

El análisis de aguas residuales y el tratamiento de efluentes.

Carlos J. Suárez, Susana N. Roldán

Departamento Materias Básicas-UDB Física
Facultad Regional Santa Fe, Universidad Tecnológica Nacional
Lavaisse 610, suarez_cj@yahoo.com.ar, ingsnroldan@yahoo.com.ar

Resumen

Con nuestro trabajo queremos dar a conocer y promover, en un principio en nuestra comunidad educativa, la importancia marcada en el tratamiento de efluentes y en el cuidado del agua, e impulsar a nuestros ingenieros a adquirir los conocimientos necesarios para llevar adelante de manera adecuada el desarrollo sustentable. Es integrador de conocimientos, pues partimos de las ciencias básicas y avanzamos hasta los conceptos aportados por la Ingeniería Sanitaria, en el último año de la carrera Ingeniería Civil. Nos proponemos: estudiar las propiedades físicas de las muestras obtenidas, analizar el comportamiento del fluido en estudio, evaluar la calidad de los efluentes de las plantas seleccionadas. En esta primera etapa hemos realizado un relevamiento de los ensayos físicos y químicos empleados ampliando la búsqueda a aquellos apropiados a las macrófitas propuestas.

Palabras clave: saneamiento, propiedades físicas, macrófitas.

1. Identificación

Código del Proyecto: TEUTNFE0004866.

Programa: Tecnología Educativa y Enseñanza de la Ingeniería. Área prioritaria: La didáctica en la universidad y la práctica docente universitaria.

Fecha de inicio: 01/01/2018, finalización: 31/12/2018

2. Introducción

La facilidad de acceso, la calidad y la adecuada depuración del agua es de suma importancia para el sano desarrollo de la vida de los seres humanos en la comunidad. Con la llegada de la industrialización, el

crecimiento poblacional y económico, la cantidad de las aguas y los agentes contaminantes presentes en las mismas se han incrementado exponencialmente, por lo que su tratamiento se vuelve imperioso y a su vez demanda una respuesta sostenible, es decir, compatible económica, social, ecológica y sostenible en el tiempo. Por esta razón en diversos países se proponen experiencias de investigación e implementación de sistemas de saneamiento sostenibles. Entre ellas se destaca el uso de humedales artificiales, diseñados para emular las funciones naturales de la depuración de agua.

En el marco del proyecto de investigación “El ingeniero y la gestión sostenible del agua residual, desde una perspectiva integradora” pretendemos integrar los conocimientos desde las ciencias básicas, hasta los aportados por la ingeniería sanitaria, en el último año de la carrera de ingeniería civil, avanzando en el estudio de la calidad de los efluentes de las plantas seleccionadas, análisis de su eficiencia y obtención de una propuesta de tratamiento final que resulte beneficiosa y de factible adaptación a la comunidad.

En esta primera etapa, nuestro propósito es describir los ensayos y tratamientos para el análisis de las aguas residuales y el grado de depuración obtenido con el empleo de humedales artificiales. Esto es, decir cuáles, cómo en qué momento deberán tener lugar los ensayos y controles a efectuar, buscando especificar las propiedades importantes de la variable sometida a análisis.

Dado que las aguas afluentes poseen por lo general características muy variadas en función del grado de depuración alcanzado en las etapas previas, se ha optado para el diseño experimental la determinación a través de métodos normalizados de las

siguientes variables: la materia orgánica, siendo las medidas más habituales la DQO (demanda química de oxígeno), la DBO₅ (demanda bioquímica de oxígeno a los cinco días) y el COT (carbono orgánico total), y concentraciones de N (nitrógeno) y P (fósforo). Como parámetros adicionales – opcionales – se proponen el pH y la temperatura, con la finalidad de mostrar los rendimientos que se alcanzan en este tipo de humedales. Los métodos analíticos fueron extraídos del “Manual de fitodepuración. Filtros de macrófitas en flotación”, “tratamiento de aguas residuales” y de los métodos normalizados de la APHA, AWWA y WPCF.

3. Objetivos, Avances y Resultados

Con nuestro trabajo queremos dar a conocer y promover, en un principio en nuestra comunidad educativa, la importancia marcada en el tratamiento de efluentes y en el cuidado del agua, e impulsar a nuestros ingenieros a adquirir los conocimientos necesarios para llevar adelante de manera adecuada el desarrollo sustentable.

Como objetivos específicos proponemos:

- Estudiar las propiedades físicas de las muestras obtenidas.
- Analizar el comportamiento del fluido en estudio.
- Evaluar la calidad de los efluentes de las plantas seleccionadas.
- Determinar, bajo condiciones controladas de laboratorio, la eficiencia de los medios orgánicos escogidos. Figura 1.



Figura 1. Toma de muestras de aguas residuales.

Debido a que el proyecto es integrador de conocimientos, existen dos etapas bien marcadas en las que se estructura el trabajo. Una de ellas consiste en recuperar los conceptos adquiridos en primer nivel de la

carrera, en Física I, en especial lo atinente a Estática y Dinámica de los fluidos. En una segunda etapa, los conceptos en juego se refieren a aspectos trabajados en el quinto nivel de la carrera Ingeniería Civil, en la asignatura Ingeniería Sanitaria. Luego de las clases teóricas acerca de la temática particular de la primera etapa, se procederá a realizar práctica áulica refiriendo a situaciones problemáticas que se asemejen a la labor experimental a realizar. Se iniciará la fase experimental con la toma de muestras del efluente en las plantas de tratamiento de AR (Aguas Residuales), a la entrada y la salida del tratamiento primario, a la salida del tratamiento secundario. Dado que los HAFS (Humedales artificiales de flujo superficial) se suelen emplear a modo de tratamiento terciario, se hará también una toma de muestra a la salida del tratamiento terciario propuesto con plantas acuáticas. Algunas de ellas se observan en la Figura 2.

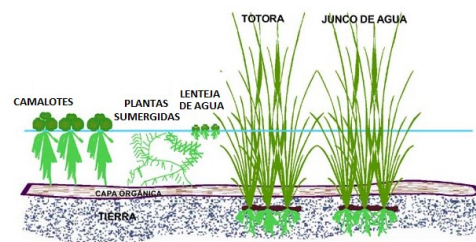


Figura 2. Algunos ejemplos de plantas macrofitas.

Dado que las aguas afluentes poseen por lo general características muy variadas en función del grado de depuración alcanzado en las etapas previas, se ha optado para el diseño experimental del estudio las siguientes variables: la DQO (demanda química de oxígeno), la DBO (demanda bioquímica de oxígeno) y el COT (carbono orgánico total), y concentraciones de N (nitrógeno) y P (fósforo). Como parámetros adicionales – opcionales – se proponen el pH y la temperatura, con la finalidad de mostrar los rendimientos que se alcanzan en este tipo de humedales. Las cargas hidráulicas anuales y las necesidades específicas de superficie de los sistemas de plantas flotantes son similares a las de los sistemas de humedales. El clima es un factor limitativo en su rendimiento, ya que las plantas sólo crecen a determinadas temperaturas. Estos cultivos

acuáticos suelen utilizarse como sistema de afino incorporados a otra cadena de procesos, empleándose generalmente como tratamiento terciario. En operaciones bien controladas, en las que las plantas se cosechan periódicamente, se pueden alcanzar rendimientos altos en la depuración. La carga orgánica admitida por estos procesos es del orden de 30 a 50 kg/ha/día, lo que para aguas de moderada carga contaminante ($\text{DBO}_5 < 240 \text{ mg/l}$), significa una carga hidráulica del orden de 6 m/año. Asimismo, se irán determinando las propiedades físicas de los fluidos en estudio, tales como: densidad, viscosidad absoluta, volumen específico, peso específico. También hallaremos el valor de las fuerzas aplicadas sobre las paredes y la base del recipiente, así como las presiones desarrolladas, aplicaremos Principio de Pascal, Principio de Arquímedes y Ley de Bernoulli, para analizar comportamiento del fluido y empuje sobre las especies acuáticas macrófitas.

Reseñamos a continuación un resumen de los ensayos a desarrollar:

. Demanda Química de Oxígeno (DQO)

La DQO corresponde al volumen de oxígeno requerido para oxidar la fracción orgánica de una muestra de agua. Esta medida corresponde a una estimación de las materias oxidables presentes en el agua, ya sea su origen orgánico o inorgánico.

Su determinación debe realizarse rápidamente después de la toma de muestras, para evitar la oxidación natural. La misma podría conservarse un cierto tiempo si se acidifica con ácido sulfúrico hasta $\text{pH} = 2-3$, pero esta opción pierde fiabilidad en presencia de cloruros.

El ensayo de determinación de DQO al dicromato se utiliza ampliamente para establecer la contaminación en materia orgánica de aguas residuales. El mismo se lleva a cabo en condiciones definidas, donde ciertas materias contenidas en el agua se oxidan con un exceso de dicromato potásico, en medio ácido y en presencia de sulfato de plata y de sulfato de mercurio.

. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)

La DBO se usa como una medida de la cantidad de oxígeno requerido para la

oxidación de la materia orgánica biodegradable presente en la muestra de agua y como resultado de la acción de oxidación bioquímica aerobia.

Si cierta cantidad del agua a analizar se introduce en un recipiente, y éste se cierra herméticamente, se crea un sistema que contiene el agua a analizar, con su flora bacteriana y aire, el cual contiene un 21% de oxígeno. En un tiempo determinado, los microorganismos consumen todo o parte del oxígeno contenido en el sistema al degradar la materia orgánica, liberando una cierta cantidad de anhídrido carbónico gaseoso. Suponiendo que se inhibe la nitrificación y que se retira del sistema el CO_2 gaseoso producido, la depresión que se registra en el sistema se deberá exclusivamente al descenso de la presión parcial del oxígeno, como consecuencia del consumo de oxígeno en la oxidación biológica de la materia orgánica. A continuación, se describe la determinación de DBO con un periodo de incubación de cinco días (DBO_5) en biómetros diseñados a tal efecto (WTW-Oxitop). Estos biómetros están dotados de tapones con dispositivos de lectura de la presión parcial de los frascos. La captación del CO_2 gaseoso producido se efectúa por reacción con OHNa , que ha de disponerse al comienzo del ensayo en una cápsula diseñada a tal efecto, en el sistema.

. Carbono Orgánico Total (COT)

El carbono orgánico de las aguas limpias y residuales corresponde a diversidad de compuestos orgánicos en varios estados de oxidación. Algunos de tales compuestos del carbono pueden ser sometidos a una oxidación posterior por procesos químicos o biológicos; el DBO y el de DQO pueden utilizarse para caracterizar dichas fracciones. El carbono orgánico total (COT) es una expresión más conveniente y directa del contenido orgánico total que el DBO o el DQO, pero no proporciona la misma clase de información. A diferencia del DBO o del DQO, el COT es independiente del estado de oxidación de la materia orgánica y no mide otros elementos orgánicos, tales como el nitrógeno y el hidrógeno, o inorgánicos que puedan contribuir al requerimiento de oxígeno medido por el DBO o el DQO. La

determinación del COT no sustituye las pruebas de DBO o DQO.

Para determinar la cantidad de carbono orgánico, las moléculas orgánicas deben romperse en unidades de carbono simples y ser convertidas en una forma molecular sencilla que pueda medirse de forma cuantitativa. Los métodos de COT utilizan calor y oxígeno, irradiación ultravioleta, oxidantes químicos, o combinaciones de dichos oxidantes para convertir el carbono orgánico en dióxido de carbono (CO_2). El CO_2 puede medirse directamente en un analizador infrarrojo no dispersivo, puede ser reducido a metano y medido con un detector de ionización de llama, o puede ser titulado químicamente.

. Método de oxidación húmeda (o manual) para determinar el COT

Este método consiste en la oxidación de la muestra en una solución de dicromato potásico ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$), ácido sulfúrico fumante (H_2SO_4), yodato potásico (KIO_3) y ácido fosfórico (H_3PO_4). Los productos de la oxidación se hacen pasar a través de un tubo conteniendo hidróxido potásico, donde el dióxido de carbono recogido se determina pesando el tubo de absorción antes y después del experimento. (Díaz de Santos, 1992; Ramalho, 1993)

. Fósforo

Este componente puede encontrarse en las aguas residuales disuelto o en partículas, ya sea en compuestos orgánicos o inorgánicos. Su eliminación es una operación importante, debido a que juega un papel crítico en la eutrofización (proceso natural de envejecimiento de los lagos; la contaminación acelera este proceso y acorta la vida del receptor acuático). Para esto es necesario someter la muestra a un proceso de digestión ácida. Luego, el fósforo estará en forma de ortofosfatos, que se determinan por métodos colorimétricos. (Ramalho, 1993)

. Determinación de Ph

Este ensayo se basa en la capacidad de respuesta del electrodo de vidrio ante soluciones de diferente actividad de iones H^+ . La fuerza electromotriz producida en el electrodo de vidrio varía linealmente con el pH del medio.

Se debe tener en cuenta la temperatura de la muestra ya que esta fuerza electromotriz afecta al valor del pH.

. Determinación de la Temperatura

La lectura de temperatura se utiliza en el cálculo de diversas formas de alcalinidad, en estudios de saturación y estabilidad respecto al carbonato de calcio, en el cálculo de la salinidad y en las operaciones generales de laboratorio. Las temperaturas elevadas, consecuencia de descargas de agua calentada, pueden tener un impacto ecológico significativo. Las plantas industriales suelen pedir datos de temperatura del agua para uso sistemático o cálculos de transmisión de calor.

Puesta en marcha y operación: para dar inicio al procedimiento experimental, seleccionadas las macrófitas, se confeccionarán 4 (cuatro) acuarios, con capacidad de 84 litros, de 70x40x30, con vidrio de 5mm.

En cuanto a las macrófitas escogidas, trabajaremos con las denominadas “lentejas de agua”, nombre común con el que se conoce la planta acuática *Spirodela polyrhiza*, una pequeña planta que flota libre sobre las superficies de aguas estancadas, de la especie *Lemna Minnor*, Figura 3 y con los denominados “camalotes”, *Eichhornia crassipes*, Figura 4.

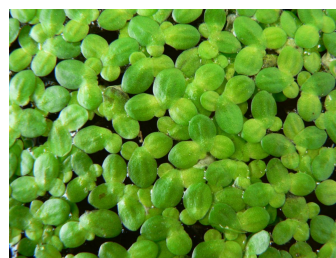


Figura 3. *Lemna minnor*, conocida como “lenteja de agua”.



Figura 4. *Eichhornia crassipes*, conocidas como “camalotes”.

Tal como se presenta, en estos primeros meses de avance del proyecto hemos efectuado una búsqueda y revisión bibliográfica para documentar la información disponible acerca de la temática del proyecto. Hemos definido las variables a estudiar y establecido pautas para el diseño del protocolo para el ensayo experimental.

Destacamos además la preparación de material a trabajar con los alumnos de primer ciclo, para integrar a la Física de fluidos con los conceptos que deben recuperar los alumnos cursando Ingeniería Sanitaria, del último año de la carrera Ingeniería Civil.

Si bien no podemos aún dar valores de resultados obtenidos, podemos dar cuenta del avance en la formación del equipo de trabajo, lo que se hace visible en los seminarios internos hasta el momento realizados.

4. Formación de Recursos Humanos

Nuestro proyecto integra los conocimientos desde las ciencias básicas, avanzando hasta los conceptos aportados por la Ingeniería Sanitaria, en el último año de la carrera Ingeniería Civil. Avanzaremos en el estudio de la calidad de los efluentes de las plantas seleccionadas, análisis de su eficiencia y obtención de una propuesta de tratamiento final que resulte beneficiosa a la comunidad. La formación de ingenieros con una visión integral y no parcial de las competencias adquiridas a lo largo de su formación académica, resulta imprescindible. Por lo que aspiramos a que, desde todas las áreas de las carreras de ingeniería, particularmente la ingeniería Civil, se haga visible esta necesidad. Asimismo, valoramos la formación de los propios docentes integrantes del proyecto, en su faceta académica, así como profesional.

Nuestro equipo se formó inicialmente con un director, un co-director, tres investigadores de apoyo y una becaria. Actualmente se nos han sumado dos becarios más. El equipo se encuentra en etapa de estudio de antecedentes y relevamiento de diversos humedales.

5. Publicaciones relacionadas con el PID

Roldán, S., Suárez, C. y Gon, F. (2017) *Gestión sostenible del agua residual. Estudio de casos*. ISBN 978-987-1896-84-4

Suárez, C., Roldán, S. y Gon, F. (2017) *La Física y la gestión sostenible del agua residual. Una mirada integral a un problema de ingeniería*. ISSN 2250-6101

Referencias

Bokova, I. (2017) *Aguas Residuales: el recurso no explotado*. Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo 2017.

-Estudio de depuración de aguas residuales. (1995) Editorial Ministerio de Defensa-Secretaría General Técnica. España.

Kadlec, R., Knight, R., Vymazal, J., Brix, H., Cooper, P., Haberl, R. (2000) *Constructed Wetlands for Pollution Control*. Editorial Espasa Calpe.

Mantecón Gómez R, Martín Machuca, M y Cantos Robles, R. (1991). *Depuración de aguas residuales de origen urbano mediante técnicas de infiltración rápida en el suelo*. III Simposio del Agua en Andalucía. vol. II. 391-401. Córdoba.

Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. APHA, AWWA, WPCF. (1992) 17ª Edición. Ed. Díaz de Santos S.A.

Ramallo, R. S. (1993) *Tratamiento de aguas residuales*. Reverté.

Romero Rojas, J. (2003) *Tratamiento de aguas residuales por lagunas de estabilización*. Editorial Alfaomega.