metodologías diferentes. En el primer método se realizó una maceración en etanol al 70% para la separación de saponinas y una maceración en benceno-etanol al 50% para separar las saponinas de los pigmentos y grasas. El segundo método para extracción de saponinas consistió en dos maceraciones una con agua destilada y la otra con etanol al 70% para evaluar su efectividad como agente desestabilizador de partículas coloidales.

Se realizaron pruebas microbiológicas para determinar si el coagulante obtenido de los dos métodos tiene un efecto bactericida utilizando para ello dos cepas diferentes.

**Palabras Clave:** (*Agave durangensis*, coagulante y bactericida)

### MÉTODOS

#### Obtención y almacenamiento de las pencas de agave

Las pencas de *Agave durangensis* fueron obtenidas del municipio de Nombre de Dios Dgo. se seleccionaron las pencas que se encontraban en la etapa de maduración llamada Copado. Dichas pencas se almacenaron en un lugar libre de humedad y oscuro para evitar que les de la luz del sol, esto para retardar el proceso de oxidación de las pencas por la gran cantidad de agua que éstas contienen.

#### MÉTODO UNO: OBTENCIÓN DEL CRUDO DE SAPONINAS

##### Obtención del extracto

##### Seccionado y secado del extracto

Se cortaron las pencas de un tamaño de 5 cm de largo y 2 cm de ancho, se realizó el secado en una estufa a 80°C.

##### Molienda y maceración del extracto

Se efectuó una trituration de las pencas secas a un tamaño de malla 70, luego se efectuó la extracción por medio de una maceración con etanol al 70% durante 5 días.

##### Filtración y evaporación del extracto

Se filtró la maceración del extracto para separar el sólido luego se colocó en un vaso de precipitado de 500ml para calentar



en una parrilla de calentamiento y agitación hasta evaporar el etanol.

### Caracterización de extracto

Se caracterizó el extracto obtenido al cual se le determinaron los parámetros: Temperatura, Conductividad, Sólidos (SDT), pH, Turbidez y Color .

### **Obtención del crudo de saponinas**

#### Concentrado por sequedad

El extracto obtenido se concentró por sequedad para eliminar la fase hidroalcohólica que contenía el extracto (tratamiento #1).

#### Extracción de grasas

El extracto seco se disolvió en etanol acuoso al 50% v/v. Se le añadió igual volumen de benceno saturado con etanol al 50%.

### **Crudo de saponinas**

Se eliminó la fase bencénica con las grasas y pigmentos extraídos. La fase hidroalcohólica se evaporó hasta sequedad. y se obtuvo el crudo de saponinas (tratamiento #2).

### **Pruebas de Tratabilidad**

Se probó la eficiencia de los extractos obtenidos con el equipo prueba de jarras y se determinaron las dosificaciones óptimas.

### **MÉTODO DOS: CRISTALLIN SAPONIN-CONTAINING COPLES**

### **Obtención de saponinas puras**

#### Seccionado

Se cortaron las pencas de *Agave durangensis* en un tamaño aproximado de 1cm cuadrado.

#### Maceración agua destilada

La penca se dividió en dos partes iguales que se colocaron en un vaso de precipitados de 2 L, con agua y se maceró por 24 hr.

#### Maceración etanol al 70%

Se filtró, luego se puso a macerar la misma cantidad de penca seccionada con etanol al 70% durante 48 hr.

#### Maceración extracto etanol al 70%-acetona

Se centrifugó y luego se colocó en un embudo de vidrio en una mezcla de acetona-extracto 1:1 por 72 hrs.

#### Separación de las saponinas

Al precipitar las saponinas se procedió a separarlas, para comenzar con las pruebas en las que se demostraría el efecto como coagulante (tratamiento #3).

## **RESULTADOS ESPERADOS Y DISCUSIÓN**

### **MÉTODO UNO**

#### Caracterización química del extracto

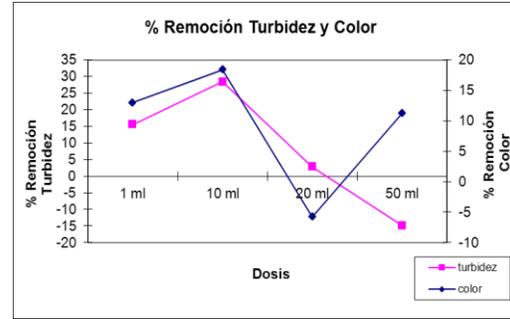
**Tabla 1 Características químicas del extracto en sus distintas diluciones.**

Temperatura °C	Conductividad mS	SDT ppm	Turbidez NTU	Color Pt-Co	pH	Concentración
19,66	0	0	1,72	11	5,06	10ppm
22,88	0	0	2,43	20	7,88	20ppm
21,55	0,34	0,0000023	35,5	3770	4,18	10000ppm



Pruebas de tratabilidad

Se realizaron pruebas de tratabilidad por medio del equipo de la prueba de jarras determinando los parámetros iniciales del blanco (agua problema) y añadiendo diferentes dosificaciones del extracto de saponinas obtenido a partir del primer método. Los resultados se encuentran reportados en la Tabla No. 2.



**Ilustración 1 % de Remoción Turbidez y color**

**Tabla 2 Prueba de tratabilidad en dilución 1:1000**

Temperatura °C	Volumen	% REM Turbidez	% REM Color	% REM SDT	pH	Conductividad ms	Concentración
24,00	1ml	-16,91	12,07	-	3,47	4,72	10ppm
24,11	10ml	-7,17	16,32	-	3,45	4,67	10ppm
24,22	20ml	3,38	19,93	-	3,45	4,62	10ppm
24,56	30ml	6,83	14,38	1,29	3,47	4,6	10ppm
21,78	40ml	-25,85	13,06	4,74	3,41	4,41	10ppm
21,78	50ml	-50,41	7,81	5,60	3,48	4,39	10ppm
22,64	blanco				3,47	4,64	

Se determinó el Porcentaje de remoción de turbidez y de color para cada una de las pruebas de tratabilidad en cada uno de los métodos.

En la ilustración 1 se observa que se obtienen porcentajes de remoción de turbidez de hasta el 25% y de color de 12% con el primer método de obtención.

**MÉTODO DOS**

Caracterización química del extracto

**Tabla 3 Características químicas de las saponinas en sus distintas diluciones**

Temperatura °C	Conductividad ms	SDT ppm	Turbidez NTU	Color Pt-Co	pH	Concentración
14,94	0	0	0,41	0	9,15	10ppm
22,28	0	0	0,4	12	6,66	20ppm
22,61	0,18	0,00000009	1,05	17	6,48	10000ppm

Pruebas de tratabilidad

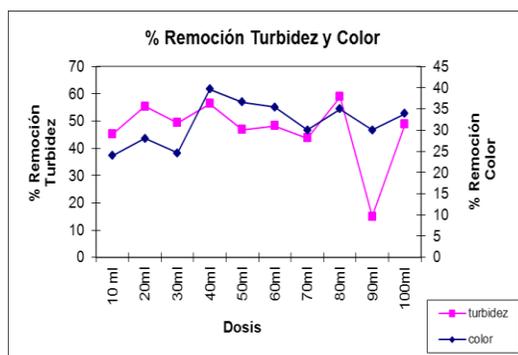
Se realizaron pruebas de tratabilidad por medio del equipo de la prueba de jarras determinando los parámetros iniciales del blanco (agua problema) y añadiendo diferentes dosificaciones del extracto de saponinas obtenido a partir del primer método. Los resultados se encuentran reportados en la Tabla No. 4.



**Tabla 4 Resultados obtenidos de aplicar coagulante en dilución 1:1000**

Temperatura °C	Volumen	% REM Turbidez	% REM Color	% REM SDT	pH	Conductividad mS	Concentración
14,78	10ml	37,89	19,47	-4,39	3,29	4,3	10ppm
15,39	20ml	49,53	23,81	-3,41	3,28	4,26	10ppm
15,22	30ml	42,63	20,20	-2,44	3,28	4,21	10ppm
15,22	40ml	50,61	36,12	-1,46	3,3	4,18	10ppm
15,67	50ml	39,83	32,83	-1,46	3,33	4,16	10ppm
17,39	60ml	41,34	31,59	-0,49	3,35	4,12	10ppm
17,67	70ml	36,38	25,88	-	3,34	4,08	10ppm
17,56	80ml	53,41	31,15	0,98	3,34	4,07	10ppm
17,78	90ml	3,81	25,93	1,95	3,33	4,02	10ppm
18,00	100ml	41,98	29,98	2,93	3,33	3,99	10ppm
18,43	blanco				3,33	4,1	

Se determinó el porcentaje de remoción de turbidez y de color para cada una de las pruebas de tratabilidad en este método.



En la

**Ilustración 2 % de Remoción Turbidez y color**

Ilustración 2 se observa que se obtuvieron mayores porcentajes de remoción de turbidez alcanzando hasta un 60% y en remoción de color se alcanzó un 40%.

### CONCLUSIONES

De acuerdo a los análisis realizados en esta investigación se puede observar que el funcionamiento del coagulante fue favorable ya que es efectivo por medio de la obtención del coagulante a partir de pencas de *Agave durangensis*, por el gran contenido de saponinas que se encuentra presente. El porcentaje de remoción de turbidez más alto fue de casi el 7% en la utilización del crudo de saponinas y de casi 54% en la utilización de las saponinas puras; para color fue de casi un 20% en la primera técnica y de un 31% para la segunda, donde podrá observarse que es mucho más efectivo el coagulante en un estado más puro por los resultados obtenidos.

### BIBLIOGRAFÍA

Almendárez de Quesada, (2004) "Comprobación de la efectividad del coagulante (Cochifloc) en aguas del lago de Managua Piedras", Rev. Iberoamericana de Polímeros, 5(1), 46-54.

Hernández R., 2004 "Obtención de crudos de saponinas hipocolesteromizantes del *Chenopodium quinoa* Willd". Rev. Cubana Med. Milit. 26(1), 55-62.



## SIMPOSIO B

### Tratamiento de Agua Residual

**B01. ELIMINACIÓN BIOLÓGICA DE NUTRIENTES PRESENTES EN AGUAS RESIDUALES EN UN BIORREACTOR HÍBRIDO CON MEMBRANA SUMERGIDAS Y BIOPELÍCULAS.**

*Marco. A. Silva Robles. Universidad de Guanajuato.*

**B02. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN SISTEMAS CON BIOPELÍCULAS: ANÁLISIS DEL PROCESO DE ESTABILIZACIÓN.**

*Pabel Cervantes Avilés. Universidad de Guanajuato.*

**B03. DEGRADACIÓN ANAEROBIA DE LACTOSUERO DE REQUESÓN EN REACTOR UASB.**

*Windy J. Guerrero Rodríguez. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.*

**B04. CONSTRUCCIÓN DE UN RALF (REACTOR ANAEROBIO DE LECHO FLUIDIZADO) PARA EL TRATAMIENTO DE VINAZA DEL *Agave durangensis*.**

*Luis Ordaz. Universidad Politécnica de Durango.*



## B01. ELIMINACIÓN BIOLÓGICA DE NUTRIENTES PRESENTES EN AGUAS RESIDUALES EN UN BIORREACTOR HÍBRIDO CON MEMBRANA SUMERGIDAS Y BIOPELÍCULAS

Marco. A. Silva Robles, Arodí Bernal-Martínez, Elcia Margaret Souza-Brito, \*Germán Cuevas-Rodríguez. División de Ingenierías. Campus Guanajuato. Universidad de Guanajuato. Guanajuato. CP. 36000. Email: [\\*german28@ugto.mx](mailto:*german28@ugto.mx)

### Presentación

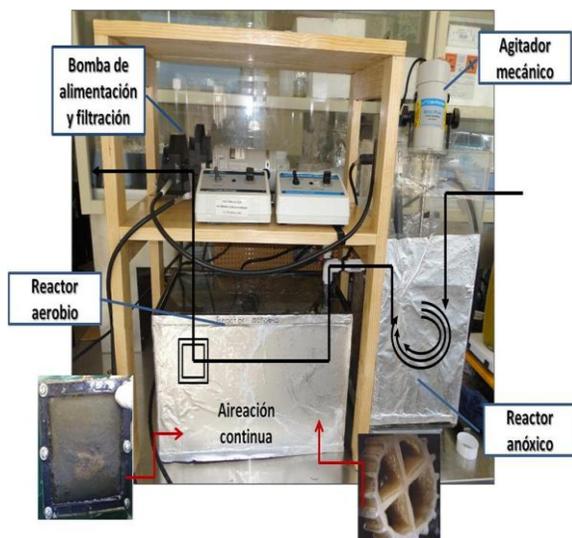
La aplicación de los reactores biológicos con membranas (RBM), que combinan filtración y procesos biológicos, es una tecnología que está aplicando ampliamente ya que permite obtener efluentes de alta calidad. Actualmente la eliminación de algunos nutrientes presentes en las aguas residuales es necesaria para disminuir los impactos ambientales que estos ocasionan sobre los cuerpos receptores y para ampliar el reúso de este recurso. La aplicación de procesos biotecnológicos es la manera más económica para llevar a cabo la eliminación de estos elementos (N y P). Los RBM híbridos son una variante de los RBM que se caracterizan por utilizar microorganismos (biomasa) donde una fracción de la biomasa – biopelículas - crece sobre medios de soportes y la otra se encuentra suspendida, mejorando de esta forma las eficiencias de los procesos de eliminación de nutrientes. Sin embargo todavía los costos de esta tecnología son altos, además de los problemas de operación ocasionados por el taponamiento de las membranas. Por lo que es necesario entender y desarrollar esta bioingeniería para disminuir los costos del sistema e incrementar su aplicación dentro del campo del tratamiento de las aguas residuales. El objetivo de esta investigación fue evaluar la capacidad de eliminación de nutrientes (C, N y P) en un RBMB con membranas de filtración y medios de soporte alimentando de manera continua aguas residuales.

### Metodología

La experimentación se llevó a cabo en una planta piloto ubicada en el laboratorio de

ingeniería ambiental en la Universidad de Guanajuato. Esta planta consta de reactor anóxico con un volumen de 19 L, seguido de un biorreactor aerobio con volumen de 29 L el cual está equipado con una membrana sumergida de geometría plana, medio de soporte móvil (figura 1). La membrana es de microfiltración, montada en un marco de acrílico con una superficie total de 200 cm<sup>2</sup> y colocada en una base de PVC. El medio de soporte móvil estuvo constituido de 5000 unidades de medio *Kaldnes*® fabricado en polietileno de alta densidad, diámetro de 10 mm y grosor de 7 mm en forma de cilindro, con una superficie protegida de 500 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> y superficie total de 800 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>. El aire se suministra al reactor por medio de un compresor de 1.5 hp y se distribuye utilizando un difusor de burbuja fina instalado al fondo del reactor y debajo de la membrana. Para asegurar la eliminación de nutrientes se utilizó una recirculación interna desde el reactor aerobio al reactor anóxico. La fuerza impulsora para el proceso de filtración en la membrana fue generada por una bomba peristáltica operando en continuo. El reactor se operó en continuo por 118 días alimentando agua sintética. Los parámetros analizados fueron: DQOs, Nt, N-NH<sub>4</sub>, N-NO<sub>3</sub>, Turbidez (Hach, 2005), P-PO<sub>4</sub>, SST, (APHA, 1998).





**Fig. 1.** RBM y medio de soporte o lecho móvil.

## Resultados

Los resultados de los principales parámetros analizados durante toda la experimentación para evaluar el funcionamiento del biorreactor se muestran a continuación.

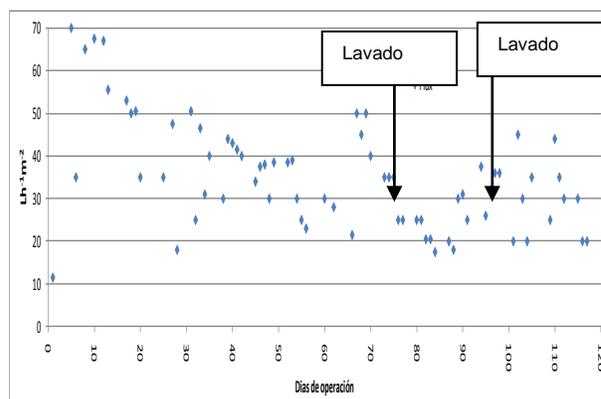
### Permeado y rendimiento de la membrana

Al inicio de operaciones, como se muestra en la figura 2, el caudal permeado alcanzaba  $60 - 70 \text{ Lh}^{-1}\text{m}^{-2}$  debido al estado libre de biopelícula en los poros y superficie de la membrana. El caudal permeado fue disminuyendo a partir del día 15 de operación hasta alcanzar un caudal de  $35 \text{ Lh}^{-1}\text{m}^{-2}$ . Esto se debe al proceso de generación de la torta de filtración en la superficie de la membrana y a la formación de biopelícula en la superficie y poros de la membrana, que resulta de la interacción entre el material de la membrana y los componentes del lodo activado como células y sus restos, y metabolitos microbianos como las

sustancias poliméricas extracelulares (EPS). Finalmente al día 66 y 88 de operación se llevó a cabo un lavado físico-químico de la membrana para retirar la biopelícula adherida a la superficie y poros de la membrana. Después del lavado, se recupera gran parte del caudal que se filtraba al inicio de la operación del reactor. Es importante señalar que al final de la experimentación (>día 90) el caudal permeado fue intermitente con variaciones importantes entre un día y otro. Lo anterior se atribuye al ensuciamiento permanente de la membrana que no fue eliminado durante los lavados físico-químicos de la membrana, es decir el lavado debió haber sido más agresivo. El permeado presentó un turbidez promedio de 3 UNT y una concentración promedio de 3 mg/L de SST, lo cual implica que prácticamente todos los sólidos quedaron dentro del sistema permitiendo obtener un efluente de alta calidad.

### Eliminación de DQO

Uno de los parámetros más importante en la evaluación de un sistema biológico es la DQO.

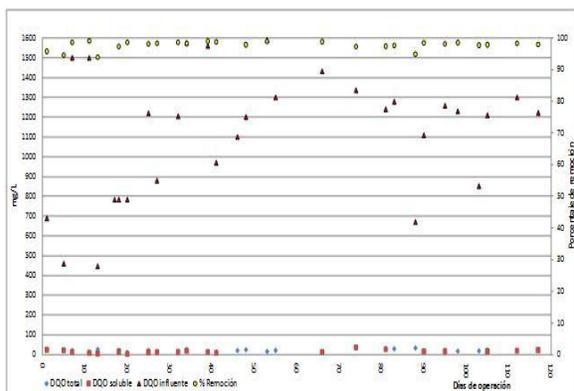


**Figura 2.** Caudal permeado por la membrana.

Durante toda la experimentación y sin importar la carga orgánica aplicada al



sistema, la concentración de DQO medida en el efluente fue siempre menor que 35 mg/L. En la figura 3 se observa que la concentración promedio en la alimentación fue de 1123 mg/L de DQO, mientras que en el permeado la concentración promedio detectada fue de solo 22 mg/L. El porcentaje de eliminación fue de 98.1 % mayor al alcanzado por sistemas convencionales de lodos activados y muy cercano al alcanzado por Kraume and Bracklow (2005) y a sistemas comerciales (Kubota y Zenon, Adham and DeCarolis, 2004). Es importante mencionar que la membrana de filtración utilizada en la experimentación fue de bajo costo comparada con una membrana comercial y se logró obtener eficiencias de eliminación cercanos a los alcanzados por estos últimos.



**Figura 3.** Comportamiento de la DQO en el bioreactor.

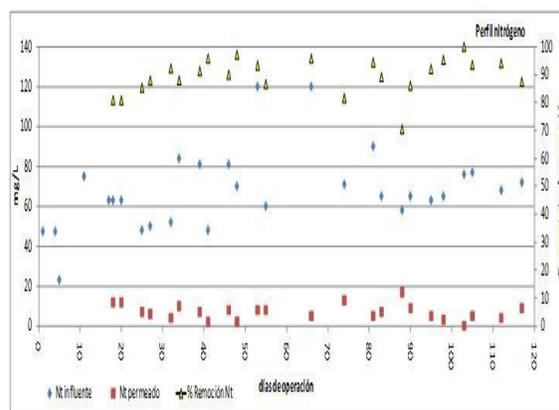
### Eliminación de Nitrógeno

La medición de la remoción de nitrógeno fue uno de los parámetros claves en la evaluación del sistema durante toda la experimentación. En la figura 4 se muestra la concentración detectada de nitrógeno total en influente y efluente junto con el

porcentaje de eliminación alcanzado. Como se muestra en esta figura, la concentración promedio en el influente fue de 71 mgN<sub>t</sub>/L, mientras que en permeado, la concentración promedio fue de 7 mgN<sub>t</sub>/L con lo que se alcanzó una eficiencia de remoción del 90.1%, muy cercana a la reportada por otros autores como MUNLV (2003).

### Nitrificación

El nitrógeno en el influente se detectó forma de nitrógeno amoniacal con una concentración promedio de 40 mgNH<sub>4</sub>/L (Fig. 4). En el permeado la concentración promedio fue 2 mg NH<sub>4</sub>/L. Esto significa que una fracción del amonio fue nitrificado, el cual fue llevado por la diversidad de biomasa en presente en el sistema, la cual fue favorecida por los grandes tiempos de retención celular (> 100 d) manejados en el sistema, así como por las altas concentraciones de oxígeno disuelto manejadas en el medio (2 - 3.5 mg/L), evitando ser este último parámetro, un factor limitante en el proceso;



**Figura 4.** Comportamiento del Nt en el sistema experimental.

### Desnitrificación



Los nitratos son un indicador del proceso de nitrificación. Si el proceso de desnitrificación se lleva a cabo, los nitratos son llevados hasta nitrógeno gaseoso ( $N_2$ ). La concentración de nitratos promedio detectada en el permeado fue de 1.2 mgNO<sub>3</sub>/L, esto muestra que los nitratos generados en la etapa aerobia fueron desnitrificados en el compartimiento anóxico.

### Eliminación de Fósforo

Las concentraciones promedio detectadas durante la experimentación fueron de 29 mg/L en el agua residual cruda y 10.4 mg/L en el permeado, lo cual representa un porcentaje de remoción del 63.8 %. Este porcentaje es inferior al alcanzado en RBM convencionales. Seguramente la configuración del reactor y las condiciones de operación manejadas en el sistema, no favorecieron la eliminación de este macronutriente (P).

### Conclusiones

Los resultados muestran que la combinación de un reactor con membranas de bajo costo y lecho móvil, favorecen la diversidad de biomasa establecida en el sistema logrando un sistema robusto y eficiente. Las variaciones en las condiciones de operación no tienen un fuerte impacto sobre la calidad del efluente en DQO y  $N_t$ , ya que se lograron altos porcentajes de eliminación de estos

nutrientes durante todo el periodo de experimentación.

### Agradecimiento

Agradecimientos al CONCYTEG por el apoyo económico para la realización del proyecto. Convenio No. 09-16-K662-089.

### Bibliografía.

HACH. (2005). *DR5000 Spectrophotometer PROCEDURES MANUAL*. 2ª ed. Hach Company. U.S.A.

APHA. (1998). *Standar methods for the examination of water and wastewater*. Clesceri, L. American Public Health Association, USA

Kraume, M., Bracklow, U., Vocks, M., and Drews, A. (2005). Nutrient removal in MBRs for municipal wastewater treatment. *Wat. Sci. Tech.* 51 (2005), 391-402

Adham., S and DeCarolis, J. (2004). Optimization of various MBR systems for water reclamation- Phase III Final technical report. The City of San Diego Water Department. USA. April 2002 to April 2004.

MUNLV. (2003). Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.) Waste Water Treatment with Membrane Technology.



## B02. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN SISTEMAS CON BIOPELÍCULAS: ANÁLISIS DEL PROCESO DE ESTABILIZACIÓN.

\*Pabel Cervantes Avilés, Esaú León Rodríguez, Arodí Bernal-Martínez, \*\*Germán Cuevas-Rodríguez.

Departamento de Ing. Civil, División de Ingenierías; Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato, Zona Centro C.P. 3600 Guanajuato, Gto. E-mail:

[\\*pa.cervantesaviles@ugto.mx](mailto:pa.cervantesaviles@ugto.mx) [\\*\\*german28@ugto.mx](mailto:german28@ugto.mx)

### Presentación

Las ventajas que presentan los tratamientos de aguas residuales aerobios con biopelícula, comparados con los sistemas convencionales, son mayor cantidad y diversidad de microorganismos presentes en el sistema. Ya sea en lecho móvil o fijo, en estos predominan las bacterias heterótrofas, capaces de realizar el proceso de nitrificación (González et al., 2002), además de presentar altas remociones de carbono y macronutrientes, simultáneamente (Gutiérrez et al., 2010). En el presente trabajo se planteó objetivo general comparar las eficiencias de remoción de macronutrientes en la etapa de estabilización de dos sistemas de tratamiento aerobio con biopelícula: un Biofiltro con lecho orgánico no sumergido, y un SBR con lecho móvil (SBRMB). Ambos se alimentaron con la misma agua residual sintética sin pretratamiento alguno y se operaron simultáneamente con dos distintas cargas orgánicas.

### Metodología

La experimentación se realizó en dos reactores cilíndricos con un volumen útil de 15 L, cada uno (Biofiltro y SBR con lecho móvil, SBRMB), diámetro de 0.15 m, altura de 0.80 m, y una sección cónica en la parte inferior con un volumen de 2 L, que sirve como tolva de almacenamiento de lodos (Figura 1).

El Biofiltro se empacó con un lecho orgánico compuesto por una mezcla de trozos de madera con relación 1:1 expresado en volumen, con dos tipos de arboles predominantes en la región del Bajío, Mexicano: el huizache (*Acacia Farnesiana*), y pirúl (*Schinus Molle*). El volumen total del lecho fue de 6.5 L. El SBRMB fue un sistema de biomasa suspendida convencional al cual se le suministraron 2070 unidades de un medio comercial de polietileno de alta densidad (marca Kaldnes®, tipo K1). Esto con la finalidad de hacer crecer biopelículas sobre el medio de soporte. Las características físicas de los medios de soporte se muestran en la tabla 1.

Medios de soporte	Trozos de maderas	Kaldnes ®
Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	426.5	950
% de Humedad	15.12	-----
% Índice de huecos	48.33	67
Área por m <sup>3</sup> de medio	178.05 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	678.9 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>

**Tabla 1.** Características físicas de los medios de soporte

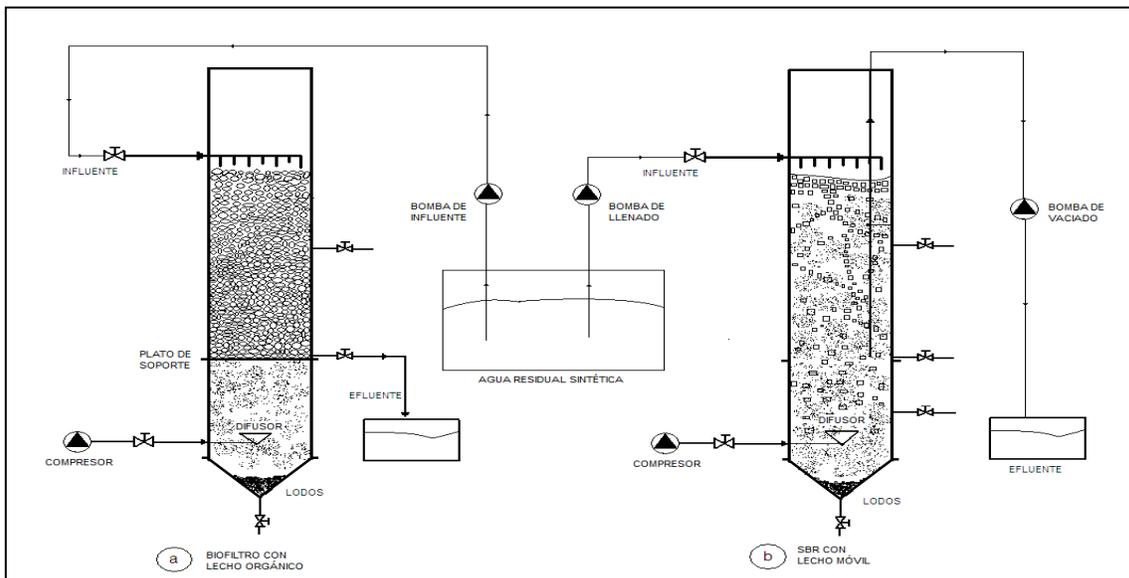


Los sistemas se alimentaron con agua residual sintética, la formulación fue la reportada por Ávila, (2009). Esta presentó una relación de C:N:P de 100:5:3. Es importante decir que el biofiltro se operó de manera continua y el SBRMB de forma discontinua. El TRS fue de 90 días. En la tabla 2 se muestran las condiciones manejadas en la experimentación.

La experimentación se realizó durante 90 días, y en el día 38 se triplicó la carga orgánica aplicada, misma que se expresó como la masa de sustrato suministrado, por unidad de área expuesta del medio, por día.

**Tabla 2.** Condiciones Generales de Operación de los Sistemas

	Unidades	Biofiltro	SBRM
TRH	días	1.5	----
Tiempo de Reacción	días	----	0.96
Caudal	(L/d)	10	9.33
Volumen útil del reactor	L	15	15
Superficie del lecho	m <sup>2</sup>	1.07	1.34
Caudal de aire	L/min	3	5
Carga orgánica aplicada	gDQO/m <sup>2</sup> ·d	3.7-9.6	2.4-7.5



**Figura 1.** Esquema de los Sistemas empleados

En el Biofiltro el muestreo consistió en tomar muestra del influente y efluente, con el fin de conocer los porcentajes de remoción de macronutrientes, así como la concentración de SST en el efluente. Para el SBRMB, el muestreo consistió en

caracterizar y medir el volumen de llenado y el volumen de vaciado.

Los parámetros analizados fueron: pH, oxígeno disuelto, y temperatura diariamente, mientras que los sólidos suspendidos totales (SST), sólidos



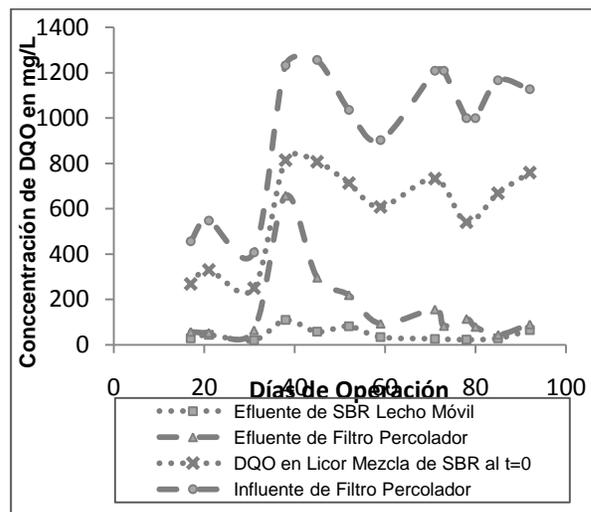
suspendidos volátiles (SSV), DQO total y soluble, turbidez, Nitrógeno Total y Fosfatos, se realizaron cada 5 días con una muestra puntual.

### Resultados y Discusión

La eficiencia de remoción de DQO máxima alcanzada en los sistemas fue de hasta 96% en el Biofiltro con lecho orgánico, y de 97% en el SBRMB. Comparado estos resultados con sistemas de biofiltración con empaque orgánico el cual removió 71% de DQO total, 65% de nitrógeno total, y 11% de fosfatos presentes en el agua residual generada en una escuela, este sistema tenía como pretratamiento una fosa séptica (Garzón, et al 2011), misma que contribuyo a alcanzar dichas tasas de remoción. En el caso de los SBRMB se han alcanzado remociones en DQO de hasta 93.5%, 82.6% en nitrógeno total, y 84.1% en fósforo total, empleando como lecho móvil, medios de soporte fabricados en laboratorio con una densidad de  $0.27\text{g/cm}^3$ , teniendo una superficie de  $900\text{ m}^2/\text{m}^3$ , (Yang, et al 2010).

En la gráfica 1 se puede comparar la DQO en influente del Biofiltro, y la DQO en el tiempo cero en el SBRMB, que se da por dilución entre el volumen de llenado y el volumen remanente del SBRMB, bajando así su concentración inicial en un 39% en promedio, con respecto del influente del Biofiltro. También se observa la calidad brindada en el efluente de ambos sistemas durante su operación. La tendencia en los porcentajes de remoción de nitrógeno total y de fosfatos a través de la operación, ha seguido un comportamiento regular destacando una mejor remoción de nitrógeno total en el SBRMB, y una tasa de

remoción de fosfatos más elevada en el Biofiltro. Los porcentajes promedio de remoción, y las concentraciones de SST en los efluentes se muestran en la tabla 3.

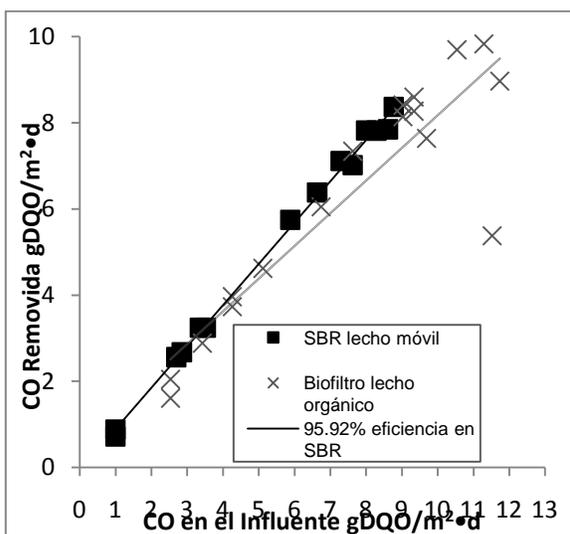


**Gráfica 1.** Variación de la Concentración de DQO en influente y efluente a lo largo de la experimentación en ambos sistemas.

	SBR Lecho Móvil	Biofiltro Lecho Orgánico
% Remoción DE Nt	66.66%	59.88%
% Remoción DE $\text{PO}_4^{-3}$	19.10%	23.39%
SST <sub>Efluente</sub> (mg/L)	50.67	53.21

**Tabla 3.** Porcentajes promedio de remoción en Nitrógeno Total, Fosfatos, y la concentración media de Sólidos Suspendidos Totales presentes en el efluente.





**Gráfica 2.** Análisis de la eficiencia en remoción de la carga orgánica

En las curvas de calidad en el influente y efluente mostradas en la gráfica 1, se observa un cambio, cuando a partir del día 38 de operación, se triplica la carga orgánica aplicada. Se puede ver que el efluente del Biofiltro baja su calidad, estabilizándose después de 20 días de operación continua. En el caso del SBRMB, el cambio en la carga orgánica afectó en menor proporción y su calidad en el efluente tratado se estabilizó más rápido (10 días). Las tasas de remoción de DQO alcanzadas en ambos sistemas, durante las dos cargas orgánicas aplicadas, arrojan una eficiencia promedio en el Biofiltro de 75.8%, mientras que en el SBRMB esta fue de 95.9%. Esto demuestra que el SBRMB tuvo una mayor capacidad de amortiguamiento a la variación drástica de la carga orgánica aplicada.

### Conclusiones

Los porcentajes de remoción de nitrógeno total y de fosfatos se aproximan entre sí en

ambos sistemas. La variación de la carga orgánica repercute en menor medida, en el SBR con lecho móvil que en el Biofiltro con lecho orgánico, en términos de calidad en el efluente, pero en condiciones de carga orgánica aplicada estable, ambos sistemas brindan una calidad similar.

### Agradecimiento

PROYECTO SEP-CONACYT. 103922.  
UNAM-IMTA-UGTO.

### Bibliografía:

Garzon, M., G. Buelna, "Treatment of wastewater from a school in a decentralized filtration system by percolation over organic packing media". *Water Science and Technology*, 2010.

González, O., González, S., Maldonado, L. "Tratamiento de agua residual municipal utilizando biopelículas en suspensión" Memorias XIV congreso nacional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 2002.

Gutierrez, T. Mijaylova, P. "Tratamiento Biológico Avanzado de Aguas Residuales Utilizando Cinta de Polietileno" *Revista AIDIS, volumen 3, No.1* 2010.

Yang S., Fenglin Y., et al. [Simultaneous nitrogen and phosphorus removal by a novel sequencing batch moving bed membrane bioreactor for wastewater treatment](#)" *Journal of Hazardous Materials*, 2010.

Ávila Arias Julio Alberto. Eliminación Biológica de Macronutrientes (C, N y P) presentes en el agua residual en un reactor discontinuo con biomasa adherida y membranas de separación. Tesis de Maestría en Ciencias del Agua. Universidad de Guanajuato. (2009).



### B03. DEGRADACIÓN ANAEROBIA DE LACTOSUERO DE REQUESÓN EN REACTOR UASB

Windy J. Guerrero Rodríguez<sup>1</sup>, Patricia Castilla Hernández<sup>2</sup>, Carlos A. Gómez Aldapa<sup>1</sup>,  
Javier Castro Rosas<sup>1</sup>, Efrén M. Daniel García<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Centro de Investigaciones Químicas, ICBI, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo,  
Carretera Pachuca-Tulancingo, Km 4.5 C.P. 42183 Pachuca, Hidalgo, México.<sup>2</sup>

Departamento El Hombre y su Ambiente, DCBS, UAM-Unidad Xochimilco, Calzada del  
Hueso 1100, Coyoacán, C.P. 04960, México, D.F. [windy\\_jacqueline85@hotmail.com](mailto:windy_jacqueline85@hotmail.com).

#### Presentación

La industria alimentaria es una de las más contaminantes a nivel mundial ya que produce residuales con altas cargas orgánicas. Una de estas industrias es la láctea, su principal residual es el lactosuero, representa entre el 85-95% del volumen de leche (García, 1984), se compone principalmente de lactosa, proteínas, grasas y minerales, con un contenido de materia orgánica entre 40 y 60 g/L de DBO y entre 50 y 80 g/L de DQO (Kavacik *et al.*, 2010; Saddoud *et al.*, 2007). La continua descarga de lactosuero en los suelos puede dañar su estructura física y química, reducir la producción de cultivos e incluso puede provocar contaminación en aguas subterráneas (Kavacik *et al.*, 2010). Los reactores anaerobios de lecho de lodos de flujo ascendente (UASB) han sido utilizados en las últimas décadas para el tratamiento de este tipo de residuales (Demirel *et al.*, 2005). El objetivo de este estudio es evaluar la degradación anaerobia del lactosuero producido después de la elaboración de requesón, para la obtención de metano utilizando un reactor anaerobio UASB operado con 1 día de TRH.

#### Métodos

##### a) Caracterización del lactosuero

El lactosuero fue analizada por espectrofotometría en el equipo MilkoScan FT 6000 (Frederiksen *et al.*, 2011). La caracterización del lactosuero de requesón utilizado en la experimentación, se muestra en la Tabla 1; fue obtenido en la empresa quesera Vaquita Hermanos Guerrero localizada en el municipio de Acatlán, Hidalgo, México.

##### b) Características y condiciones de operación del reactor UASB

Un reactor UASB de 2.5 L de volumen fue inoculado con lodo anaerobio proveniente de una planta tratadora de aguas residuales municipales. El lactosuero fue diluido con agua corriente para tener una concentración de demanda química de oxígeno (DQO) total de 1 g/L correspondiente a una carga orgánica volumétrica (COV) de 1 g DQO/L día. Además se adicionaron de 1 a 2 g/L de NaHCO<sub>3</sub>. La concentración de DQO y COV fueron incrementadas a medida que en el reactor se alcanzaron y se mantuvieron eficiencias de remoción (ER) entre 80 y 90%. El reactor se operó a un tiempo de retención hidráulica (TRH) de 1 día y fue alimentado diariamente y monitoreado a través de la determinación diaria del pH y DQO del influente y efluente, relación de



alcalinidad (RA) del efluente y producción de metano.

c) Métodos analíticos

La DQO total fue determinada por el método colorimétrico de refluo cerrado (APHA, 2005). El pH fue determinado con un potenciómetro modelo Oakton pH5/6. EL gas producido fue cuantificado por desplazamiento de una solución salina saturada de NaCl. La RA se determinó titulando 25 mL del efluente hasta un pH de 5.75 con una solución 0.02 N de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, y continuando la titulación hasta un pH 4.3. La RA se calculó dividiendo los mL gastados a un pH 5.75 entre los mL gastados hasta un pH de 4.3.

hasta 5 (Figura 1c), sin embargo el reactor se recuperó rápidamente; de acuerdo a lo mencionado por otros autores, resulta complicado degradar el lactosuero debido a su baja alcalinidad, por lo tanto controlar este parámetro es fundamental en los procesos de degradación anaerobia, la baja alcalinidad del lactosuero conlleva a un incremento de los ácidos grasos volátiles (AGV) provocando la acidificación del proceso anaerobio evitando la degradación de la materia orgánica presente en el lactosuero y una baja producción de biogás (Mochkaitis *et al.*, 2006; Bezerra *et al.*, 2007). Del día 18 hasta el 30 se mantuvieron ER mayores a 80%, por lo que el día 31 se aumentó la concentración a 2 g DQO/L (Figura 1a), del día 31 al 47 se adicionaron de 2 a 0.5 g de NaHCO<sub>3</sub> en la alimentación. Se observó una gran producción de biogás (1.4 L/d) (Figura 1d). Nuevamente del día 43 al día 51 se obtuvieron ER mayores a 80% (Figura 1b) por lo que se incrementó la concentración a 3 g DQO/L.

Tabla 1. Características del lactosuero utilizado.

Parámetro	Lactosuero
pH	6.8
DQO (g/L)	46.05
Grasa %	0.18
Proteína (%)	0.49
Lactosa (%)	4.1
Sólidos totales (%)	5.13
Sales Minerales (%)	0.36

**Resultados y discusión**

La DQO del influente y efluente, el pH, la eficiencia de remoción y la carga orgánica volumétrica se muestran en la Figura 1. El reactor ha sido operado durante 59 días, se inició alimentando 1 g DQO/L y una COV de 1 g DQO/L día, esta carga y concentración se mantuvieron 30 días (Figura 1a), no fue necesario adicionar NaHCO<sub>3</sub> durante la etapa de arranque del reactor; el día 15 se adicionaron 2 g de NaHCO<sub>3</sub> debido a que disminuyó el pH



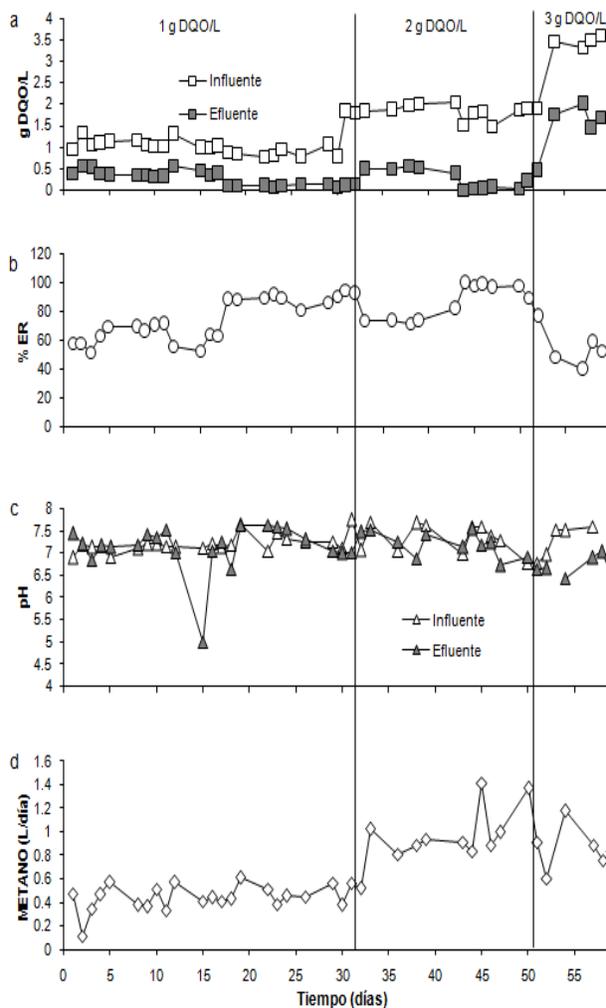


Figura 1. Degradación de lactosuero de quesón en un reactor UASB. a) DQO lactosuero; b) % ER; c) pH; d) Producción de metano.

Actualmente el reactor está operando con una concentración de 3 g DQO/L y ha presentado una alta producción de metano llegando a ser de 1.18 L/d (Figura 1 d). El TRH se mantiene en 1 día, algunos autores (Ergüder *et al.*, 2001) mencionan que los inconvenientes en los tratamientos anaerobios son los largos TRH (5-20 días) que deben ser aplicados para evitar

problemas de desestabilización y alcanzar eficiencias altas.

### Conclusiones

El inóculo empleado ha degradado favorablemente las cargas de lactosuero, se ha agregado  $\text{NaHCO}_3$  para suplementar alcalinidad, la producción de biogás ha sido alta (1.2 L/d) y se han alcanzado eficiencias de remoción del 100%. Un parámetro de operación importante es que se sigue manteniendo un TRH de 1, muchos autores mencionan que se requieren TRH mayores a 5 días para un tratamiento eficiente (Demirel *et al.*, 2005), se espera que el inóculo que está siendo empleado se adapte para degradar concentraciones mayores de lactosuero.

### Bibliografía

APHA, *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 21 edic., Washington D.C., USA, Editores American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation, 2005.

Bezerra R.A., Rodrigues J.A.D., Ratuszne S.M., Zaiat M., Foresti E. 2007. Whey treatment by AnSBBR with circulation: effects of organic loading, shock loads, and alkalinity supplementation. *Applied Biochemistry and Biotechnology* 143: 257-275.

Demirel B., Yenigun O., Onay T. T., 2005. Anaerobic treatment of dairy wastewaters: a review. *Process Biochemistry* 40: 2583-2595.



Frederiksen P.D., Hammershoj M., Bakman M., Andersen P.N., Andersen J.B., Qvist K.B., Larsen L.B., 2011. Variations in coagulation properties of cheese milk from three Danish dairy breeds as determined by a new free oscillation rheometry-based method. Dairy Science & Technology 91:309-321.

García G.M., 1984. Alternativas de utilización del suero de leche. Información científica y tecnológica 6(95):5-41.

Kavacik B., Topaloglu B., 2010 Biogas production from co-digestion of a mixture

of cheese whey and dairy manure. Biomass and Bioenergy 34:1321-1329.

Mochkaitis G., Ratusznei S. M., Rodrigues J.A.D., Zaiat M., Foreste E., 2006. Anaerobic whey treatment by a stirred sequencing batch reactor (ASBR): effects of organic loading and supplemented alkalinity. Journal of Environmental Management 79:198-206.

Saddoud A., Hassairi I., Sayadi S., 2007. Anaerobic membrane reactor with phase separation for the treatment of cheese whey. Bioresource Technology 98:2102-2108.



## B04. CONSTRUCCIÓN DE UN RALF (REACTOR ANAEROBIO DE LECHO FLUIDIZADO) PARA EL TRATAMIENTO DE VINAZA DEL *Agave durangensis*.

<sup>1</sup>Luis Ordaz; <sup>1</sup>Rocío Moreno, <sup>1</sup>Maribel Madrid, <sup>1</sup>Felipa Rodríguez; <sup>1</sup>Antonio Rojas; <sup>2</sup>Sergio Valle;

<sup>1</sup>Universidad Politécnica de Durango; <sup>2</sup>Instituto Tecnológico de Durango  
Carretera Durango-México Km. 9.5, S/N Dolores Hidalgo, Durango, Dgo.;  
Blvd. Felipe Pescador 1830 Ote., Nueva Vizcaya, Durango, Dgo.

[luis.ordaz@unipolidgo.edu.mx](mailto:luis.ordaz@unipolidgo.edu.mx)

### PRESENTACIÓN

El agua es un tema trascendental en la actualidad, debido a que este vital recurso sufre una constante degradación y contaminación derivada de la actividad industrial de diversos rubros.

Las industrias dedicadas a la elaboración del mezcal, en el Estado de Durango, generan altos volúmenes de vinazas sin que las mismas, sean manejadas adecuadamente. Es por ello, que se optó por realizar el prototipo de un "RALF" (Reactor), siendo éste el más adecuado para el manejo de altos volúmenes, además de reducir significativamente la materia orgánica contenida en ella.

Un RALF es aquel donde el biofilme crece adherido y suspendido en el fluido (Grady L., Daigger G. y Lim H., 1999), Fig. 1.

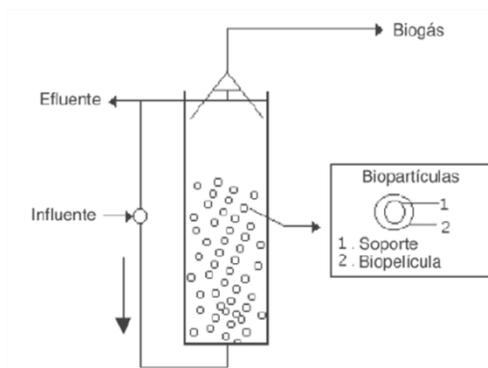


Figura 1-5. Esquema de un RALF (reactor anaerobio de lecho fluidizado).

### Figura 1. Esquema del RALF

De esta manera, la realización del estudio ayuda a encontrar una alternativa ecológica

que permita la protección del medio ambiente y cumplir con el Marco Legal vigente que regula la conservación y usos del agua en nuestro país.

### MÉTODO

El RALF se conforma de cuatro piezas fundamentales: la columna, está realizada de acrílico, 0.60m de altura y 0.10m de diámetro, una válvula de bronce de 3/8 y un filtro, con un volumen de 4.8 L. (Fig. 2).

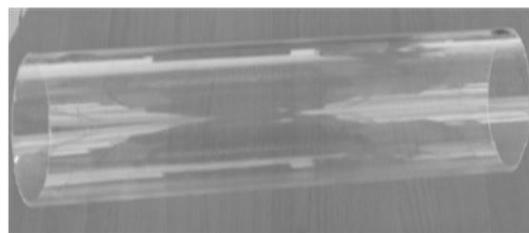


Figura 11-1 Cilindro de acrílico.

### Figura 2. Columna de Acrílico

La segunda es una base intermedia, de PVC y acrílico de 0.60mm, se colocó una placa perforada de aluminio y una malla de plástico como soporte del lecho, se fija a una consola de madera empleando varillas roscadas (Fig. 3)



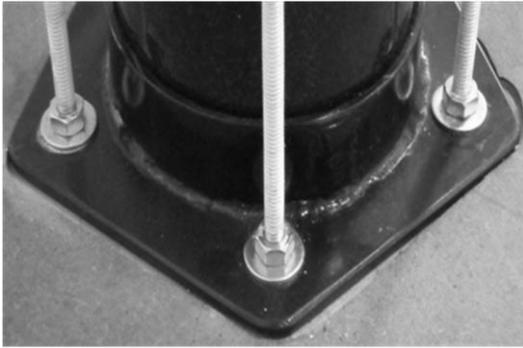


Figura II-4 Base intermedia.

### Figura 3. Base intermedia

La tercera pieza es una parte inferior, es la base inferior que se fabricó con acrílico de 0.6 mm y PVC, se le colocaron dos válvulas de bronce de 3/8, la primera para ingresar el efluente de vinaza y la segunda para toma de muestras, (Fig. 4).

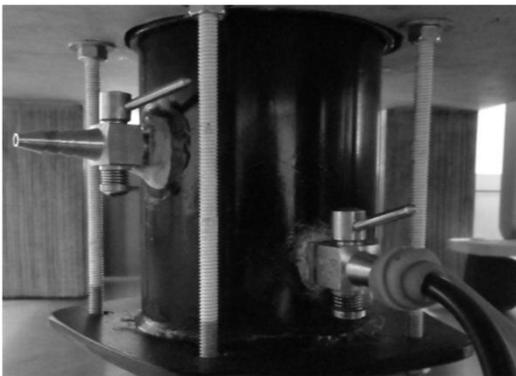


Figura II-5 Base inferior.

### Figura 4. Base inferior.

La tercer pieza es parecida a la base inferior solo que le agregamos una válvula de purgamiento, una válvula de bronce de 3/8, para salida de gases, posee perforaciones con varilla roscada con sellado a presión, (Fig. 5).

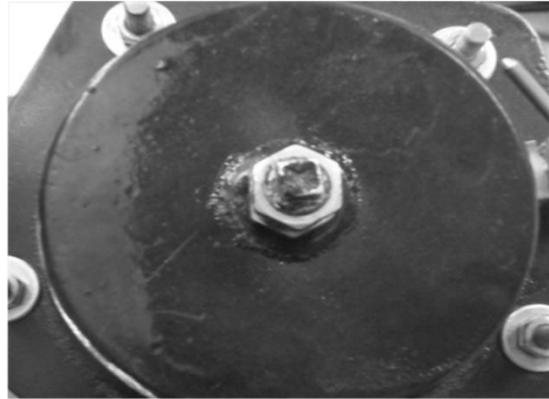


Figura II-8 Válvula de purgamiento.

### Figura 5. Válvula de purgado.

Otro elemento importante es el material de soporte, utilizando Carbón Activado Granular (CLARIMEX) Figura 6., sus características se muestran en la Tabla 1.



### Figura 6. Carbón Activado Granular

CLARIMEX CAGR	
Densidad aparente	.37-.40 $Kg/L$
Área superficial	650 $m^2/g$
Diámetro de poro	56 Å
pH	5-7



Tabla 1. Características del CAG.

La recirculación se realizó empleando una bomba peristáltica, marca Wattson, Figura 7.



Figura II-12 Bomba peristáltica.

Figura 7. Bomba Peristáltica

Con el objeto de probar su funcionamiento se determino, la DQO (Demanda Química de Oxígeno), y su reducción en el efluente de vinaza. Esto empleando un Espectrofotómetro HACH, DR 2800, Figura 8.



Figura 8. Espectrofotómetro Hach DR 2800

**RESULTADOS ESPERADOS**

En La Figura 9 se muestra el RALF (Reactor Anaerobio de Lecho

Fluidizado) terminado, con una velocidad mínima de fluidización de 0.033 m/h y la velocidad superficial ascendente de 11.34 m/min.

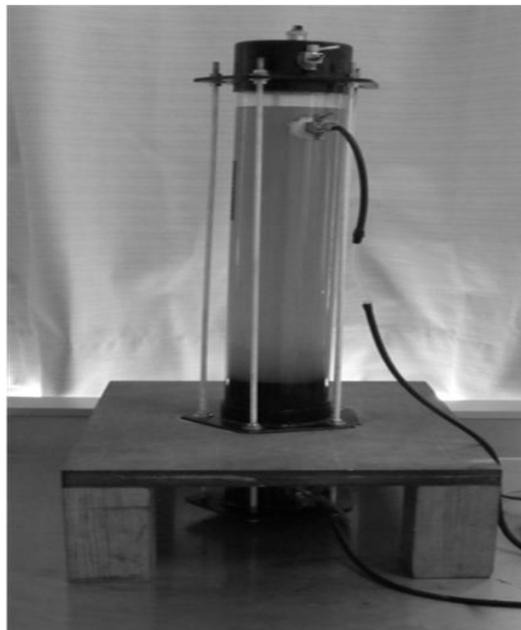
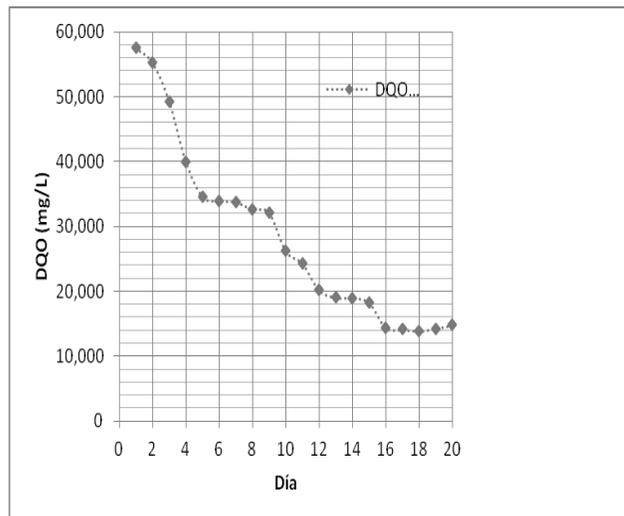


Figura II-11 "RALF".

Figura 9 RALF.

Al probarlo se realizó unas lecturas por 20 días, de la DQO, mostrando los resultados siguientes:



## DISCUSIÓN

**Se observa la remoción a los 18 días, de hasta un 76% en la DQO, días siguientes subió un poco, sería conveniente dejar un tiempo más de tratamiento.**

## CONCLUSIONES

El RALF, presenta buen funcionamiento de operación en proceso.

Los valores de remoción de DQO son buenos.

Se recomienda emplear una bomba de mayor capacidad de bombeo.

## BIBLIOGRAFÍA

Ávila J., (2010). Evaluación de los parámetros fisicoquímicos del mezcal de Durango para el desarrollo de un índice de calidad.

Bautista F. y Durán M., (1998). Análisis del beneficio y riesgo potenciales de la aplicación al suelo de vinazas crudas y tratadas biológicamente

Bermúdez R.; Rodríguez S.; Martínez M. y Terry A., (1997). Ventajas del empleo de reactores UASB en el tratamiento de residuales líquidos para la obtención de biogás.

Parthiban R., (2007). Anaerobic Digestion in a Tapered Fluidized Bed Reactor and Modeling Using Radial Function Neural Network.

Velázquez R., (2002). Diseño de un reactor anaerobio de lecho fluidizado para una planta de tratamiento de efluentes líquidos de la embotelladora coca cola Toluca.



## SIMPOSIO C

### Reutilización de Agua Residual

**C01. CALIBRACIÓN Y ESTANDARIZACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE LABORATORIO PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE EXCRETA LIQUIDA DE CERDO.**

*Manuela Bolívar Duarte. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.*

**C02. PROPUESTA DE SISTEMAS DE RECIRCULACIÓN DE AGUA (SRA) PARA EL SECTOR DE PRODUCCIÓN PISCÍCOLA SAN MIGUEL REGLA, HIDALGO, MÉXICO.**

*Rigoberto Engel Ugalde. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey en Hidalgo.*

**C03. USO EFICIENTE DEL AGUA EN LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE PUEBLA.**

*Luis Manuel Flores Ordeñana. Universidad Politécnica de Puebla.*

**C04. UNA ALTERNATIVA SUSTENTABLE DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES; FILTRO DE MICRÓFITAS FLOTANTE (FMF).**

*Salvador del Cos y Gustavo Gámez. Tecnología ASSUL, S.A. de C.V. México.*



## C01. CALIBRACIÓN Y ESTANDARIZACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE LABORATORIO PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE EXCRETA LIQUIDA DE CERDO

Manuela Bolívar Duarte<sup>1</sup>, Luis Pérez Romero<sup>2</sup>, Uriel Figueroa Viramontes<sup>3</sup> y

Luis Samaniego Moreno<sup>4</sup> <sup>1,4</sup> Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro No. 1923. Buenavista, Saltillo, Coah. Departamento de Riego y Drenaje. [m\\_bolivard@hotmail.com](mailto:m_bolivard@hotmail.com); [lsamaniego@uaaan.mx](mailto:lsamaniego@uaaan.mx). <sup>2</sup> Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro No. 1923. Buenavista, Saltillo, Coah. Departamento de Recursos Naturales. [lupero53@hotmail.com](mailto:lupero53@hotmail.com). <sup>3</sup> Campo Experimental La Laguna-INIFAP. Matamoros, Coah. [urielfv@gmail.com](mailto:urielfv@gmail.com)

### Presentación

El incremento en el costo de fertilizantes químicos y la contaminación de los recursos suelo, agua y aire provocado por la actividad ganadera, nos conducen al aprovechamiento integral de los productos del tratamiento de las aguas residuales.

El tratamiento de aguas residuales es indispensable para evitar problemas al ambiente y a la salud. Este proceso tiene como producto grandes volúmenes de lodo líquido, deshidratado, contaminantes y patógenos provenientes de las actividades humanas que pueden ser disminuidos o eliminados mediante la digestión anaeróbica donde la materia orgánica (M.O) existente en los lodos primarios y secundarios es transformada, por acción de microorganismos, en metano (CH<sub>4</sub>), sulfuro de hidrógeno H<sub>2</sub>S), Bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), agua y liberación de energía, conocido como biogás o bioenergía (Metcalf *et al.* 1997), gozando en la actualidad de gran importancia debido a que es un gas combustible insoluble, que puede ser utilizado como energía y combustible; así mismo se disminuye la cantidad de CO<sub>2</sub> emitida hacia la atmósfera, lo que se refleja en un futuro, en

bonos de carbono. Además, esta M. O. aporta nutrientes como N, P, K, S, Fe, etc. que pueden ser utilizados en la agricultura como abonos orgánicos, siempre y cuando cumpla la NOM-004-ECOL-2003 (Bolívar, 2002).

La producción de biocombustibles como metano se verá reflejada en la detonación del desarrollo sustentable de la agricultura, ganadería, silvicultura, además de incrementar el valor agregado de las explotaciones ganaderas, materias primas como oleaginosas y cereales. Estas opciones pueden reducir significativamente la dependencia global del petróleo, generar empleos, disminuir la emisión de gases contaminantes que contribuyen al calentamiento global del planeta (Sánchez, 2006).

Rocha *et al.* (2006) consideran que en un enfoque sistémico, los residuos orgánicos serían los insumos que entrarían a un proceso de transformación del cual obtendríamos elementos (combustibles) con suficiente poder calorífico para generar energía.

Objetivo



Calibración y estandarización del método de laboratorio para la obtención de biogás a partir de excreta líquida de cerdo.

### Método

La investigación se está llevando a cabo en el Laboratorio de Calidad de Aguas del Departamento de Riego y Drenaje de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en Buenavista, Saltillo, Coah. iniciándose con la recolección de una muestra de excreta líquida de cerdo de un volumen de 3 litros. De éste se tomó una submuestra para determinarle los parámetros físico-químico-biológico a la entrada del biodigestor anaerobio (ARMFIELD W8) como se muestra en la Figura 1.

A la muestra se le colocó una manguera para conectarla al tubo del biodigestor, mismo que consta de un regulador de temperatura, a través de una tela térmica, colocándolo a 34°C; dos reactores para el desarrollo bacteriano (Figura 2) con su respectiva cámara de gas. El biogás producido desplaza al agua de su respectiva cámara graduada en ml mediante un tubo de desagüe.



Figura 1. Digestor anaerobio ARMFIELD W8

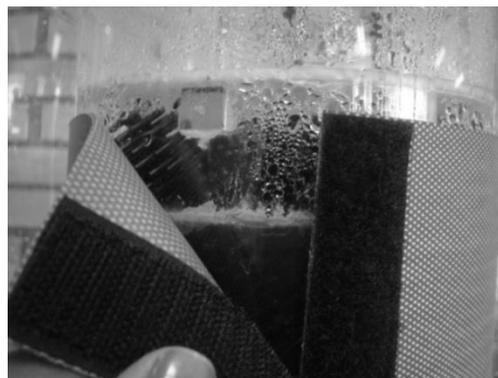


Figura 2. Soporte para el desarrollo bacteriano

### Resultados esperados

El biodigestor inició la producción de biogás después de 3 días de iniciado el trabajo. Una vez terminado el periodo de prueba de 26 días, en el Cuadro No. 1 se observan los parámetros físico-químico-biológicos realizados en el influente y efluente del biodigestor en donde puede observarse que el pH disminuyó ligeramente, no así la concentración de sales solubles (CE) que bajaron más de la mitad. En lo que se refiere a los parámetros físicos la disminución de los sólidos totales disueltos coinciden con el decremento de la CE. En lo relacionado con el comportamiento de la contaminación por M.O (DBO<sub>5</sub> y DQO) disminuye considerablemente; así como la eliminación de coliformes.



Cuadro No. 1. Parámetros físico-químico-biológicos del influente y efluente de la excreta líquida.

Parámetro	Influ.	Eflu.
pH	7.47	7.12
CE(μS)	3126	1256
ST (mg/l)	1160	960
SST (mg/l)	160	90
SSV (mg/l)	345	210
STD (mg/l)	650	420
DBO <sub>5</sub> (mg/l)	160	50
DQO (mg/l)	130	60
CT (NMP)	1070	-
CF (NMP)	78	-
Biogás producido (ml)		280

En la Figura 3 se observa el biogás producido durante el periodo de observación en el que a medida que pasa el tiempo se incrementa el volumen de biogás, sobre todo después de 9° día después de iniciada la producción.

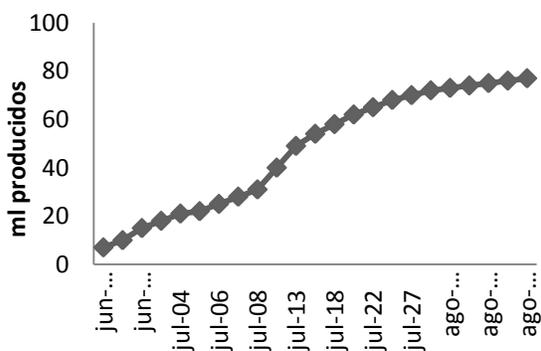


Figura 3. Volumen de producción de biogás

### Discusión

La disminución de pH y concentración de sales solubles (CE) facilita el reúso de esta agua en la agricultura para un mayor número de cultivos. La eficiencia de las bacterias se muestra con el decremento de la contaminación (DBO<sub>5</sub> y DQO).

### Conclusiones

- Los dos parámetros químicos determinados disminuyeron favorablemente, lo que nos indica que el efluente de las zahúrdas puede ser utilizado para riego.
- La eficiencia del proceso anaeróbico se observa con la disminución de los diferentes tipos de sólidos.
- La digestión anaeróbica eliminó los coliformes fecales y totales.
- El periodo de estabilización del proceso tardó 12 días a una temperatura de 34°C.

### Bibliografía

- Bolívar, D. M. 2002. Producción de Biogás e Identificación de Bacterias Metanogénicas en Lodos de Aguas Residuales Industriales. Tesis de Doctorado. Universidad Autónoma de Nuevo León. Marín, N.L. México. 85p.
- Metcalf & Eddy. 1997. Ingeniería de Aguas Residuales, Tratamiento, Vertido y Reutilización. Ed. Mc Graw Hill. México. 752p.
- Rocha, A y L. Cantú. 2006. El Aprovechamiento de los Residuos en la Generación de Energía. Teorema Ambiental No. 59. Agosto-Septiembre. México. Pág. 22-23.
- Sánchez, I. 2006. Desarrollo y Promoción de Bioenergéticos. Biodiesel: Combustible Renovable. El Surco. Año III.



## C02. PROPUESTA DE SISTEMAS DE RECIRCULACIÓN DE AGUA (SRA) PARA EL SECTOR DE PRODUCCIÓN PISCÍCOLA SAN MIGUEL REGLA, HIDALGO, MÉXICO.

*Rigoberto Engel Ugalde.*

Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey en Hidalgo. Departamento de Ciencias Básicas. Blvd. Felipe Ángeles 2003. Col. Venta Prieta. CP 42080. Pachuca de Soto, Hidalgo. E-mail: [rengel@itesm.mx](mailto:rengel@itesm.mx).

### Presentación.

El objetivo de este trabajo es evaluar la calidad del agua usada para la incubación y crianza de la trucha arcoíris, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792) y proponer opciones de sistemas de recirculación de agua (SRA) para mantener una adecuada calidad del agua de cultivo en el Sector de Producción Piscícola San Miguel Regla. A cada muestra se evaluó el oxígeno disuelto, salinidad, pH, alcalinidad, calcio, amonio no ionizado, nitrito, sólidos suspendidos, sólidos disueltos y temperatura según el Manual de Buenas Prácticas de Producción Acuícola de Trucha para la Inocuidad Alimentaria. Con estos valores y de los procedimientos de alimentación y manejo se un sistema de recirculación de agua (SRA). La propuesta incluye los procesos de remoción de sólidos, nitrificación, desinfección, aireación u oxigenación. Esta propuesta tienen como base el dimensionamiento de un sistema de nitrificación o filtro biológico.

### Método

Los lugares de muestreo de agua es un canal abierto rectangular, un colector de agua de manantial, un vertedero triangular y una tubería de descarga por caída libre (figura 1).

La determinación del aforo o consumo de agua permite conocer la cantidad de agua usada para poder diseñar equipos de tratamiento. Los aforos se realizaron en un canal abierto rectangular, en un vertedero en V y en una tubería horizontal de descarga libre usando los procedimientos propuestos por briones Briones y García (1997).

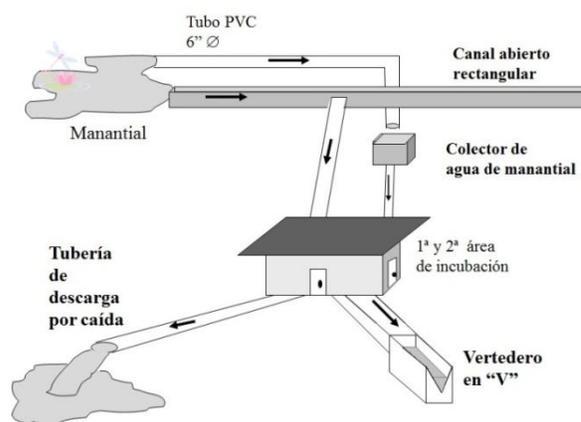


Fig. 1. Puntos de muestreo.

Los parámetros fisicoquímicos del agua se enlistan a continuación y se realizaron en el Laboratorio de Ciencias de la División de Profesional del Tecnológico de Monterrey Campus Hidalgo. Se combinaron métodos de Normas Oficiales Mexicanas con métodos alternos de Hach water analysis handbook (1997).



- Alcalinidad. Método 8221 HACH. Aprobado por la USEPA.
- Calcio (Dureza). Método 8231 HACH.
- Nitrógeno. Método Nessler 8038 HACH. Aprobado por USEPA.
- Nitritos. Método 8507 HACH. Aprobado por USEPA.
- Sólidos suspendidos. Método 8006 HACH.
- Sólidos disueltos. Método 8160 HACH. Aprobado por USEPA
- Oxígeno disuelto. Método de prueba NMX-AA-012-SCFI-2001.
- pH. Método de prueba NMX-AA-008-SCFI-2000.

Para el dimensionamiento del filtro biológico de tipo lecho fluidizado se usó el método propuesto por Segovia M.(2009) Este permite obtener las características y dimensiones del sistema de nitrificación en función del estadio de los peces, la cantidad de alimento suministrado al último día de estancia, el porcentaje de proteína en kilogramo de alimento y del volumen de agua en los estanques de incubación.

- Determinar la producción de nitrógeno amoniacal total (PNAT)
- Calcular el volumen de arena requerido para metabolizar la PNAT.
- Seleccionar la altura de la cama de arena y altura de filtro.
- Determinar el área del biofiltro.
- Obtener las velocidades de fluidización para las partículas de arena.
- Calcular la tasa de flujo de agua para fluidizar el lecho de arena.

## Resultados

La toma de muestras de agua se realizó durante cuarenta y siete semanas, del 22 de abril del 2009 al 28 de abril del 2010 para cada uno de los puntos de muestreo.

Se indican el máximo, mínimo, y promedio además de los marcados en el Manual de Buenas Prácticas de Producción Acuícola de Trucha para la Inocuidad Alimentaria (SAGARPA/SENASICA/CIAD. 2003).

El dimensionamiento del filtro de nitrificación es el procedimiento principal del SRA que se propone para cada sección de cuarentena. En la tabla 5 se describen las características del biofiltro de lecho fluidizado para cada una de las secciones de cuarentena.

Tabla 1.  
Parámetros fisicoquímicos de agua de Manantial.

Parámetro	Máximo	Mínimo	Promedio	MBPPAT
Oxígeno disuelto (mg/L)	8.3	6.2	7.3	> 5.0
Salinidad (‰)	0.0	0.0	0.0	0 a 35
pH	7.4	6.7	7.0	6.4 a 8.4
Alcalinidad (mg/L)	34	28	31	30 a 200
Calcio mg/L	4.59	2.40	3.28	> 50
Amonio no ionizado (mg/L)	0.05	0.01	0.02	< 0.05
Nitrito mg/L	0.013	0.002	0.004	< 0.55
Temperatura (°C)	18.0	17.3	17.5	10-22
Sólidos suspendidos (mg/L)	6	0	2	< 80
Sólidos disueltos (mg/L)	36.5	30.1	30.6	50 a 200
Gasto (L/s)	4.93	0.00	2.73	-

Tabla 2.  
Parámetros fisicoquímicos de agua de Canal

Parámetro	Máximo	Mínimo	Promedio	MBPPAT
Oxígeno disuelto (mg/L)	8.0	6.1	7.1	> 5.0
Salinidad (‰)	0.0	0.0	0.0	0 a 35
pH	7.4	6.6	7.0	6.4 a 8.4
Alcalinidad (mg/L)	34	15	31	30 a 200
Calcio mg/L	4.60	2.60	3.35	> 50
Amonio no ionizado (mg/L)	0.05	0.01	0.02	< 0.05
Nitrito mg/L	0.06	0.00	0.03	< 0.55
Temperatura (°C)	17.8	16.7	17.5	10-22
Sólidos suspendidos (mg/L)	7	0	3	< 80
Sólidos disueltos (mg/L)	31.5	26.2	30.5	50 a 200
Gasto (L/s)	134.0	81.2	103.9	-



Tabla 3.  
Parámetros fisicoquímicos de agua de Salida Primera Sección.

Parámetro	Máximo	Mínimo	Promedio	MBPPAT
Oxígeno disuelto (mg/L)	8.5	5.9	7.1	> 5.0
Salinidad (‰)	0.0	0.0	0.0	0 a 35
pH	7.6	6.0	7.1	6.4 a 8.4
Alcalinidad (mg/L)	34	26	31	30 a 200
Calcio mg/L	4.37	3.01	3.36	> 50
Amonio no ionizado (mg/L)	0.18	0.00	0.04	< 0.05
Nitrito mg/L	0.013	0.001	0.004	< 0.55
Temperatura (°C)	17.6	17.0	17.4	10-22
Sólidos suspendidos (mg/L)	8	1	3	< 80
Sólidos disueltos (mg/L)	31.6	30.1	30.6	50 a 200
Costo (L/s)	4.93	0.00	2.73	-

Tabla 4.  
Parámetros fisicoquímicos de agua de Salida Segunda Sección.

Parámetro	Máximo	Mínimo	Promedio	MBPPAT
Oxígeno disuelto (mg/L)	8.2	5.2	7.1	> 5.0
Salinidad (‰)	0.1	0.0	0.0	0 a 35
pH	7.4	6.8	7.1	6.4 a 8.4
Alcalinidad (mg/L)	36	28	31	30 a 200
Calcio mg/L	3.94	2.84	3.40	> 50
Amonio no ionizado (mg/L)	0.27	0.03	0.09	< 0.05
Nitrito mg/L	0.015	0.001	0.05	< 0.55
Temperatura (°C)	17.6	16.8	17.4	10-22
Sólidos suspendidos (mg/L)	19	1	5	< 80
Sólidos disueltos (mg/L)	123.3	30.3	32.8	50 a 200
Costo (L/s)	13.52	3.49	7.86	-

Tabla 5.  
Características de SRA en la etapa de cuarentena

Parámetro	1ª. Sección	2ª sección
tipo de biofiltro	Lecho fluidizado	Lecho fluidizado
tamaño de la arena	40/70 (0.420-0.210 mm)	idem
coeficientes de uniformidad de arena 40/70	1.3	1.3
volumen de arena 40/70	0.0207 m <sup>3</sup>	0.1656 m <sup>3</sup>
altura de cama de arena 40/70 en biofiltro	0.5 m	0.7 m
altura del biofiltro biológico	2.0 m	2.8 m
diámetro del biofiltro biológico	9.04 pulgadas	21.61 pulgadas
caudal de agua para fluidizar arena	16.5 L/min o 0.275 L/s	94.1 L/min o 1.56 L/s

A continuación se describe el arreglo

general del SRA (figura 2).

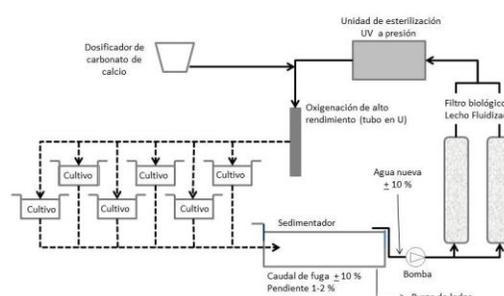


Figura 2. Sistema de recirculación de agua con sedimentador rectangular y filtro biológico de lecho fluidizado.

## Discusión

Los valores de los parámetros físico-químicos del agua de suministro, manantial y canal, muestran que el agua cumple con los parámetros de calidad para el cultivo de la trucha arcoíris. De estos, el amonio no ionizado (N-NH<sub>3</sub>) y oxígeno disuelto indican el nivel de tratamiento que se es necesario alcanzar. Los SRA propuestos deben mantener valores de oxígeno disuelto arriba de 7.0 mg/l e inferiores a 0.05 mg/L de amonio no ionizado (SAGARPA/SENASICA/CIAD. 2003)

El consumo de agua promedio en la primera sección de incubación/cuarentena es de 2.73 L/s, al pasar esta valor a consumo diario en metros cúbicos al día da el valor de 235.87 m<sup>3</sup> agua/día; agua que viene del manantial, pasa a las tinas para dar el medio de vida a los huevos y alevines, descargada fuera de la sección de incubación. Tomando por lo menos un 80% de recirculación de agua (el 90% es el máximo esperado) se necesitarán solamente 1.2 m<sup>3</sup> de agua para restituir la usada en la purga de lodos y en las pérdidas por evaporación y fugas.



En la segunda sección de cuarentena se pasa de un gasto de agua promedio de 7.86 L/s, equivalente a 679.10 m<sup>3</sup> de agua al día. A solo 2.4 m<sup>3</sup>/día de agua proveniente del canal para suministrarse al SRA de esta sección.

### Conclusiones

El agua usada en el Sector de Producción Piscícola San Miguel Regla para la incubación, alevinaje y crianza de la trucha arco iris cumple con los parámetros óptimos de calidad de agua para su cultivo. Esto permite entregar al cliente un producto de excelente calidad para el consumo humano.

Fue posible dimensionar los filtros biológicos para nitrificación. El resto de las dimensiones de los componentes de los dos sistemas de SRA los ofrecerán las empresas comerciales en función de los volúmenes de agua requeridos para fluidizar la arena en cada sistema de recirculación. Los socios deben pedir el apoyo para la compra e instalación de estos equipos, de una empresa comercial. De ser necesario el Tecnológico de Monterrey en Hidalgo puede seguir apoyándolos en dar sus comentarios de las propuestas técnicas y económicas que reciban.

Los ahorros de consumo de agua, el mejor manejo en el cultivo y control de enfermedades que se tendrán al poner en marcha estos sistemas, se reflejarán en las etapas posteriores del cultivo y permitirán a la asociación de productores tener una mejor imagen ante las autoridades sus clientes y sociedad en general ya que

ofrecerán un producto que además de ser nutritivo, delicioso e inocuo para el consumo humano, es amigable con el medio ambiente.

### Bibliografía.

BRIONES G. y GARCIA I. 1997. Aforo del agua en canales y tuberías. Editorial Trillas. México, D.F. pp. 27-32, 37-43, 59-65.

DOF. 2000. Norma Oficial Mexicana NMX-AA-008-SCFI-2000. Análisis de agua - Determinación del pH - Método de prueba. Diario Oficial de la Federación. México. 18 de diciembre de 2000.

DOF. 2001. Norma Oficial Mexicana NMX-AA-012-SCFI-2001. Análisis de agua - Determinación de oxígeno disuelto en aguas naturales, residuales y residuales tratadas- Método de prueba. México. 17 de abril de 2001.

HACH WATER ANALYSIS HANDBOOK 1997. 3rd Edition. HACH Company. Loveland, Colorado, U.S.A. pp: 181-187, 594-595, 807-808, 825-827, 1015-1021, 1122-1126.

SAGARPA/SENASICA/CIAD. 2003. Manual de Buenas Prácticas de Producción Acuícola de Trucha para la Inocuidad Alimentaria. Mazatlán, México.

SEGOVIA M. 2009. Comunicación personal. Departamento de Acuicultura. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada CICESE. Ensenada Baja California, México.



### C03. USO EFICIENTE DEL AGUA EN LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE PUEBLA.



*Flores-Ordeñana Luis Manuel*

Universidad Politécnica de Puebla. Tercer carril del ejido serrano San Mateo Cuanalá,  
Puebla. E-mail. Imanuelflores@yahoo.com.mx.

#### **PRESENTACIÓN.**

El aprovechamiento racional del recurso hídrico es una tarea impostergable de todos, y en este caso particular, de la comunidad politécnica. La Universidad Politécnica de Puebla ha considerado como eje fundamental de su desarrollo el respeto al entorno, muestra de ello son tal consideración en la misión y visión institucionales.

El proyecto de uso eficiente del agua está dirigido al aprovechamiento del agua pluvial y residual tratada para el riego de jardines. Se ha estimado, con base en datos meteorológicos históricos, el volumen de agua pluvial que podría captarse en la superficie del *campus* universitario. Para el tratamiento de las aguas residuales se propone utilizar una tecnología biológica. Integran a este programa un sistema de captación de agua pluvial, una laguna de estabilización y almacenamiento de agua residual tratada, un sistema de riego y la potabilización biológica de un volumen de agua demandado.

#### **MÉTODO**

La propuesta de uso eficiente del agua se propone a través de tres etapas.

Etapas iniciales: En esta etapa se tienen en la Universidad cinco edificios, dos de docencia, dos de laboratorios y uno de usos múltiples. En el edificio de docencia más reciente hay captación de aguas pluviales pero no hay estructura de almacenamiento, por lo que se propone una infraestructura del tipo olla de agua con geomembrana. En el primer edificio de docencia y el segundo de laboratorios y talleres, se tiene una cisterna de captación de agua pluvial con la que se almacena el agua de la mitad de la superficie de azotea del edificio. Los edificios restantes no captan el agua pluvial o bien la conducen hacia el drenaje. En la segunda etapa se propone dar solución a estas situaciones.

Se propone la construcción de la infraestructura de riego de jardines cercanos a los actuales edificios. La laguna y cisternas permitirán el riego por aspersión de una primera superficie estimada en 14000 m<sup>2</sup>, en los alrededores de los actuales edificios.

Etapas finales: Construcción de una laguna de almacenamiento y estabilización con la finalidad de almacenamiento; estabilización del agua residual tratada cuando ésta llegue a ella; y de regulación de las diferencias estacionales en la demanda del agua para riego.



Con base en la topografía del terreno del *campus* universitario, se proponen dos regiones del mismo: aquella sobre la cota 102.00 m (región alta o de captación) y la región por debajo de dicha cota (región baja o de riego). Se propone que en adelante se tenga una olla de almacenamiento de agua de lluvia al pie de los edificios construidos que permita el riego por aspersion de una zona verde aledaña. Tener infraestructura de captación y conducción de agua de lluvia proveniente de canchas deportivas, andadores, techumbres y explanadas.

Construcción de una primera etapa de la planta de tratamiento de aguas residuales mediante un sistema biológico que considere las fluctuaciones de caudal y calidad del agua residual, que caracterizan a la actividad universitaria (SBR). Dotación de la infraestructura de captación y conducción de agua de lluvia de nuevas áreas construidas como explanadas, techumbres, andadores, estacionamientos y circuitos. La construcción de una planta potabilizadora con base en un sistema de tratamiento biológico.

Etapas tres: Construcción de la segunda etapa de la planta de tratamiento de aguas residuales e infraestructura para el riego de áreas verdes mediante bombeo en zonas alejadas de las obras de captación.

Captación, conducción y almacenamiento de nueva infraestructura como explanadas, andadores, etc. Esta propuesta parte de algunas consideraciones como las siguientes:

a) Aportación de agua pluvial: Para estimar la aportación de agua de lluvia sobre la superficie del *campus* universitario se consideraron los registros promedio, de precipitación pluvial mensual de los años 2001 a 2005 de la estación meteorológica de la Cd. de Puebla, que fue la estación más cercana a la Universidad, con registros de este tipo.

**Tabla 2 Superficies que captan agua de lluvia.**

<b>Estructura</b>	<b>Superficie (m<sup>2</sup>)</b>
Estacionamientos y explanadas	26400
Edificios	4600
Andadores	9000
Total	40000

Las áreas de edificio consideran solamente aquellas que no son captadas hacia la cisterna de agua pluvial del propio edificio. Para los andadores, se consideró solo la parte



que se encuentra en la región alta. Para todas las superficies se consideró un 30% total de pérdidas por captación y conducción.

b) Demanda de agua para riego de jardines: Se consideró una superficie de 14000 m<sup>2</sup>. Se utilizó una dotación de 5 L/m<sup>2</sup> de jardín/día, propuesta por la UNAM para el riego de los jardines de Cd Universitaria. La demanda de agua para riego se consideró constante durante todo el año, excepto en los meses de lluvia intensa (junio a septiembre), en los que la demanda se propuso igual a cero. Bajo estas consideraciones, la demanda de agua para el riego de la superficie propuesta equivale a 2100 m<sup>3</sup>/mes.

c) Capacidad de almacenamiento: Con la superficie disponible en el *campus* se propone una capacidad deseada de almacenamiento de 5500 m<sup>3</sup>.

## RESULTADOS y DISCUSIÓN

En la figura 1 se observa que, para las condiciones propuestas, únicamente durante los meses de febrero, marzo y abril hay un déficit de agua para riego, evidente porque la línea de disponibilidad de agua (línea continua) adquiere valores negativos.

El resto del año es posible regar la superficie propuesta (14000 m<sup>2</sup>), aunque para ello los meses de mayo y enero demandarían toda la capacidad de almacenamiento, es decir, estos meses se vaciaría la estructura de almacenamiento, aspecto que no sería recomendable por razones estéticas y de diseño estructural. Durante los meses de junio a septiembre, período de lluvia, no se requiere de agua para riego.

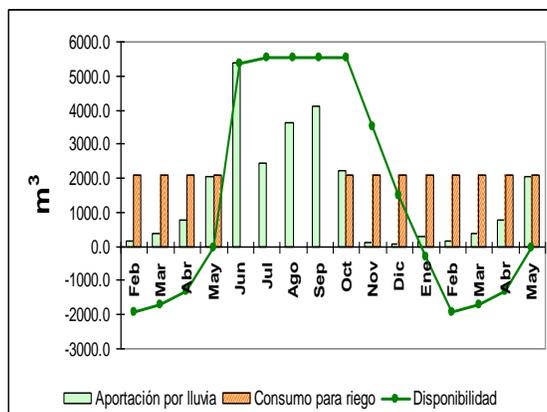


Figura 1 Disponibilidad de agua para riego. Laguna de estabilización y almacenamiento

Una vez que se construya la planta de tratamiento de aguas residuales, ésta abastecerá de agua tratada, lo que permitirá evitar el déficit de agua en los meses de estiaje.



La Figura resume gráficamente la estrategia propuesta de uso eficiente del agua en la UPPuebla.

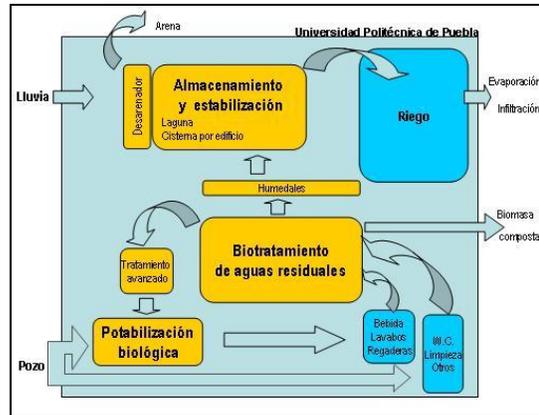


Figura 2 Estrategia de uso eficiente del agua  
para la Universidad Politécnica de Puebla.

## CONCLUSIONES

Es posible generar una estrategia de uso eficiente del agua que favorezca el aprovechamiento del agua de lluvia y del agua residual tratada. Esta solución resuelve problemas de disposición de este tipo de aguas y favorece su aprovechamiento al transformar un problema en un recurso.

La propuesta resuelve también la demanda de agua con calidad para riego de jardines, en una primera etapa, e incluso para su aprovechamiento para consumo humano en una etapa posterior.



## C04. UNA ALTERNATIVA SUSTENTABLE DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES; FILTRO DE MICRÓFITAS FLOTANTE (FMF).

*Salvador del Cos y Gustavo Gámez*

Tecnología ASSUL, S.A. de C.V. México

A finales del siglo XIX y principios del XX, la mortalidad era muy alta por el inicio de las grandes ciudades y la eliminación de las aguas residuales sin ningún tratamiento previo, llegándose a considerar a Londres y París prácticamente inhabitables, por olores y enfermedades, llegándose a tener a finales del siglo XIX, una tasa de mortalidad por tifoidea de 350 por cada 100,000 habitantes, iniciándose el tratamiento y el manejo adecuado de las aguas servidas esta tasa pudo reducirse a menos de 3.

### Tecnologías Disponibles

Para el cumplimiento de las mismas hemos adaptado una serie de tecnologías de tratamiento de aguas residuales, para cumplirlas de la forma más adecuada. Podemos hablar de una serie de tecnologías, para el tratamiento de las aguas residuales, y hay que decir que la mayoría trabaja, si es bien adaptada a las necesidades, pero en la Republica Mexicana, podemos decir que sobresalen dos tipos de tecnologías, y estas engloban más del 95% de las plantas construidas, y son:

Lagunas de oxidación

Lodos activados, en cualquiera de sus variantes

Veremos algunas ventajas y desventajas de estos tratamientos

### Lagunas de Oxidación

### **Ventajas**

Es un proceso sencillo que no requiere de personal altamente capacitado para su operación y mantenimiento

No requiere de equipo de alto costo.

Requiere de poca energía eléctrica.

Este proceso de tratamiento entrega efluentes de buena calidad, remociones del 60 al 80% de la carga orgánica.

Es posible manejar variaciones en cargas hidráulicas y orgánicas mediante este proceso. Es un proceso de tratamiento convencional que entrega un efluente con relativamente bajo contenido de bacterias.

Presenta pocos problemas en el manejo y disposición de lodos en la operación normal. Sirve como hábitat para la flora y fauna silvestre.

### **Desventajas**

Este proceso de tratamiento puede emitir olores desagradables y si es mal manejada exceso de moscos..

Requiere de una gran extensión de terreno.

Puede contaminar el manto freático.

Puede entregar un efluente con gran cantidad de sólidos suspendidos, y DBO



relativamente altos, alrededor de 100 g/m<sup>3</sup>.

Generalmente su ubicación es lejana a la población.

Hay que reconstruir la planta de tratamiento cada 10 o 15 años dependiendo del diseño original

### **Proceso de lodos activados**

#### **Ventajas**

Calidad del efluente de muy buena calidad, eliminando hasta un 90-95% de los contaminantes orgánicos que se presentan

Este tipo de planta tiene un uso intensivo del terreno, ya que puede tratar grandes cantidades de agua residual en terrenos relativamente pequeños.

#### **Desventajas**

Genera una cantidad de biosólidos como subproducto del tratamiento, por cada Kg de DBO removido genera hasta 0.7Kg de sólidos que hay que disponer de forma adecuada, de acuerdo a las normas.

Uso intensivo de corriente eléctrica en el proceso

Es necesario mantener personal capacitado para su operación y mantenimiento.

Costos de tratamiento altos, siendo en orden de importancia, Electricidad, Disposición de lodos, Mano de obra y productos químicos (cloro).

En el área y disposición de lodos puede llegar a generar olores bastantes desagradables.

Trabaja mejor con un flujo continuo

Como podemos ver en base a lo anterior era necesaria desarrollar una tecnología que tuviera lo mejor de cada una de las anteriores, de los lodos activados, una excelente calidad de agua y un uso intensivo del terreno, de las lagunas un bajo costo de operación y mantenimiento y una construcción sencilla de hacer, bajo estas premisas se desarrolló la tecnología de Filtro de Macrofitas Flotante por Hidrolution.

El tratamiento de las aguas residuales con macrofitas, como un filtro de macrofitas flotantes (FMF), surge para cubrir esta necesidad con muy alta calidad, similar a los procesos de lodos activados y muy bajos costos de operación y mantenimiento, similar a las lagunas de oxidación.

### **El método de FMF (filtro de macrofitas flotantes)**

fue desarrollado a inicios de los años 90 como un sistema de purificación de desechos o aguas residuales y depende de la interacción de las plantas, del agua residual y los microorganismos siendo estudiado el sistema por la Universidad Politécnica de Madrid en España.

### **El sistema de Macrofitas Flotante**

**(FMF)** es una solución sostenible como infraestructura de limpieza de agua residual, permitiendo que la vida útil de la instalación no se agote con el tiempo, llegando actualmente a durar más de 50 años. Generando como consecuencia un gran ahorro al municipio o empresa que lo utilice, debido al tiempo de duración de la instalación, a los bajos costos de operación y mantenimiento.



Cuando diseñamos un sistema de tratamiento de aguas residuales debemos de pensar en lo siguiente:

Sacar un agua clara que cumpla con los requisitos de uso para riego, así como que cumpla con la reglamentación vigente para la zona de instalación.

No emplee productos químicos extras.

No produzca lodos como subproducto del tratamiento.

Mejora en el ambiente, no produciendo olores, ni organismos patógenos al ambiente.

Que el consumo eléctrico sea mínimo.

Sencilla de construir y sencilla de operar.

Bajos costos de operación y mantenimiento

El mantenimiento del sistema de **Macrófitas en Flotación (Hidrolution)**, requiere de tratamientos sencillos pero especializados, y se basa en la realización de tratamientos fitosanitarios (fumigaciones) preventivos durante la etapa de crecimiento, en los primeros meses después de sembradas.

#### **Pero que es el Filtro FMF?**

Es un sistema ecológico, eficiente y económico que limpia el agua residual de forma sostenible sin el consumo de energía ni la producción de olores, este sistema es eficaz como sistema completo y autónomo, sin embargo es adaptable como complemento o integrado a otras tecnologías.

La base del sistema Filtro de Macrófitas Flotantes (FMF) es convertir en flotantes a

plantas que normalmente están enraizadas en el suelo de los humedales, sobresaliendo su parte verde de la superficie del agua. Cuando las plantas crecen y las raíces o sistema radicular de todas las plantas se entrelazan el sistema empieza a flotar siempre y cuando tengan el soporte o estructura adecuada, este sistema proporciona el medio ambiente para que se desarrollen los elementos básicos del tratamientos de las aguas residuales, como son las bacterias, hongos, microorganismos.. etc. que son los encargados de la depuración del agua residual.

#### **¿Cómo funciona el Filtro de Macrófitas Flotantes (FMF)?**

Al sembrar la planta de macrofita empieza a desarrollarse y tener un crecimiento de raíces y rizomas de los cuales empezaran crecer hijos o clones y todas estas raíces formaran el sustrato o la base para el crecimiento de los microorganismos, bacterias, hongos, flóculos y raíces de macrófitas dándole el ambiente adecuado para la depuración del agua residual o negra, en este ambiente se genera una sinergia entre las plantas, raíces microorganismos, bacterias generando lo que llamaremos un sistema muy bien estructurado en su simbiosis, ya que todos dependen de todos para sobrevivir.

El funcionamiento básico es a través de las plantas que transfieren el oxígeno necesario a través de sus raíces para que vivan los microorganismos y las bacterias y el resto de microorganismos descomponen la materia orgánica para su propia supervivencia y la de la planta, lográndose un ambiente simbiótico y muy bien estructurado.



La presencia de O<sub>2</sub> provoca que se cree una abundante flora micro-bacteriana aeróbica, que respira gracias al O<sub>2</sub> que suministra la planta, alimentándose de la materia orgánica que arrastra el agua o que esta disuelta en ella, rompiendo las moléculas orgánicas y pasando al Carbono de éstas a Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), mediante esta sencilla ecuación:



### **¿Cómo funciona el sistema de aireación de un filtro de FMF?**

Una vez formada la alfombra flotante de plantas el oxígeno es bombeado desde el aire a través de sus hojas hasta las raíces gracias a las estructuras tipo alveolar que actúan como membranas inyectando oxígeno directamente a la raíz solamente por presión por diferencia

de presión isostática de oxígeno entre el aire y las raíces. La superficie de las hojas está formada por una membrana especializada en dejar pasar de una cara de la superficie a la otra solamente el oxígeno que contiene el aire, la estructura de la membrana desarrollada es muy estable tanto con la hoja verde como con la hoja seca, ya que su funcionamiento para la transmisión de oxígeno se realiza solamente por diferencias de la presión isostática.

El Oxígeno es bombeado directamente del aire hasta el sistema radicular a través de sus hojas, gracias a la fisiología de la estructura orgánica, que actúan como membranas que inyectan el O<sub>2</sub> directamente a la raíz por diferencia de presión isostática de oxígeno entre las diferentes partes de la planta (hojas, raíces y rizomas) y el exterior.



## SIMPOSIO D

### Agua Residual; Salud, Ambiente y Sociedad

#### **D01. AGUA Y DERECHOS HUMANOS: REFORMAS PARA HIDALGO**

*HÉCTOR CRUZ ÓLGUÍN. COMISIÓN DE DERECHOS HUMANOS DEL ESTADO DE HIDALGO.*

#### **D02. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN OZONIFICADOR DIDÁCTICO PARA LA PURIFICACIÓN DE AGUA RESIDUAL**

*Luis Ordaz. Universidad Politécnica de Durango.*

#### **D03. EL LACTOSUERO COMO CONTAMINANTE EN LA INDUSTRIA QUESERA.**

*Efrén M. Daniel García. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.*

#### **D04. LA IMPORTANCIA DEL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES COMO PARTE DE LA POLÍTICA PÚBLICA ESTATAL EN MATERIA DE CAMBIO CLIMÁTICO.**

*José Luis Benítez Gil. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales del Estado de Hidalgo.*



**D01. AGUA Y DERECHOS HUMANOS: REFORMAS PARA HIDALGO**

*HÉCTOR CRUZ OLGUÍN.*

COMISIÓN DE DERECHOS HUMANOS DEL ESTADO DE HIDALGO.

FRANCISCO GONZÁLEZ BOCANEGRA, 3ER PISO, COL. MAESTRANZA, PACHUCA, HIDALGO.

01 (771) 71 9 4943. HECTORCRUZO@HOTMAIL.COM, HCRUZ@CDHEH.ORG

**PRESENTACIÓN**

La propuesta, aplicable al contexto del estado de Hidalgo, consiste en hacer un planteamiento formal tanto al Poder Ejecutivo como al Legislativo del estado de Hidalgo, para que, en el ejercicio de sus facultades constitucionales, planteen la modificación del Reglamento Interior de la Secretaría del Medio Ambiente y de la Secretaría de Obras Públicas y Ordenamiento Territorial, así como la Ley de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente del Estado de Hidalgo, a fin de que se considere el cuidado y protección del recurso agua a lo largo de toda la cadena de su uso social, en cuyo diseño y cuidado participan ambas dependencias.

**MÉTODO**

Considerando que el agua es un elemento integrante básico de los recursos naturales que conforman el medio ambiente, es necesario considerar que este se encuentra protegido por el derecho internacional de los derechos humanos. Baste mencionar los ejemplos más notables. La Declaración Universal de Derechos Humanos destaca que todas y todos tenemos derecho a que la salud, educación, vivienda, de un medio ambiente sano y de servicios públicos, sean satisfechos, para desarrollarnos conforme a

nuestra dignidad humana. Esta doctrina, situada en un contexto nacional, los Estados tiene la obligación de realizar su mayor esfuerzo para que estos derechos sociales, económicos y culturales de la población se puedan satisfacer progresivamente en razón de los recursos de cada Estado. Por su parte, la Declaración de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano ha permitido convocar a los países a tomar acciones de control sobre los contaminantes, a través de sus legislaciones, respondiendo a la necesidad de preservación del medio ambiente y lograr adecuarlo equilibradamente con el desarrollo, lo que en la conferencia de Estocolmo se llamo "Eco-desarrollo".

Igualmente, es destacable que UNICEF sesionara el 13 de febrero de 1989 la política relativa a "La Infancia y el Medio Ambiente". Consiste en una estrategia para el desarrollo sostenible, mediante el estudio de las consecuencias de la degradación ambiental para la salud y el bienestar del niño y la mujer, analizando las amenazas al medio, como deforestación, contaminación atmosférica, recalentamiento de la atmósfera del planeta.

Con base en esta doctrina, así como en la reforma constitucional en materia de derechos humanos, vigente desde el pasado 10 de junio en el país, se considera plantear ante el Poder Ejecutivo y Legislativo la necesidad de



llevar a cabo mesas de discusión con especialistas medioambientales, en el manejo del recurso agua y en derechos humanos de tercera generación, para modificar en principio los Reglamentos Internos orgánicas de la Secretaría de Obras Públicas y Ordenamiento Territorial y de la Secretaría del Medio Ambiente del gobierno de Hidalgo, así como la Ley de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente del Estado de Hidalgo.

Se propone que se modifiquen, para poner en concordancia el alcance de ambas dependencias y de los organismos sectorizados a ellas, con lo que mandata la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos a partir del 10 de junio pasado, y que, en resumen, consiste en realizar las reformas legislativas necesarias para adecuar sus contenidos con los más de 100 tratados internacionales de los que México es un Estado parte: concretamente, los tratados en materia del cuidado al medio ambiente, específicamente del recurso agua, en toda la cadena de uso y consumo, desde la extracción para, hasta su tratamiento para reutilización.

### RESULTADOS ESPERADOS

El objetivo central es que, como resultado final de las mesas de trabajo entre especialistas, integrantes del Poder Ejecutivo y Legislativo, se pueda elaborar tres documentos formales, que contengan las propuestas de reformas a los Reglamentos Interiores de las mencionadas dependencias del gobierno del estado de Hidalgo, así como la reforma a la ley antes dicha.

Otros objetivos, consustanciales y por lo tanto más específicos, serían los siguientes:

Gestionar que por parte del Poder Ejecutivo o del Legislativo, en uso de sus facultades y obligaciones constitucionales, presentaran ante las y los diputados del estado formalmente dos iniciativas de reforma a las mencionadas leyes orgánicas. Presentar dicho documento a las organizaciones de la sociedad civil del estado de Hidalgo, y convocarlas a emprender un movimiento amplio de difusión y promoción en los ámbitos académicos, sociales, culturales y ambientales no solo de Hidalgo sino del país. Elaborar un plan de difusión, para acompañar esta iniciativa, a fin de difundir su contenido, primero, entre el personal de las dependencias involucradas y, segundo, entre la población en general.

### DISCUSIÓN

El planteamiento sugiere revisar: el Reglamento Interior de la Secretaría de Obras Públicas y Ordenamiento Territorial y el Reglamento Interior de la Secretaría del Medio Ambiente, así como la Ley de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente del Estado de Hidalgo.

La discusión central giraría en torno a: adoptar el espíritu de los principios establecidos por la reforma constitucional en materia de derechos humanos, vigente desde el pasado 10 de junio; más específicamente aún: el artículo 1º constitucional, el cual establece que se elevan a rango constitucional todos los derechos humanos protegidos por los tratados de los que México sea parte, como los mencionados arriba (Declaración Universal de los Derechos Humanos, Declaración de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano, Conferencia de Estocolmo "Eco desarrollo", entre otros), así como la obligación de las



autoridades de prevenir, investigar, sancionar y reparar las violaciones a los derechos humanos.

## CONCLUSIONES

No cabe duda que el agua, como parte integrante de los recursos naturales que forman parte del medio ambiente protegido por el derecho internacional de los derechos humanos, debe ser protegida durante todo el proceso de uso: desde su extracción hasta su tratamiento para ser reutilizada. Pero este equilibrio solamente será posible mediante la razonable instrumentación de la co-participación tanto de los niveles gubernamentales y como de los individuos.

Es necesario hacer todos los estudios necesarios pero también los planteamientos concretos para ofrecer opciones que permitan que el medio ambiente y el desarrollo sostenido no se vean deteriorados por desastres derivados de la pobreza económica y pérdida de valores del ser humano, así como de unas pautas inapropiadas para su utilización y tratamiento.

Es por ello que se sugiere, sencilla pero concretamente, que como resultado de una evaluación de la normatividad que rige a las instituciones directamente encargadas del cuidado del recurso agua, puedan hacerse las reformas necesarias, que permitan su

cuidado en todo el proceso descrito, específicamente en lo que hace a su tratamiento y reutilización, para que se éste tenga una visión de sustentabilidad y respeto al derecho humano del medio ambiente sano.

## BIBLIOGRAFÍA

Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.

Cruz Martínez, Edgar Humberto. "Derecho a un medio ambiente sano". Revista *Doctrina*, UNAM. Sitio web.

Diario Oficial de la Federación, 10 de junio de 2011, México.

Fernández, Eusebio. "El problema fundamental de los derechos humanos", en *Anuario de Derechos Humanos*, No. 1, enero 1981 Madrid, España, p. 95.

Núñez Palacios, Susana. Clasificación de los derechos humanos. Revista *Doctrina*, UNAM. Sitio web.

Reglamento interior de la Secretaría de Obras Públicas y Ordenamiento Territorial del Gobierno del Estado de Hidalgo.

Reglamento interior de la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Estado de Hidalgo.



## D02. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN OZONIFICADOR DIDÁCTICO PARA LA PURIFICACIÓN DE AGUA RESIDUAL

<sup>1</sup>Luis Ordaz y <sup>2</sup>Omar Rivera

Universidad Politécnica de Durango; <sup>1</sup>Ingeniería en Tecnología Ambiental, <sup>2</sup>Ingeniería en Telemática. Carretera Durango-México Km. 9.5, S/N Dolores Hidalgo, Durango, Dgo. E-mail: [luis.ordaz@unipolidgo.edu.mx](mailto:luis.ordaz@unipolidgo.edu.mx)

### PRESENTACIÓN

El presente trabajo muestra el diseño y construcción de un generador de ozono didáctico, construido en base al efecto corona. El objetivo de este proyecto es llevar a cabo la construcción de un ozonizador didáctico para aplicarse en la purificación de aguas residuales y en las asignaturas de la carrera de Ingeniería en Tecnología Ambiental que forma parte de la universidad, y de esta manera lograr que los alumnos entiendan el proceso de purificación mediante el empleo de ozono, desde la manera en que es generado, hasta cómo el ozono realiza el proceso de tratamiento del agua.

### MÉTODO

Iniciaremos con un diagrama de bloques del ozonificador para conocer las etapas de diseño y construcción del mismo (Fig.1).

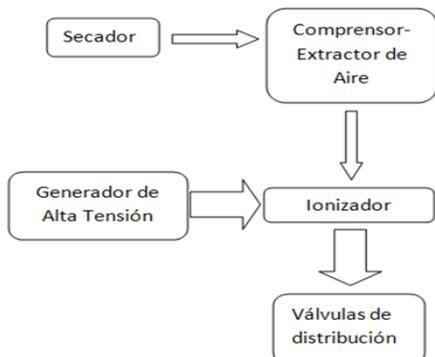


Figura 1. Diagrama a bloques del Ozonizador

La cámara de ionización es donde se lleva a cabo la ionización del aire para producir el ozono (O<sub>3</sub>) a partir de una molécula de oxígeno. Se tomó el siguiente material para desarrollar la cámara:

- 1 de tubo boro silicato (tubo de ensayo) de largo 15 cm., 1 pulg. de luz y un espesor de 1.5 mm.
- 1 tubo de acero inoxidable de largo 20 cm., ¾ de luz y espesor de 0.5 mm.
- 2 tapones de PVC,
- 1 tramo de malla de acero inoxidable de 90 hilos/ pulg.
- Alambre calibre 18.

Los tapones para los tubos y se les realizó las perforaciones necesarias y se les pega unas boquillas para que poder conectarlos por medio de una manguera al compresor-extractor de aire, los tapones deben de ser de necesarias para poder montar el electrodo construido a partir del tubo de borosilicato y acero (Fig. 2).



Figura 2. Tapones del electrodo



La cámara terminada se muestra en la Fig. 3, está compuesta por el tubo de acero que sirve como electrodo interno, el tubo de borosilicato por donde pasa el aire a ionizar, y la malla de acero que en conjunto conforman la cámara para la generación de ozono.

La cámara generadora consiste en un tubo dieléctrico por el que se hace pasar oxígeno, éste recibe una descarga eléctrica constante (llamado efecto corona) y que se ha generado en un transformador. Este hecho provoca la transformación de la molécula de oxígeno ( $O_2$ ) proveniente del aire, en una molécula de ozono ( $O_3$ ). Este gas es succionado por un extractor de aire y es mezclado con el agua que va a ser tratada, (Torregrosa, et. al, 2002)



**Figura 3. Cámara de Ionización**

La etapa de Compresión y Extracción es la encargada de distribuir el aire a través de la cámara de ionización utilizando un compresor de aire con bombas de membranas de teflón y cámara de silicón de 1/16 uso alimenticio, registro FDA y SSA, son compresores especialmente utilizados para purificadores, esterilizadores y recuperación, además que con una ligera adaptación sirven como bomba de vacío para llevar a cabo la extracción del ozono proveniente de la cámara de ionización (Lapham, 2003).

La etapa de secado permitió retirarle la humedad al gas ozono que se va extrayendo por medio de la bomba de

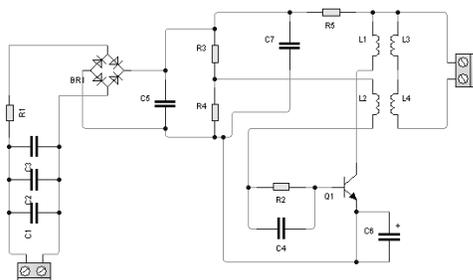
vacío y emerge con calidad hacia el cilindro contenedor de aguas residuales. El secador está hecho a base de carbón activado y sílica gel (Fig. 4).



**Figura 4. Secador de Aire de entrada**

El circuito está compuesto, por un sistema multiplicador de voltaje a partir de un Flyback produciendo el voltaje suficiente para ionizar las moléculas de oxígeno, llevándonos a que esto produzca la generación de ozono. El circuito cuenta con una protección por fusible, lo que disminuye el riesgo de que el circuito se quemara en caso de corto. EL circuito con flyback produce aproximadamente 5000 V, ya que el voltaje de entrada al transformador es de 50 V, y al ser amplificado por los devanados del transformador elevador en un factor de 100, el voltaje de salida aproximado es del orden de los 5000 V. Se está utilizando un Flyback que comúnmente se encuentra en los televisores a blanco y negro de cinescopio, la Figura 5 muestra el diagrama eléctrico del circuito.





**Figura 5. Diagrama eléctrico.**

La lectura de la generación de ozono se realizó con Test kit ozono HI 38054 (Fig. 6), determinando la cantidad de ozono vertido al agua.

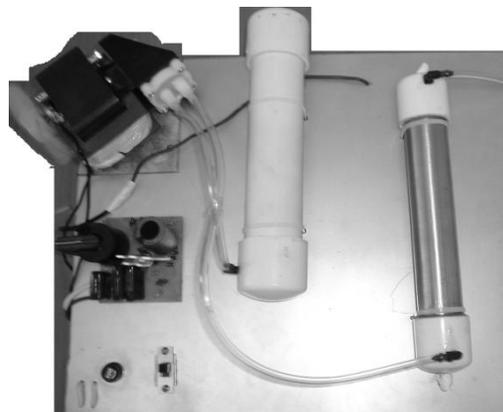


**Figura 6. Test kit ozono HI 38054**

El agua residual es tratada con la pequeña producción de ozono, se deja trabajar durante una hora, y durante ese tiempo se va midiendo, la cantidad de ozono presente en el agua.

**RESULTADOS ESPERADOS**

La Figura 7 muestra el ozonificador terminado.



**Figura 7. Ozonificador didáctico terminado.**

Al poner en marcha el ozonificador se obtuvieron las siguientes lecturas:

Tiempo (min)	O <sub>3</sub> (mg/L)
0	0.20
20	0.22
30	0.25
60	0.30

**DISCUSIÓN**

Es posible generar mayor cantidad de ozono con mayor tiempo de aplicación, además de variar la concentración de Oxígeno Disuelto en el agua que ayuda al proceso.

**CONCLUSIONES**

El O<sub>3</sub> es un poderoso desinfectante. La ozonización es eficaz para efectuar una desinfección en agua residual. El ozono,



no produce en el agua subproductos nocivos.

El realizar el ozonificador didáctico permite que los estudiantes de la carrera de Ingeniería en Tecnología Ambiental apliquen sus conocimientos en situaciones más reales, además de que el costo de los componentes es económico.

El sistema requiere adaptarle una base aislante debido al enorme voltaje que se maneja

## BIBLIOGRAFÍA

Arboleda J. Teoría y práctica de la purificación del agua. Colombia: Mcgraw-Hill Interamericana, 2000.

Clemente M., Torres, A. Aspectos básicos para el diseño de un generador de ozono. Instituto Tecnológico de Chihuahua Departamento Eléctrica-Electrónica. 2003,p. 3-6

Lapham, L. Mejora de un generador de ozono para Purificación de agua potable. Reporte Técnico. 2003, p. 7 12[4]

Rodríguez Vidal FJ, Pérez Serrano A, Orozco C, González Delgado MN, Ibeas MV. Biodegradabilidad de la materia orgánica natural del agua y efecto del ozono. Ingeniería del Agua, 2000;3:271 8.

Singh, N., Singh, R. K., Bhunia, A. K., Stroshine, R. L.. Efficacy of chlorine, dioxide, ozone, and thyme essential oil or at sequential washing in killing *Escherichia coli* O157:H7 on lettuce and baby carrots. Food Science & Technology Lebensmittel- Wissenschaft & Technologie. 2002, 35:720-729.

Staelin, J. Hoinge, J.. Descomposition of ozone in water in the presence of organic solutes. Environmental, Sci 8, Technol,1985,19(12); 1206-1213

Torregrosa-Anton, J., Garcia-Rodriguez, J. Proceso combinado de digestión anaerobia y ozonización para la depuración de aguas residuales de alta carga orgánica Alimentación Equipos y Tecnología. 2002,21(169):71-77.



### D03. EL LACTOSUERO COMO CONTAMINANTE EN LA INDUSTRIA QUESERA.

Efrén M. Daniel García<sup>1</sup>, Windy J. Guerrero Rodríguez<sup>1</sup>, Patricia Castilla Hernández<sup>2</sup>,  
Carlos A. Gómez Aldapa<sup>1</sup>, Javier Castro Rosas<sup>1</sup>, Luz A. Ochoa Martínez<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Centro de Investigaciones Químicas, ICBI, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Carretera Pachuca-Tulancingo, Km 4.5 C.P. 42183 Pachuca, Hidalgo, México. <sup>2</sup> Departamento El Hombre y su Ambiente, DCBS, UAM-Unidad Xochimilco, Calzada del Hueso 1100, Coyoacán, C.P. 04960, México, D.F. <sup>3</sup>Instituto Tecnológico de Durango, Boulevard Felipe Pescador 1830 Ote. Col. Nueva C.P. 34080 Vizcaya, Durango, México.  
[edg\\_st@hotmail.com](mailto:edg_st@hotmail.com).

#### Presentación

El lactosuero es el líquido que se obtiene durante la elaboración del queso (Spreer, 1991). Está compuesto principalmente por lactosa, proteínas, grasas y minerales (González, 1996). La composición del lactosuero varía con la leche utilizada y con el tipo de queso a fabricar. Por coagulación al cuajo se obtiene lactosuero dulce su pH es entre 6.0 y 6.6; por acidificación se obtiene lactosuero ácido con pH entre 4.3 y 4.7 (Madrid, 1999). En el Valle de Tulancingo, Hidalgo, México, se encuentran establecidas un gran número de empresas queseras, en las cuales se generan lactosuero dulce y ácido, la mezcla de ambos se utiliza para producir requesón, generando un tercer tipo de lactosuero; desafortunadamente existe un problema ambiental por la descarga de este subproducto sin ningún tipo de tratamiento a cuerpos receptores de agua y a sistemas de alcantarillado municipal. Conocer las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas de estos tipos de lactosuero es útil para dar una opción de los usos que se le puede dar, evitando así la contaminación ambiental

#### Métodos

En 15 empresas queseras del Valle de Tulancingo fueron colectadas muestras de lactosuero dulce, ácido y del generado en la elaboración de requesón. *In situ* a cada una se les midió el pH con un equipo marca Oakton pH 5/6. Posteriormente fueron almacenadas en botellas de plástico y se conservaron a 4°C hasta su análisis. A las muestras colectadas se les determinó la concentración de sólidos totales (ST), lactosa, proteína y materia grasa; para esto se sometieron a baño maría hasta llevarlas a una temperatura de 37 a 42°C y se homogenizaron, posteriormente se colocaron en una gradilla metálica con capacidad de 10 frascos y fueron llevadas por medio de una cinta transportadora hasta el sistema de pipetas, en donde se tomaron de 3 a 6 mL de muestra que fueron analizados por espectrofotometría en el equipo MilkoScan FT 6000 (Frederiksen *et al.*, 2011). También se tomaron 12 muestras para determinar DQO mediante el método de refluo abierto (NMX-AA-SCFI-2001). Se tomaron 9 muestras para la determinación microbiológica de bacterias mesófilas aerobias, bacterias coliformes, hongos y levaduras.

#### Resultados y discusión

El contenido de ST en los tres tipos de lactosuero se muestra en la Figura 1. Se



observó mucha variación en los resultados de caracterización de cada empresa, esto debido a que a pesar de producir los mismos tipos de quesos, los procesos no están estandarizados. De acuerdo a la Figura 1, la elaboración de requesón disminuye el contenido de ST (ST promedio 5.35%). Las 15 empresas muestreadas producen aproximadamente 110,500 L/día, entre el 60 y 70% del lactosuero producido es utilizado en la alimentación de ganado de engorda, el volumen restante es desechado al alcantarillado municipal o cuerpos receptores de agua. La lactosa es el componente principal del lactosuero (Figura 2). De acuerdo a algunos autores más del 90% de la DQO proviene de la lactosa (Kisaalita *et al.*, 1990; Malaspina *et al.*, 1996; Saddoud *et al.*, 2007). En la Figura 3 se muestra el contenido de DQO en las muestras analizadas, la cual se encuentra entre 41.11 y 154.16 g/L. En el ambiente la lactosa se degrada hasta ácido láctico, provocando afectaciones en suelos y cuerpos de agua. El contenido promedio de proteínas en lactosuero dulce, ácido y de requesón fue de 1.12%, 1.08% y 0.61% respectivamente.

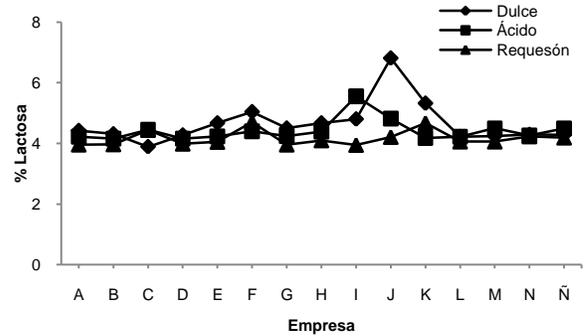


Figura 2. Contenido de lactosa en muestras de lactosuero.

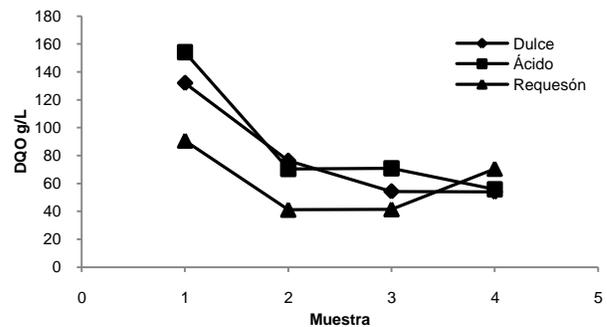


Figura 3. Contenido de DQO en muestras de lactosuero.

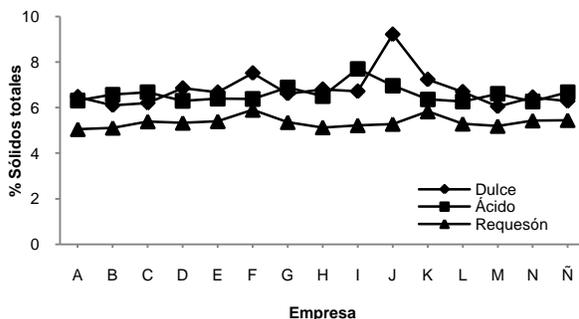


Figura 1. Contenido de sólidos totales en muestras de lactosuero.

La calidad microbiológica del lactosuero es un parámetro que indica las buenas prácticas de higiene que se aplican en los procesos de producción de quesos. En las Tablas 1 y 2 se muestra la concentración de bacterias mesófilas aerobias y coliformes, respectivamente. En ambas tablas se observa que el crecimiento de bacterias es menor en las muestras de lactosuero de requesón, esto debido a que durante el proceso de producción el lactosuero es calentado entre 70 y 75°C por un lapso de 30 minutos. El lactosuero con mayor concentración de microorganismos es el ácido ya que la leche no es pasteurizada durante la



elaboración de quesos, mientras que el lactosuero dulce presentó menor concentración en comparación con el ácido, la leche es pasteurizada en este proceso de producción.

Tabla 1. Concentración de bacterias mesófilas aerobias en tres tipos de lactosuero.

Lactosuero	Temperatura del proceso	UFC/mL
Dulce	32	$1.56 \times 10^5$
Ácido	31	$1.4 \times 10^8$
Requesón	70	< 10

La concentración de hongos y levaduras se muestra en la Figura 3. El lactosuero dulce y de requesón tienen una concentración menor a 10 UFC/mL, nuevamente el lactosuero ácido tiene una concentración de  $1 \times 10^2$  UFC/mL, indicando que es el que tiene una menor calidad microbiológica.

Tabla 2. Concentración de bacterias coliformes en tres tipos de lactosuero.

Lactosuero	Temperatura del proceso	UFC/mL
Dulce	31	$6 \times 10^2$
Ácido	33	$1.2 \times 10^7$
Requesón	75	< 10

Tabla 3. Concentración de hongos y levaduras en tres tipos de lactosuero.

Lactosuero	Temperatura del proceso	UFC/mL
Dulce	33	<10
Ácido	34	$1 \times 10^2$
Requesón	73	<10

### Conclusiones

El lactosuero es considerado un subproducto con poco valor comercial en el Valle de Tulancingo. A pesar de que existen las tecnologías para procesarlo, estas llegan a ser muy costosas. El lactosuero procesado tiene un amplio uso en la industria alimentaria y farmacéutica, en la primera se utiliza en panadería, confitería, repostería o en la estandarización de formulas lácteas. Sin embargo el lactosuero generado en la zona de estudio no tienen una buena calidad microbiológica, por lo que deben implementarse buenas prácticas de manufactura en los procesos de producción para obtener lactosuero de buena calidad y de esta manera invertir en tecnologías de reprocesamiento. Por lo que una opción para evitar la contaminación son los tratamientos de aguas, los sistemas biológicos anaerobios han demostrado ser los más eficaces para este tipo de residuales, con la ventaja de ser empleado en la producción de bioenergía, misma que podría ser utilizada en las empresas procesadoras de lácteos.

### Bibliografía

González S. M.I. 1996. The biotechnological utilization of cheese



whey: a review. *Bioresource Technology* 57:1-11.

Kisaalita W.S., Lo K.V., Pinder K. L. (1990). Influence of whey protein on continuous acidogenic degradation of lactose. *Biotechnol. Bioeng.* 36,642–645.

Madrid A.V. 1999. *Tecnología quesera*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 209, 210.

Malaspina F., Cellamare C.M., Tilche A. (1996). Anaerobic treatment of cheese-whey with a downflow-upflow hybrid reactor. *Bioresource Technology* 55,131–139.

NMX-AA-SCFI-2001. Determinación de la demanda química de oxígeno en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.

Saddoud A., Hassaïri I., Sayadi S. (2007). Anaerobic membrane reactor with phase separation for the treatment of cheese whey. *Bioresource Technology*. 98,2102-2108.

Spreer, D.E. 1991. *Lactología industrial*. Acribia, Zaragoza.



## D04. LA IMPORTANCIA DEL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES COMO PARTE DE LA POLÍTICA PÚBLICA ESTATAL EN MATERIA DE CAMBIO CLIMÁTICO.

*José Luis Benítez Gil.*

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales del Estado de Hidalgo

El tema de cambio climático hoy día más que estar de moda es una realidad que ya sentimos y sufrimos, con mayor intensidad en algunas regiones del planeta, del país, e incluso del Estado de Hidalgo; y que está generando efectos importantes y significativos en sectores clave como la agricultura, la disponibilidad del agua, el energético, los asentamientos humanos, entre otros.

La región donde se ubica el Estado de Hidalgo, de acuerdo a la Cuarta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de la Naciones Unidas, presentada por la SEMARNAT en 2010 reporta una vulnerabilidad significativa ante los efectos del cambio climático (social, económica y ambiental), ya que estima un aumento de la temperatura media y una reducción de la precipitación pluvial al 2020 en la zona centro-norte del país del orden del -5%; a ello le sumamos que nuestra entidad posee zonas áridas y semiáridas, áreas susceptibles a la deforestación o erosión, a los desastres naturales, a la sequía y desertificación; áreas urbanas con alta densidad poblacional y ecosistemas frágiles.

En relación a la variabilidad climática en el Estado, se destaca que para la región Huasteca en términos generales se observa una tendencia a incrementar la lluvia entre 5 y 11 mm para el mes de octubre. En cuanto a la temperatura hay una tendencia significativa a incrementar

las máximas en los meses de verano.

Por otra parte la tendencia de disminución importante de la precipitación anual ocurre también para la sierra Otomí-Tepehua.

En cuanto a vulnerabilidad la mayor parte de Hidalgo tiene valores bajo en el índice de riesgo de inundación. Los valores más altos se encuentran en la zona norte (sitios con menor altitud, con poca pendiente y donde existen la mayor cantidad de flujos de agua).

Considerando lo anterior, y en congruencia con los compromisos nacionales e internacionales para la aplicación de acciones que contribuyan a la atención integral a los efectos del cambio climático, el Gobierno del Estado de Hidalgo como una de sus líneas de acción estratégicas y prioritarias, contenida en el Eje 3 Desarrollo Ordenado y Sustentable, del Plan Estatal de Desarrollo 2011-2016, prevé el diseño e implementación del Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático.

Además, el Gobierno del Estado de Hidalgo, cuenta con un fundamento legal actualizado y congruente con el Programa Especial de Cambio Climático 2009-2012, relacionado con impulsar programas y estrategias locales en la materia. En ese sentido la Ley para la Protección al



Ambiente del Estado de Hidalgo contempla en su artículo 62 bis establece la creación de un documento marco que permita implementar las acciones específicas que permitan conocer la vulnerabilidad del Estado frente a los efectos de cambio climático denominado Estrategia Estatal de Cambio Climático, creando a su vez el Consejo Estatal de Participación Ciudadana Ambiental y de Cambio Climático mismo que deberá conocer, dar seguimiento, evaluar y en su caso, recomendar los planes, programas y proyectos que se circunscriban como parte de la Estrategia.

Para ello, y vía mezcla de recursos federales y estatales en 2010 y 2011, la SEMARNATH encomendó a la UAEH el desarrolló de estudios, reportes e inventarios que permitan conformar dicho Programa.

Un componente de dicho Programa es el Inventario Estatal de Emisiones de Gases Efecto Invernadero (GEI), y de acuerdo a la metodología del IPCC (Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático) considera el desarrollo de las siguientes categorías: Energía, Procesos industriales, Solventes y uso de otros productos, Agricultura, Uso de Suelo, Cambio de Uso de los Suelos y Silvicultura (USCUSS), Desechos. En esta última categoría, se contempla residuos sólidos y líquidos en cuanto a generación de emisiones.

Los reportes preliminares del inventario estatal de emisiones de gases efecto invernadero, indican que en Hidalgo se generan 31,129 Gg\* de unidades equivalentes de CO<sub>2</sub>, y la categoría de desechos aporta el 14% de emisiones, ocupando el segundo lugar de emisiones GEI (en cuanto a unidades equivalentes de

CO<sub>2</sub>), después de la categoría de Energía. Destaca que en esta categoría se presenta una generación de 100.9 Ggr\* de metano atribuible a aguas residuales; cabe mencionar que la mayor fuente de emisiones de metano del Estado provenientes de esta actividad es causada por las presas que acumulan las aguas negras provenientes del norte de la ciudad de México. Estas aguas llegan a las presas con desechos sólidos y altas cargas orgánicas debidas a excretas humanas. Las mayores acumulaciones de estas aguas en territorio del estado de Hidalgo son las presas Endhó y Requena, pertenecientes a la cuenca del Valle de México, dentro de la Región XIII de la CONAGUA. Esta zona se muestra en la Figura.



El metano es emitido durante la descomposición anaeróbica del contenido orgánico de aguas residuales. Hay grandes incertidumbres en la estimación de las emisiones, debido a la falta de información sobre las prácticas de control de desechos empleadas en los diversos países, la parte de residuos



orgánicos que se descomponen anaeróbicamente, y el grado en que esos desechos se descompondrán finalmente.

Se destaca que las emisiones de metano debidas a las aguas residuales y lodos de plantas de tratamiento, de acuerdo a la información requerida por la Metodología del IPCC se refieren a los volúmenes de aguas residuales, su carga contaminante y las tecnologías que se emplean para su tratamiento y disposición.

Por otro lado, al 2005, en Hidalgo se reportan 41 plantas de tratamiento de aguas residuales industriales, pero el dato de volúmenes de agua sólo se reporta para la Refinería Miguel Hidalgo y la Termoeléctrica CFE Francisco Pérez Ríos. Ambas empresas federales situadas en Atitalaquia y Tula de Allende, son las de máxima generación de aguas industriales y sus volúmenes sólo son comparables a la empresa de refrescos.

Con ello, se resalta un escenario que no es nuevo, en el país y el Estado, relacionado con el bajo nivel de tratamiento de aguas residuales municipales e industriales, que permitan cumplir con las normas oficiales mexicanas NOM-001-SEMARNAT-1996, para descarga a cuerpos federales y en su caso con la NOM-002-SEMARNAT-1996, para cuerpos de agua y sistemas de drenaje municipal, respectivamente.

Por lo antes expuesto podemos concluir que las aguas residuales son un vector importante para Hidalgo en cuanto a producción de emisiones GEI, principalmente CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub>, por ello es prioritario que las acciones públicas y privadas, en el tema que nos ocupa, se reorienten para agilizar y fortalecer procesos de control y tratamiento de aguas residuales municipales e industriales, asumiendo con mayor responsabilidad la

competencia y regulación de la CONAGUA, para el caso de descargas a cuerpos de agua federales, incluyendo el tratamiento de las aguas residuales municipales; así como la regulación por parte de organismos operadores locales en la regulación y control de descargas a sistemas de drenaje municipal.

En el mismo sentido se deberá promover que en las actuales y próximas plantas de tratamiento de aguas, se mejoren y/o consideren prácticas de tratamiento aerobio, residuales como una opción técnica para controlar las emisiones de metano, las cuales implican sistemas más eficientes de aireación y/o de control de lagunas de sedimentación; apoyar con mayores presupuestos los costos de operación y mantenimiento de las plantas. Además, no descartar procesos de digestión anaerobia de lodos y quema o cogeneración de electricidad con metano (lo cual implica construir digestores anaerobios y sistemas de colección, quema y aprovechamiento de metano.

Finalmente, considerar y prever esquemas de adaptación ante el cambio climático en este sector, como lo puede ser la desinfección de las aguas residuales tratadas a través de prácticas como el lagunaje y microfiltración para que el agua se pueda reutilizar. Por otra parte, lograr en las diferentes regiones del Estado, obtener agua de calidad adecuada para su reutilización, promoviendo una agricultura más sostenible y proteger cuerpos de agua evitando la descarga de aguas residuales.

Es importante considerar la aplicación de medidas de mitigación que permitan colaborar con el control y disminución a la emisión de GEI contribuyendo con



esto a disminuir los efectos del cambio climático.

Con estas medidas, sumadas y vinculadas con programas de actualización y elaboración de ordenamientos ecológicos territoriales, manejo integral de cuencas, reforestación, rellenos sanitarios, atención de malezas acuáticas, educación ambiental, regulación industrial, entre otros, Hidalgo mitigará de forma gradual y progresiva sus emisiones GEI y se adaptará de mejor forma a los efectos por la variabilidad climática que se presentan en escenarios locales-regionales y sus respectivas escenarios futuros.

