



DE 14 À 19 DE OUTUBRO DE 2024  
DEL 14 AL 19 DE OCTUBRE DE 2024

# V SLACTIA

SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO EM AGROPECUÁRIA  
SIMPOSIO LATINOAMERICANO DE CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN EN LA AGROPECUARIA

## RECURSOS NATURALES Y PROTECCION DEL MEDIO AMBIENTE

### EFFECTO FITORREMEDIADOR DE LAS ESPECIES *Lemna valdiviana*, *Spirodella intermedia*, *Wolffiella oblongata* y *Wolffia brasiliensis*, EN PARÁMETROS QUÍMICOS EN AGUAS RESIDUALES URBANA

Msc. Viviana Reynoso <sup>1</sup>

Msc. Facundo Bonino <sup>2</sup>

Dra. Claudia Rodriguez<sup>3</sup>

**Resumen:** La depuración de las aguas residuales urbanas, industriales o de origen agropecuario se ha convertido en uno de los retos ecológicos, económicos y sociales más acuciantes del planeta. Debido al aumento de la población mundial y a la escasez de agua potable como recurso hídrico, nos enfrentamos al desafío de generar tecnologías de tratamiento para lograr que las aguas residuales ocasionen el menor impacto ambiental posible. El objetivo de la presente investigación fue determinar el efecto fitorremediador de las especies *Lemna valdiviana*, *Spirodella intermedia*, *Wolffiella oblongata* y *Wolffia brasiliensis*, en parámetros químicos (SDT, DBO, DQO) en aguas residuales urbanas. Para el desarrollo del estudio se realizó un diseño completamente aleatorizado de dos tratamientos con cinco repeticiones. Se utilizó agua residual (REU) proveniente de la planta Tratamiento de Aguas Residuales Urbanas de la UNRC y agua residual tratada (REUt) proveniente de un biorreactor sembrado con las especies de macrófitas acuáticas. Se concluyó que las diferentes especies de *Lemna spp.* poseen capacidad fitorremediadora y producen mejoras significativas en la calidad de las aguas residuales ( $p < 0,05$ ). Las técnicas utilizadas en este trabajo constituyen una línea de base y podrán servir a los fines de disminuir los riesgos potenciales para la salud pública y animal, minimizando el impacto ambiental provocado por los efluentes sin tratamiento, implementando tecnologías no convencionales de bajo costo.

**Palabras claves:** macrófitas acuáticas, biorremediación, aguas residuales, remoción

---

<sup>1</sup> Área de Matemática-Departamento de Estudios Básicos y Agropecuarios-Facultad de Agronomía y Veterinaria-UNRC.

<sup>1</sup> Cátedra de Ecología-Departamento de Estudios Básicos y Agropecuarios-Facultad de Agronomía y Veterinaria-UNRC.

## 1. INTRODUCCIÓN

El objetivo del tratamiento en las aguas residuales es remover sólidos, aceites y grasas entre otros componentes. A través de varias investigaciones se han identificado especies de plantas acuáticas que tienen la capacidad de fitorremediación (Baréa y Sobrinho, 2006), el nombre común de lenteja de agua se aplica a la familia Lemnaceae y comprende cuatro géneros *Lemna*, *Spirodela*, *Wolffia* y *Wolffiella* (Appenroth et al., 2010).

El aspecto externo de las lentejas de agua, comprende de un pequeño cuerpo verde (de 1 a 15 mm de longitud) redondeado denominado fronde, puesto que no se distingue la hoja del tallo, en la parte inferior del fronde puede existir una raíz (*Lemna* sp.), varias raíces (*Spirodela*), o ninguna (*Wolffia* y *Wolffiella*) dependiendo de la especie que se trate.

Dentro de los principales constituyentes que se pueden encontrar en las aguas residuales se cita a los sólidos suspendidos totales, materiales orgánicos e inorgánicos, los cuales constituyen motivo de estudio para su eliminación, estableciendo diversas estrategias y de esta manera contribuir al desbalance hídrico, dado que se puede reutilizar el agua del efluente tratado (Deniz et al., 2010). El contenido de los sólidos se encuentra representado por las partículas visibles y coloidales que se encuentran en la masa de aguas residuales que contiene materia orgánica entre los cuales se cita a los carbohidratos, celulosa, partículas de fibra, quitina, elementos orgánicos y sustancias químicas inorgánicas (Crispin 2009). La materia orgánica es una de las características fundamentales por su impacto en el medio y el uso posterior de las aguas. Los parámetros para evaluar las medidas de materia orgánica son, la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) y la Demanda Química de Oxígeno (DQO).

En sistemas de tratamiento estrictamente acuáticos, se utilizan plantas de flotación libre (Mishra, 2007), como son el jacinto de agua (*Eichornia crassipens*) y las lentejas de agua (*Lemna* sp).

Las macrófitas remueven contaminantes por asimilación directa dentro de sus tejidos, además proveen una superficie de contacto, transferencia de oxígeno dentro de la zona radicular y un ambiente adecuado para que los microorganismos transformen y reduzcan las concentraciones de contaminantes (ALBALDAWI 2022).

Existen varias especies de macrófitas de agua dulce que pueden ofrecer grandes posibilidades en el tratamiento de efluentes contaminantes, Mujahid Farid (2022), sostiene que el abanico de especies que se utiliza en fitodepuración es reducido. Se restringe a especies helófitas o emergentes, debido a que los sistemas más desarrollados son los de flujo superficial y sub-superficial. En estos sistemas las plantas utilizadas son las totoras (*Typha* spp.), el carrizo (*Phragmites australis*) y los juncos (*Scirpus* spp.) que son higrófitos.

Los sistemas de depuración convencionales de las aguas residuales varían en función del nivel de tratamiento conseguido (Deniz et al., 2010) y se clasifican en primarios, secundarios y terciarios. Estos sistemas son métodos de tipo intensivo, costosos y sofisticados que requieren de mano de obra especializada (Ichinari et al., 2008).

Shubio et al. (2011), proponen los llamados sistemas blandos o no convencionales para el tratamiento de aguas residuales. Son sistemas que tienen un consumo energético relativamente bajo por esto son menos costosos y complejos en cuanto a operación y mantenimiento, requiriendo personal menos especializado.

Un tipo de sistema blando es el de los fitosistemas, en los que se utiliza la energía solar a través del proceso de fotosíntesis (Baréa y Sobrinho, 2006). Entre estos sistemas se encuentran los lagunajes (algas y bacterias suspendidas en el agua), filtros verdes en base a especies herbáceas o leñosas y humedales artificiales constituidos por macrófitas acuáticas.

## **2. METODOLOGIA**

### **2.1 Área de Estudio y Descripción de Variables**

El estudio se llevo a cabo en el campus de la Universidad Nacional de Rio Cuarto, donde se encuentra localizada la Planta Piloto de Tratamiento y Reutilización de Aguas Residuales Urbanas, próxima al complejo habitacional de residencias estudiantiles universitarias (REU) de 432 habitantes, (33°07' S, 64°14' W y a 421 msnm). Aclarar aca que significa REUt (Efluente tratado)

### **2.2 Muestreo y recolección de datos**

La metodología de toma de muestras, almacenamiento, conservación, transporte y técnicas analíticas se realizaron de acuerdo a métodos APHA (2000).

Las muestras para la caracterización de los parámetros químicos del REU, fueron tomadas del caño de captación, iniciando el ensayo en primavera y se continuaron en verano, otoño, invierno y nuevamente la primavera del año siguiente.

Las muestras de REUt fueron tomadas del reactor biológico.

El muestreo de aguas REU y REUt se llevó a cabo cada treinta días estacionalmente implicando una recolección de tres muestras para cada una de las estaciones considerada, dando origen a 5 valores medios para cada uno de los parámetros en estudio. Es decir, se consideraron 5 repeticiones, uno en cada estación del año en el que cada uno de esos valores consistió en la media tres muestreos estacionales.

Se tomaron muestras de 1 litro de cada unidad experimental, colocadas en recipientes plásticos estériles, etiquetados y enviados al laboratorio certificado. Las variables estudiadas fueron: SDT, DBO y DQO para cada uno de los tratamientos los tratamientos REU y REUt,

### **2.3 Análisis físico –químicos**

En laboratorio se analizaron sólidos disueltos totales (SDT) y se determinaron además, DBO<sub>5</sub> (parte 5210, Método de dilución: 5 días- 20 °C), DQO (parte 5220- D, Reflujo cerrado, Método Calorimétrico), (US EPA, 1976; APHA, 2000).

### **2.4. Análisis estadístico de los datos**

Para conocer si existían diferencias estadísticas significativas en los valores medios poblacionales de las variables en estudio para cada uno de los tratamientos se realizo, en primera instancia, una estadística descriptiva y luego un análisis inferencial.

El Análisis exploratorio de los datos se realizó mediante la construcción de una tabla de medidas resumen de tendencia central y dispersión (Tabla1) y un gráfico de barras.

Para extraer conclusiones a nivel poblacional se realizó una prueba t, ésta es una técnica estadística que compara las medias de dos grupos independientes para determinar si hay una diferencia significativa entre ellas.

Las hipótesis que se contrastan en la misma son:

Hipótesis nula ( $H_0$ ): Las medias de las dos poblaciones son iguales, es decir, no hay diferencia significativa entre ellas.

Hipótesis alternativa ( $H_1$ ): Las medias de las dos poblaciones son diferentes, es decir, hay una diferencia significativa entre ellas.

En términos estadísticos:

$H_0: \mu_1 = \mu_2$  y  $H_1: \mu_1 \neq \mu_2$  La decisión se toma en función del valor  $p$  obtenido y un nivel de significancia ( $\alpha$ ) predefinido, como 0,05. Si el valor  $p$  es menor que  $\alpha$ , se rechaza la hipótesis nula.

Los datos obtenidos en cada variable estudiada fueron procesados con el paquete estadístico InfoStat versión 2022.

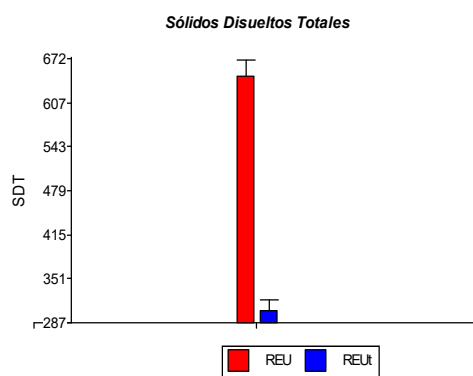
. se realizó un análisis estadístico descriptivo y luego una prueba  $t$  para muestras independientes.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 Sólidos Disueltos Totales (SDT)

*Tabla 1: Medidas resumen para la variable Sólidos Disueltos Totales*

| Tratamiento | Resumen | SDT    |
|-------------|---------|--------|
| REU         | n       | 5,00   |
| REU         | Media   | 646,29 |
| REU         | D.E.    | 51,35  |
| REU         | Mín     | 598,00 |
| REU         | Máx     | 722,00 |
| REU         | Mediana | 627,00 |
| REUt        | n       | 5,00   |
| REUt        | Media   | 304,38 |
| REUt        | D.E.    | 36,18  |
| REUt        | Mín     | 264,70 |
| REUt        | Máx     | 354,67 |
| REUt        | Mediana | 301,57 |



Fuente: Elaboración propia

El análisis inferencial realizado mediante la prueba  $t$  se muestra a continuación:

Variable:SDT - Clasific:Tratamiento - prueba:Bilateral

|                      | Grupo 1 | Grupo 2 |
|----------------------|---------|---------|
|                      | REU     | REUt    |
| n                    | 5       | 5       |
| Media                | 646,29  | 304,38  |
| Media (1) -Media (2) | 341,91  |         |
| LI (95)              | 277,13  |         |
| LS (95)              | 406,69  |         |
| pHomVar              | 0,5145  |         |
| T                    | 12,17   |         |
| p-valor              | <0,0001 |         |

Beascoechega *et al*, 2005, observaron que las aguas residuales urbanas con un nivel alto de contaminación presentan valores de SDT que oscilan en un rango de 200 a 500 mg.L<sup>-1</sup>. Los valores encontrados en el

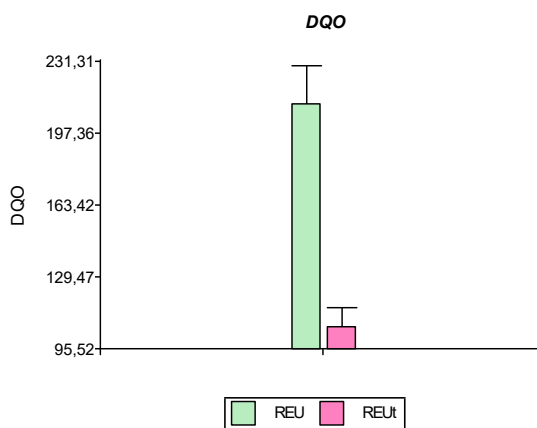
REUt bajaron notablemente si se comparan con el REU, estas disminuciones podrían deberse a una de las principales funciones realizadas por las macrófitas, que es la filtración de los sólidos a través del entramado que forma su sistema radicular (Almeida Mohedano, 2005), o también podría deberse a la depuración que ejercen las funciones de desbaste, reteniendo los sólidos gruesos arrastrados por el agua residual, lo que favorece la floculación y sedimentación de partículas en suspensión (Karathanasis, 2003), situación que coincide con los resultados obtenidos.

### 3.2 Demanda química de Oxígeno (DQO)

El Análisis exploratorio de los datos se realizó mediante la construcción de una tabla de medidas resumen (Tabla2) y un gráfico de barras

*Tabla 2: Medidas resumen para la variable DQO*

| Tratamiento | Resumen | DQO    |
|-------------|---------|--------|
| REU         | n       | 5,00   |
| REU         | Media   | 211,00 |
| REU         | D.E.    | 41,29  |
| REU         | Mín     | 160,00 |
| REU         | Máx     | 260,00 |
| REU         | Mediana | 215,00 |
| REUt        | n       | 5,00   |
| REUt        | Media   | 105,62 |
| REUt        | D.E.    | 20,53  |
| REUt        | Mín     | 80,50  |
| REUt        | Máx     | 130,20 |
| REUt        | Mediana | 106,60 |



Fuente: Elaboración propia

El análisis inferencial realizado mediante la prueba *t* se muestra a continuación:

*Variable:DQO - Clasific:Tratamiento - prueba:Bilateral*

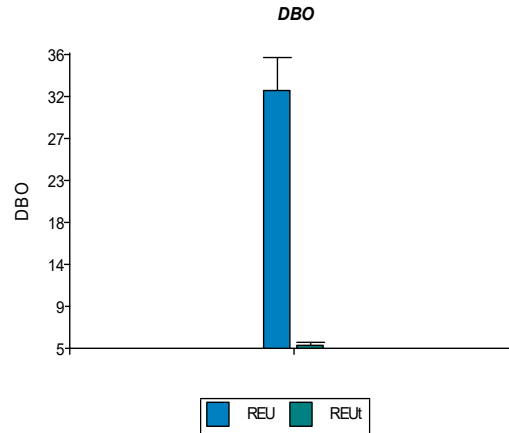
|                      | Grupo 1 | Grupo 2 |
|----------------------|---------|---------|
|                      | REU     | REUt    |
| n                    | 5       | 5       |
| Media                | 211,00  | 105,62  |
| Media (1) -Media (2) | 105,38  |         |
| LI (95)              | 57,82   |         |
| LS (95)              | 152,94  |         |
| pHomVar              | 0,2046  |         |
| T                    | 5,11    |         |
| p-valor              | 0,0009  |         |

La DQO estima el oxígeno necesario para oxidar químicamente toda la materia orgánica contenida en la muestra de agua (Mishra et al., 2007), las aguas residuales urbanas presentan valores de DQO que oscilan entre 150 y 800 mg.L<sup>-1</sup>. Panigatti et al (2009), en su trabajo la “Influencia en el agua subterránea de lagunas de tratamiento en tambos”, encontraron valores de DQO que oscilan entre 1198 mg.L<sup>-1</sup> y 4353 mg.L<sup>-1</sup>. Si se comparan estos valores con los obtenidos, se observa que la DQO baja su concentración en el REUt respecto del REU según lo esperado.

### 3.3 Demanda Biológica de Oxígeno (DBO)

El Análisis exploratorio de los datos se realizó mediante la construcción de una tabla de medidas resumen (Tabla 3) y un gráfico de barras.

| Tratamiento | Resumen | DBO   |
|-------------|---------|-------|
| REU         | n       | 5,00  |
| REU         | Media   | 32,40 |
| REU         | D.E.    | 7,77  |
| REU         | Mín     | 25,00 |
| REU         | Máx     | 45,00 |
| REU         | Mediana | 30,00 |
| REUt        | n       | 5,00  |
| REUt        | Media   | 5,34  |
| REUt        | D.E.    | 0,76  |
| REUt        | Mín     | 5,00  |
| REUt        | Máx     | 6,70  |
| REUt        | Mediana | 5,00  |



Fuente: Elaboración propia

El análisis inferencial realizado mediante la prueba *t* se muestra a continuación:

Variable: DBO - Clasific: Tratamiento - prueba: Bilateral

|                      | Grupo 1 | Grupo 2 |
|----------------------|---------|---------|
|                      | REU     | REUt    |
| n                    | 5       | 5       |
| Media                | 32,40   | 5,34    |
| Media (1) -Media (2) | 27,06   |         |
| LI (95)              | 17,37   |         |
| LS (95)              | 36,75   |         |
| pHomVar              | 0,0005  |         |
| T                    | 7,76    |         |
| p-valor              | 0,0015  |         |

La DBO representa la cantidad de oxígeno disuelto que se consume en un agua residual durante 5 días a 20°C por efecto de la oxidación biológica de la materia orgánica biodegradable presente en el agua residual (Spellman *et al.*, 2004). En su trabajo con tecnologías no convencionales para el tratamiento de aguas residuales Martin *et al.* (2007), hallaron concentraciones de DBO que oscilan entre 697 mg.L<sup>-1</sup> y 2840 mg.L<sup>-1</sup>, por otra parte sostienen que las aguas residuales urbanas presentan valores de DBO que oscilan entre 100 y 300 mg.L<sup>-1</sup>. Si se comparan estos valores con los obtenidos, se observa que la DBO baja su concentración en el REUt respecto del REU según lo esperado.

### 4. CONCLUSIONES

En este trabajo se consideró el uso potencial de la macrófitas flotantes (Lemnaceae) para mejorar la calidad del agua residual de la Planta Piloto de Tratamiento y Reutilización de Aguas Residuales Urbanas de la UNRC.

La implementación del tratamiento con macrófitas mostró variaciones en las concentraciones de cada parámetro analizado en el REUt en las distintas estaciones del año, durante los períodos 2007-2008.

Las experiencias de laboratorio demuestran la viabilidad de este tratamiento con macrófitas, de acuerdo a los parámetros químicos evaluados.

Esto quedó de manifiesto con la reducción de los valores de los principales indicadores de la calidad de agua, como DBO, DQO y SDT.

Las especies *Lemna valdiviana*, *Spirodella intermedia*, *Wolffiella oblongata* y *Wolffia brasiliensis* en conjunto, son capaces de reducir los parámetros mencionados a las concentraciones requeridas por los normativas vigentes tanto nacionales como provinciales.

Este sistema ofrece una tecnología de muy bajo costo, efectiva y ambientalmente sustentable, para el tratamiento de aguas residuales de origen urbano que podrían ser utilizadas en comunidades pequeñas, medianas y rurales.

Por último, este trabajo puede considerarse como una contribución al conocimiento de líneas de base para los parámetros analizados en aguas residuales urbanas a tener en cuenta en investigaciones futuras.

## 5. REFERENCIAS

- AGUNBIADE, F. O. Phytoremediation potential of *Eichornia crassipes* in metal-contaminated coastal water. *Bioresource Technology* Volumen 100, Issue 19, Pp. 4521-4526. 2009.
- AL-BALDAWI. Removal of copper by *Azolla filiculoides* and *Lemna minor*: phytoremediation potential, adsorption kinetics and isotherms. 2022.
- APHA. Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water. American Public Health Association, New York. 17 th Edition. 2000.
- APPENROTH, K. J. Effects of nickel on the chloroplasts of the duckweeds *Spirodela polyrrhiza* and *Lemna minor* and their possible use in biomonitoring and phytoremediation. *Chemosphere* 78.216-223. 2010.
- BARÉA, C. L.; P. ALEM SOBRINHO. Comportamiento de una laguna de pulido en la región metropolitana de Curitiba, Brasil y estudio de utilización de lentejas de agua para mejorar la calidad de l efluente. *AIDIS. Ingeniería Sanitaria y Ambiental*. N° 94. Argentina. 2006
- BEASCOCHEA, E M. Manual de Fitodepuración. Filtros de macrófitas en flotación. Madrid. 2005.
- CRISPIM, M.C. Nutrient uptake efficiency by macrophyte and biofilm: practical strategies for small-scale fish farming. *Acta Limnol. Bras.*, vol. 21, no. 4, p. 387-391. 2009.
- DENIZ, F. New quality criteria in wastewater reuse. The case of Gran Canaria. *Desalination*. 250.716-722. 2010.
- ICHINARI, T. Wastewater treatment performance and reduction properties of a household wastewater treatment system combined with an aerobic sludge digestion unit. *Process Biochem.* 43, 722-728. 2008.

- KARATHANASIS, A.D. Vegetation effects on fecal bacteria, BOD, and suspended solid removal in constructed wetlands treating domestic wastewater. *Ecological Engineering* 20: 157-169.2003.
- MARTIN, I. Contribution of non-conventional technologies for sewage treatment to improve the quality of bathing waters (ICREW project). 2007.
- MISHRA, V. M. Heavy metal pollution induced due to coal mining effluent on surrounding aquatic ecosystem and its management through naturally occurring aquatic macrophytes. *Bioresource Technology*. 2007.
- MUJAHID FARID. Fitorremediación de aguas residuales industriales contaminadas mediante lenteja de agua (*Lemna minor* L.): Crecimiento y respuesta fisiológica ante la aplicación de ácido acético. 2022.
- PANIGATTI, C. M. Influence of Dairy Treatment Ponds in Underground water. AIDIS. Trabajo Poster. Aguas Residuales Industriales. IV. Argentina. 2009
- SPELLMAN FRANK R. Manual del agua potable. Ed. Acribia, S.A. –Royo, 23-50006 Zaragoza (España). 2004.
- SHUBIO, W. Performance of integrated household constructed wetland for domestic wastewater treatment in rural areas. *Ecological Engineering*. 2011.