



## DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN DE UNA PLANTA PILOTO COMPACTA DE DEPURACIÓN DE LÍQUIDOS RESIDUALES QUE POSEE COMO TRATAMIENTO BIOLÓGICO LA TECNOLOGÍA BIODISCOS

Welter Adriana<sup>1</sup>, Castillo Jorge<sup>2</sup>, Grumelli, Yanina<sup>3</sup>, Martínez Wassaf, Maribel<sup>4</sup>

Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Católica de Córdoba. Camino a Alta Gracia Km 7 ½, Córdoba. CP: 5017. República Argentina. Tel: +054 (0351) 4938060. Fax: +054 (0351) 4938061. [cqdoc@uccor.edu.ar](mailto:cqdoc@uccor.edu.ar)

### RESUMEN

En los últimos años el aumento de la población estudiantil en el Campus de la Universidad Católica de Córdoba provocó un incremento en la generación de líquidos residuales con la consecuente disminución de la eficiencia de los sistemas de tratamiento existentes. El equipo de investigación Biodiscos, comprometido con el cuidado del recurso hídrico, cada vez más escaso y contaminado, diseña, construye e instala una innovadora planta piloto a escala real para el tratamiento de los líquidos residuales generados por el equivalente a 25 personas aproximadamente. La planta es compacta ya que posee en un reducido y único espacio los tres tratamientos: primario, secundario y terciario. Los ensayos se realizan con la finalidad de ser extrapolados a fin de construir una planta de tratamiento donde confluyan los efluentes generados en el campus universitario por el que circulan un promedio de aproximadamente 5000 personas por día.

La eficiencia del sistema Biodiscos, como tecnología para el tratamiento secundario de efluentes, fue probada y verificada por el equipo en trabajos anteriores. El objetivo de esta investigación es conocer la eficiencia del diseño integrado y reunir los datos necesarios para evaluar la posibilidad de reutilizar el líquido tratado en el riego ornamental del predio.

La eficiencia experimental del prototipo resultó superior al 80%, calculada a partir de los parámetros sanitarios y determinaciones de laboratorio realizadas durante el tiempo de estudio.

**Palabras Clave:** Planta Piloto. Líquidos residuales. Tratamiento. Reutilización. Eficiencia.

---

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Católica de Córdoba.

Farmacéutica. Máster en Atención Farmacéutica Comunitaria. Secretaria de Investigación y Vinculación Tecnológica. Facultad de Ciencias Químicas, UCC. Profesor Full Time Facultad de Ciencias Químicas, UCC. Directora Proyecto investigación BIODISCOS. Profesor Titular de Química Analítica. Facultad de Ciencias Químicas. UCC. Miembro del Consejo de Profesores. Facultad de Ciencias Químicas. UCC. [adrianawelter@gmail.com](mailto:adrianawelter@gmail.com)

<sup>2</sup> Facultad de Ingeniería. Universidad Católica de Córdoba.

<sup>3</sup> Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Católica de Córdoba.

<sup>4</sup> Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Católica de Córdoba.

## INTRODUCCIÓN

La generación de aguas residuales es un hecho inevitable de toda actividad humana y los problemas asociados a las mismas han sido, son y serán motivo de preocupación. La ausencia de tratamientos adecuados debido a la superpoblación y a los elevados costos de construcción de sistemas de remediación de aguas residuales causa un daño a la vida silvestre, deterioros ambientales y los efluentes constituyen un riesgo de contaminación de las fuentes de agua potable superficiales y napas subterráneas que llevan a un deterioro en la salud de las personas.

El censo nacional del año 2001 informó que sólo el 50% de la población en Argentina contaba con sistemas de cloacas (INDEC, 2001). Por otro lado la OMS dio a conocer recientemente que en nuestro país se ha alcanzado en zonas urbanas un acceso del 98% a fuentes mejoradas de agua potable y una cobertura de saneamiento del 92%. Sin embargo, en las zonas rurales, donde vive el 10% de la población, el acceso a una fuente mejorada de agua potable es del 80% y la cobertura de saneamiento es del 83% (WHO/UNICEF, 2010). Con respecto a la situación en la provincia de Córdoba, según el mismo censo, el 91% de la población consumía agua de red y sólo el 33% contaba con sistema de cloacas y, si tenemos en cuenta que la OMS considera como una buena cobertura de agua potable a aquella que alcanza al 95% de la población y como un buen saneamiento a aquel que cubre al menos al 90% de la población (Augé, 2007), en nuestra provincia todavía nos queda mucho trabajo por hacer.

A la situación de tan bajo porcentaje de saneamiento hay que sumarle la problemática de la crisis hídrica del centro del país debido a los periodos prolongados de sequía que hacen que el agua sea un recurso cada vez más escaso. Este hecho se agrava aún más en nuestra provincia donde sus características agrarias hacen que el volumen del agua para riego se equipare prácticamente al utilizado para consumo humano, ampliamente superiores a la cantidad de agua utilizada por la industria (Gobierno de la Provincia de Córdoba, 2009).

Así, el incremento de la demanda y la disminución de la disponibilidad agravada por el deterioro de la calidad, genera inconvenientes en el abastecimiento del tan preciado recurso. Es una problemática creciente en el siglo XXI que parece perpetuarse en los años venideros debido al incremento poblacional que aumentará lógicamente la demanda de bienes y servicios. Esta realidad nos obliga a repensar nuestra forma de actuar y a buscar modos de relacionarnos con el entorno natural de una manera sustentable.

Partiendo de esta premisa la Universidad Católica de Córdoba (UCC), por medio del equipo de investigación Biodiscos, toma la iniciativa de implementar un sistema que recupere el agua proveniente de los líquidos residuales generados en el campus para luego ser reutilizada en el riego del mismo. Así, se diseña, construye e instala un prototipo en el Campus de la UCC que funciona como una innovadora planta compacta de remediación de líquidos residuales utilizando un reactor Biodiscos como tratamiento biológico. Los Biodiscos o Contactores Biológicos Rotativos (RBC), forman parte de una de las tecnologías apropiadas y eficientes para el tratamiento secundario de los líquidos residuales con alto contenido de materia orgánica biodegradable.

El objetivo de esta investigación es comprobar la eficiencia de la planta compacta de tratamiento medida por la disminución de más de un 80% de la DBO<sub>5</sub> de salida con respecto a la DBO<sub>5</sub> de entrada del líquido al prototipo. También se pretende reunir los datos necesarios para evaluar la posibilidad de reutilizar el líquido tratado en el riego ornamental del predio.

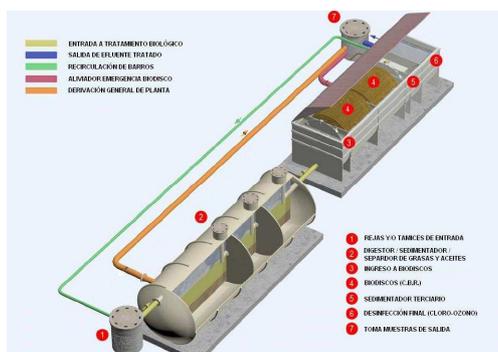
## MATERIALES Y MÉTODOS

Se analizó un líquido residual proveniente de un sector del Campus de la UCC, camino a Alta Gracia km 7 ½, correspondiente a tres facultades y un bar/comedor adaptándose el caudal de entrada a la planta compacta de tratamiento (Figura 1), para que sea equivalente al producido por 25 personas de consumo estándar (200 L por persona por día).



Figura 1: Planta compacta de tratamiento de líquidos residuales en la UCC

En el Esquema 1 se muestra la planta desglosada en dos partes: la primera (punto 2) correspondiente al tratamiento primario y la segunda (punto 3 al 7 inclusive) al tratamiento secundario y terciario que en el prototipo instalado en el Campus se encuentran de forma paralela para lograr que sea un diseño integrado y compacto.



Esquema 1: Vista desglosada de la Planta de Tratamiento

La planta piloto instalada cuenta con una bomba trituradora (equiparable al punto 1 del Esquema 1), colocada antes del ingreso del líquido a la misma, que cumple una doble función: la de triturar los sólidos de efluente y elevar el líquido para que ingrese al sistema, ya que el prototipo no se encuentra enterrado debido a que se trata de un sistema provisorio. El líquido residual ingresa a la planta piloto y se somete a un tratamiento primario que consta de un separador de grasas y dos sedimentadores/digestores para los sólidos de mayor tamaño (punto 2 del Esquema 1). Luego el líquido resultante, que posee partículas disueltas y soluciones coloidales, ingresa a la etapa secundaria del tratamiento, Biodiscos (punto 4 del Esquema 1), sistema biológico, aeróbico de cultivo fijo, constituido por un reactor formado por una serie de discos, generalmente de material plástico, montados sobre un eje que gira a escasas revoluciones en una cuba semicilíndrica por donde circula el líquido residual. Los discos están sumergidos un 40% en el líquido a tratar y sirven de soporte para que los microorganismos se adhieran y formen un film llamado biopelícula, responsable de la depuración del efluente, es decir, del consumo de los residuos sólidos presentes en el líquido. Los microorganismos actúan de manera sinérgica realizando un intercambio metabólico durante el tiempo de inmersión, donde encuentran los nutrientes y el oxígeno disuelto; y el tiempo de aireación, donde se produce la difusión del oxígeno del aire a la biopelícula. De esta etapa resulta un líquido bajo en contenido orgánico que ingresa al tratamiento terciario (punto 5 del Esquema 1) para recibir un proceso de clarificación y posterior cloración (punto 6 del Esquema 1). El líquido que egresa de esta planta de tratamiento es agua limpia, apta para diferentes usos, en el caso del campus universitario de la UCC será evaluada su utilización para el riego ornamental del predio.

La planta piloto posee las siguientes dimensiones: ancho 1,0 m, largo 1,5 m y profundidad 1,0 m, lo que facilita la toma de muestras. También posibilita ajustar el caudal, variar las revoluciones por minuto, intercambiar el número y el tipo de discos, entre otras acciones, para lograr el rendimiento deseado. Cuenta además con un tablero electrónico con protecciones y control remoto a través de mensajes de texto SMS, lo que permite un riguroso control en esta etapa de la investigación.

El Biodiscos (Figura 3 y Figura 4), construido por la empresa METERTECH S.A., consta de un total de 64 discos de 0,5652 m<sup>2</sup> cada uno con una distancia entre sí de 80 cm, siendo el área total del reactor de 36.1728 m<sup>2</sup>. La velocidad de giro es de 3 rpm y constante.

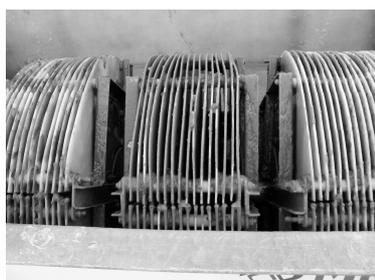


Figura 2: Vista ampliada del Reactor Biodiscos donde se observa la biopelícula

Se tomaron muestras compensadas en tiempo del líquido residual cada 30 minutos cinco veces por semana durante 20 días hábiles. El muestreo se realizó en el horario de mayor concurrencia de personas al campus universitario, entre las 10:00 hs y las 14:00 hs, tomando alícuotas de 100 mL cada vez, las cuales se mezclaron y homogeneizaron adecuadamente. Luego en la muestra de 1 L diario obtenida se midieron los parámetros exigidos por la legislación provincial para líquidos residuales (Gobierno de la Provincia de Córdoba, Decreto 415/99) pH, temperatura, sólidos sedimentables y DBO<sub>5</sub>. Además se lo refuerza con la medición de la DQO, que complementa y reafirma el estudio. Las determinaciones físicas, químicas y biológicas se ensayaron bajo la metodología sugerida por Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 20th. Seguidamente se calculó la eficiencia depurativa de esta tecnología mediante el porcentaje de disminución de los valores de las DBO<sub>5</sub>, DQO y de los mL/L de sólidos sedimentables en dichas muestras. Se utilizó el programa Instat versión demo para el análisis de los 20 pares de datos correspondientes a los ensayos en los líquidos de entrada y de salida de la planta: se compararon las medias con un test t apareado utilizando el test de normalidad de Kolmogorov-Smirnov y se expresan las medias con sus respectivas desviaciones estándares a excepción del contenido de sólidos sedimentables donde se informa la mediana junto a su rango intercuartílico (25th-75th).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los valores de las determinaciones y parámetros (pH, temperatura, sólidos sedimentables a las 2 hs, DBO<sub>5</sub> y DQO) y los cálculos de las correspondientes disminuciones entre el líquido de entrada (E) y el de salida (S) de la planta piloto se resumen en la Tabla N°1.

Determinaciones Muestras	pH	Temperatura (°C)	Sólidos sedimentables 2 hs (mL/L)	Disminución de los sól sedim (mL/L)	DBO <sub>5</sub> (ppm)	Disminución de la DBO <sub>5</sub> (%)	DQO (mg/L O <sub>2</sub> )	Disminución de la DQO (%)
28/06 E	6,5	15	7,0	6,9	345	89	482	90
28/06 S	7,5	14	< 0,1		38		47	
29/06 E	5,9	17	5,0	4,9	278	82	394	90
29/06 S	6,1	17	0,1		49		41	
30/06 E	6,8	18	8,0	7,9	240	83	356	89
30/06 S	7,2	16	0,1		42		38	
01/07 E	6,0	17	6,0	5,9	243	91	352	91
01/07 S	6,5	15	< 0,1		22		32	
02/07 E	7,0	16	7,2	6,8	322	89	483	91
02/07 S	7,5	17	0,4		35		42	
05/07 E	7,0	18	6,7	6,5	358	89	489	89
05/07 S	6,2	15	0,2		40		53	
06/07 E	7,2	14	7,4	7,3	368	89	514	91
06/07 S	7,5	13	0,1		41		47	
07/07 E	6,5	15	8,2	7,9	329	84	497	85
07/07 S	6,8	14	0,4		51		74	
08/07 E	6,5	14	6,8	6,7	321	86	449	87
08/07 S	6,8	13	0,1		45		60	
09/07 E	6,3	15	6,6	6,5	342	85	479	89
09/07 S	6,3	14	0,1		51		52	
12/07 E	7,4	15	6,8	6,7	279	85	392	90
12/07 S	6,9	14	< 0,1		41		39	
13/07 E	7,5	17	6,8	6,7	302	86	455	89
13/07 S	6,9	16	0,1		42		51	
14/07 E	7,1	15	6,9	6,7	375	90	572	89
14/07 S	7,2	14	0,2		39		61	
15/07 E	6,8	15	8,0	7,8	268	93	408	91
15/07 S	7,1	16	0,2		19		38	
16/07 E	6,6	16	6,6	6,5	303	88	450	90
16/07 S	6,3	16	< 0,1		35		47	
19/07 E	6,5	14	7,0	6,9	298	93	415	95
19/07 S	6,3	17	0,1		21		22	
20/07 E	5,9	15	6,5	6,4	290	92	391	91
20/07 S	6,2	15	< 0,1		22		35	
21/07 E	5,5	17	9,0	8,0	302	87	487	89
21/07 S	6,0	17	1,0		40		52	
22/07 E	7,1	16	4,5	4,4	248	93	359	92
22/07 S	7,5	15	< 0,1		17		28	
23/07 E	7,6	17	7	6,9	249	84	375	85
23/07 S	7,5	16	< 0,1		40		57	
<b>PROMEDIO DE LAS DISMINUCIONES</b>	----	----	----	<b>6,7</b>	----	<b>88</b>	----	<b>90</b>

Tabla N°1: Determinaciones y Parámetros medidos en el líquido de entrada y de salida del sistema Biodiscos

Se analizaron los datos consignados en la tabla anterior y se calcularon las  $\bar{X} \pm SD$  y las Md con sus RI (25th-75th) y observó lo siguiente:

- pH de entrada:  $6.69 \pm 0.57$  y de salida:  $6.82 \pm 0.54$  con un  $p \square 0.20$  lo que indica que no existen diferencias significativas entre los valores medios antes y después del sistema Biodiscos.
- Temperatura de entrada:  $15.8 \pm 1.28$  y de salida:  $15.2 \pm 1.32$  con un  $p \square 0.05$  lo que indica que si existen diferencias significativas entre los valores medios antes y después del sistema Biodiscos.
- Sólidos sedimentables de entrada: 6.85 (6.60 – 7.30) y de salida: 0.10 (0.10-0.20) con un  $p \square 0.0001$  lo que indica que si existen diferencias significativas entre los valores de entrada y de salida, lo que aporta un valor agregado al sistema Biodiscos ya que disminuye la cantidad de sólidos sedimentables presentes en el líquido antes del tratamiento secundario.
- DBO<sub>5</sub> de entrada:  $303.0 \pm 41.81$  y de salida:  $36.50 \pm 10.63$  con un  $p \square 0.0001$  lo que indica que si existen diferencias significativas entre los valores medios antes y después del sistema Biodiscos, lo que confirma que el Biodiscos es un sistema eficiente de remoción de la DBO<sub>5</sub> del líquido que se busca remediar.
- DQO de entrada:  $439.95 \pm 60.85$  y de salida:  $45.80 \pm 12.37$  con un  $p \square 0.0001$  lo que indica que si existen diferencias significativas entre los valores medios antes y después del sistema Biodiscos, lo que complementa a lo observado en los datos de las DBO<sub>5</sub> del líquido a tratar y refuerza la premisa de la eficiencia comprobada.

El diseño de la planta piloto y el ajuste de la misma fue el adecuado para el caudal propuesto ya que se evidenció una eficiencia total del sistema correlacionada con el objetivo planteado al observarse un promedio de las disminuciones para la DBO<sub>5</sub> de un 88% acompañada por una disminución promedio de sólidos sedimentables de 6,7 mL/L y de DQO del 90%.

La eficiencia de la tecnología Biodiscos fue comprobada en estudios previos incluyendo las cuatro estaciones del año. Si bien el tiempo de duración de este ensayo fue acotado nos permitió ampliar el número de datos en la situación más crítica reflejada anteriormente, época invernal, la que más afecta la supervivencia microbiana y la eficiencia depuradora de la etapa secundaria.

Con respecto a las características intrínsecas de esta planta piloto se destacan su estructura compacta y cerrada idealmente enterrado que demanda una pequeña extensión de terreno, provoca una baja contaminación visual, la no generación de ruidos ni olores, además de un ahorro de energía eléctrica, un bajo mantenimiento y costo operativo no siendo necesario personal idóneo, la fácil instalación y la rápida puesta en marcha. Este tipo de tecnología genera también pocos barros digeridos, debiendo destacar particularmente que en el sistema secundario los discos giran muy próximos a la cuba semicilíndrica impidiendo la sedimentación de los sólidos en la misma. En estudios anteriores cuando se probó la eficiencia de Biodiscos durante un año, no se obtuvo una cantidad significativa de barros digeridos en la etapa secundaria. Los barros generados en la etapa primaria y terciaria podrían ser extraídos utilizando bombas cloacales o sistemas manuales siempre y cuando la cantidad producida lo justifique. Cabe aclarar que en nuestra planta piloto desde el comienzo de operación (mayo de 2010) no fue necesario realizar esta actividad.

Aunque el registro de temperaturas de entrada y salida a la planta piloto demuestra diferencias significativas, experimentalmente demostramos que la temperatura promedio no estuvo por debajo de los 15°C, favoreciendo la supervivencia de los microorganismos, debido al material que se utilizó en su construcción sabiendo que puede mejorarse si se encuentra enterrada, como se prevé la construcción de la planta de tratamiento del campus universitario.

Probados todos los parámetros físico-químicos propuestos se comenzaron a analizar otros de seguridad biológica conforme al objetivo planteado de comprobar su aptitud para riego. Los coliformes totales y fecales ensayados en los líquidos de entrada superan los 10<sup>5</sup> NMP/100 mL y en el líquido de salida ambos son < 10<sup>3</sup> NMP/100 mL, lo que nos conduce a buscar un N muestral mayor para corroborar la eficacia y eficiencia del sistema exigida por la norma para tal fin.

## CONCLUSIONES

- 1) El diseño y la ubicación de la planta compacta de tratamiento en el predio permitieron un fácil acceso para realizar la técnica de extracción de muestra estipulada por norma, en el tiempo propuesto por cronograma.
- 2) Las lecturas de pH poseen una media de 6,69 para el líquido de entrada y 6,82 para el de salida y la temperatura registra una lectura promedio de 15,8°C para la entrada y 15,2°C para la salida, indicando que las condiciones son relativamente constantes y acordes a un sistema biológico cerrado, cómo lo es esta planta piloto dónde, en uno de los periodos más fríos del año, se mantienen las temperaturas en un intervalo acorde para la supervivencia de los microorganismos responsables del efecto depurador.
- 3) Se demuestra que la aplicación de la tecnología Biodiscos como tratamiento secundario logra una remediación eficiente de los líquidos residuales, reflejada en la disminución de los valores de la DBO<sub>5</sub>, DQO y sólidos sedimentables que se correlaciona con la del sistema integrado.
- 4) Las disminuciones de la DBO<sub>5</sub> siempre superan el 80% con un media de 88%, calculadas con las DBO<sub>5</sub> de entrada y las DBO<sub>5</sub> de salida del líquido residual de la planta compacta de tratamiento lo que afirma una alta eficiencia de planta piloto.
- 5) El promedio de las disminuciones de los valores de DQO es similar al observado en las DBO<sub>5</sub>, con un valor promedio del 90%, lo que corrobora lo planteado en el punto anterior.
- 6) La disminución en promedio de 6,7 mL/L en 2 hs de los sólidos sedimentables aporta un valor agregado a la planta compacta de tratamiento.
- 7) La Planta de Tratamiento diseñada constituye una alternativa económica, eficaz y eficiente para la depuración de los líquidos residuales generados en la Universidad Católica de Córdoba.
- 8) Se encuentran en estudio los parámetros de aptitud para su reutilización en el riego ornamental del predio del campus, lo que manifiesta un claro compromiso con el cuidado del medio ambiente.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American Public Health Association (APHA), the American Water Works Association (AWWA) and the Water Environment Federation (WEF). 1998. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20 th
- Augé, M. 2007. Agua potable y saneamiento en la Argentina. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Departamento de Ciencias Geológicas, Universidad de Buenos Aires.
- INDEC. 2001. Censo 2001: Hogares por servicio sanitario de la vivienda, según provisión y procedencia del agua para beber y cocinar. Total del país.
- Gobierno de la Provincia de Córdoba: Ministerio de Educación, Ministerio de Obras y Servicios Públicos, Ministerio de Ciencia y Tecnología y Secretaría del Ambiente. 2009. El agua un recurso vital.

Gobierno de la Provincia de Córdoba, Subsecretaría de Recursos Hídricos. 1999. Decreto 415/99: Normas para la Protección de los Recursos Hídricos. Córdoba, Argentina.

UN-Water, UNEP y FAOWater. 22/03/2010. Campaña Día Mundial del Agua: Agua limpia para un mundo sano.

WHO/UNICEF Joint Monitoring Programme for Water Supply and Sanitation. 2010. Progress on Sanitation and Drinking-water: 2010 Update. WHO Library Cataloguing-in-Publication Data. WHO Press, World Health Organization, 20 Avenue Appia, 1211 Geneva 27, Switzerland. ISBN 978 92 4 156395 6

## **ABSTRACT**

In recent years, increasing student population on the campus of Catholic University of Cordoba caused an increase in the generation of wastewaters with the consequent decrease in the efficiency of existing treatment systems. The research team Biodiscs, committed to the care of hidric resource, increasingly scarce and polluted, designs, builds and installs an innovative pilot real scale plant for treating wastewaters generated by the equivalent of approximately 25 people. The plant is compact and it has in a small and unique space the three treatments: primary, secondary and tertiary. The tests were performed in order to be extrapolated to build a treatment plant where effluent generated on campus converge, along which an average of about 5000 people moving per day.

Biodiscs system efficiency, as the technology for secondary treatment of effluent, was tested and verified by the team in previous works. The objective of this research is to study the efficiency of the integrated design and assemble the necessary data to evaluate the possibility of reusing the treated liquid to ornamental irrigation of the university campus. The experimental efficiency of the prototype was above 80%, calculated from the health parameters and laboratory measurements made during the study period.

**Keywords:** Pilot Plant. Wastewaters. Treatment. Reuse. Efficiency.