



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE RIO CUARTO**  
Facultad de Agronomía y Veterinaria

**EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE MACROFITAS  
ACUÁTICAS FLOTANTES (*Lemnaceae*) PARA DEPURAR  
AGUAS RESIDUALES URBANAS**

**Viviana Reynoso**

*Tesis presentada para la obtención del grado de  
Magíster en Ciencias Agropecuarias*

*Mención: Impacto Ambiental*

**Director: Dra. Claudia Rodríguez**

**Codirector: Dr. Raúl Crespi**

**- 2012 -**

735-19

MFI.
Clasif:
T.916

**EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE MACROFITAS  
ACUÁTICAS FLOTANTES (*Lemnaceae*) PARA DEPURAR  
AGUAS RESIDUALES URBANAS**

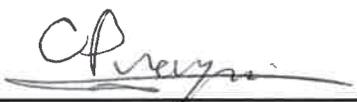
por  
**Viviana Reynoso**



---

**Dra. María Claudia Rodríguez**

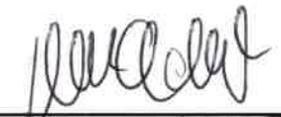
**APROBADA POR:**



---

Carlos Prosperi

**Jurado**



---

Mancini, M.

**Jurado**



---

MERCEDES IBANÉZ

**Jurado**

## AGRADECIMIENTOS

*A Dios por permitirme vivir esta vida maravillosa, llena de bendiciones.*

*A la Universidad Nacional de Río Cuarto por brindarme la posibilidad de crecer profesionalmente en el marco de una educación pública, gratuita y de puertas abiertas a todos.*

*A mi directora, la Dra. Claudia Rodríguez, por brindarme sus conocimientos, sus consejos, sus críticas y su apoyo incondicional en el desarrollo y culminación de esta tesis y a mi amiga Claudia Rodríguez por permitirme creer que los sobrevivientes podemos alcanzar las metas que nos proponemos a pesar de todo y de todos.*

*A mi codirector, el Dr. Raúl Crespi, por brindarme su colaboración y dedicación en el desarrollo y culminación de esta tesis.*

*A la Sra. Mary Aromataris, por su colaboración comprometida y responsable que permitió la compaginación de mi tesis, gracias Mary por ser una persona maravillosa, una persona de bien.*

*A mi hijo Federico, por ser mi razón de vivir, por darle sentido y dignidad a mi vida.*

*A Juan, por su amor, su contención, su confianza, su dedicación, su respeto, por animarte a crecer a mi lado, por ser la persona con la que he decidido envejecer, por todo Juan, gracias.*

*A mi madre por darme la vida y haberme enseñado a abrazar y dar amor.*

*A mi hermana del alma, mi ángel en la tierra, Marilyn por estar siempre y su incondicional amistad.*

*A mis hermanos por existir y ser parte de mi vida, deseo sinceramente que todos sus proyectos y metas se logren, solo es cuestión de perseverancia, responsabilidad, y tiempo.*

*A mi hijo rubio, por permitirme ser parte de su vida, por los momentos compartidos, por su curiosidad, por su ternura, gracias Panchito.*

*A mi hermana, amiga, tía, la Ing. Lidia Reynoso por todo y además gracias Yayù por enseñarme a escuchar a los números.*

*A mi amiga, la Ing. Claudia Ledesma por su amistad, su apoyo, su fuerza, fuimos y somos un gran equipo...*

*A toda mi familia cuñados, sobrinos, primos, tíos, ahijados, por ser un gran familia con sus diferencias pero con mucho amor.*

*A mis amigos por su sincera amistad, por estar siempre y hacer mi vida más dulce.*

*A mis compañeros de trabajo por los momentos compartidos y la buena onda y predisposición para trabajar.*

## 1. RESUMEN

La depuración de las aguas residuales urbanas, industriales o de origen agropecuario se ha convertido en uno de los retos ecológicos, sociales y económicos más acuciantes del planeta. Debido al aumento de la población mundial y a la escasez de agua potable como recurso hídrico, nos enfrenta al desafío de generar tecnologías adecuadas de tratamiento para lograr que las aguas residuales ocasionen el menor impacto ambiental posible. Los objetivos de este trabajo fueron evaluar la capacidad de las macrófitas acuáticas para depurar aguas residuales urbanas, determinar la calidad del agua residual y agua residual tratada a través de parámetros físico-químicos y biológicos, analizar la remoción de nutrientes y microorganismos potencialmente patógenos por macrófitas, determinar biomasa y la presencia de algas cianofíceas en el agua residual tratada. Para cumplir con las finalidades propuestas se tomaron muestras de agua residual no tratada (REU), agua residual tratada (REUt) y macrófitas acuáticas flotantes (M), pertenecientes a las especies *Lemna valdiviana*, *Spirodella intermedia*, *Wolffia oblongata* y *Wolffia brasiliensis*, cada treinta días durante las campañas 2007-2008. Se evaluaron parámetros físico-químicos y bacteriológicos, in situ y en laboratorio. Los valores de las variables físico-químicas y biológicas se analizaron estadísticamente. Los resultados obtenidos permitieron determinar la variabilidad entre las observaciones. El REUt presentó disminuciones con respecto al REU en todos los parámetros evaluados. La utilización de las macrófitas como tratamiento terciario de las aguas residuales, permitió remover las concentraciones de nutrientes y organismos potencialmente patógenos, disminuir los niveles de indicadores biológicos de contaminación en aguas tratadas mejorando la calidad de las mismas. Las herramientas y técnicas utilizadas en este trabajo constituyen una línea de base y podrán servir para futuras investigaciones en aguas residuales urbanas, 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.

## 1.ABSTRACT

The purification of urban sewage, industrial or agricultural origin has become one of the ecological challenges, most pressing social and economic planet. Due to the increase in world population and scarcity of drinking water and water resources, we face the challenge of generating appropriate treatment technologies to make wastewater cause minimal environmental impact. The objectives of this study were to evaluate the ability of aquatic macrophytes to debug urban wastewater, determine the quality of wastewater and treated wastewater by physico-chemical and biological nutrient removal analyze and potentially pathogenic microorganisms by macrophytes, determine biomass and the presence of blue-green algae in the treated wastewater. To meet the proposed objectives were sampled untreated wastewater (REU) treated wastewater (REUt) and floating aquatic macrophytes (M), the species *Lemna Valdivian Spirodella intermediate oblongata* and *Wolffia Wolffia brasiliensis*, every thirty days during the 2007-2008 campaigns. We evaluated physico-chemical and bacteriological, in situ and laboratory. The values of the physical variables and biological statistically analyzed. The results indicated the variability between observations. The REUt presented regarding the REU decreases in all parameters evaluated. The use of the macrophytes as tertiary treatment of sewage, allowing removal and nutrient concentrations potentially pathogenic organisms, lower levels of contamination of biological indicators in improving the quality treated water thereof. The tools and techniques used in this work are a baseline and can be used for further research on urban waste water in order to reduce potential risks to public and animal health, minimizing the environmental impact caused by untreated sewage, implementing unconventional technologies inexpensive.

<b>ÍNDICE DE CONTENIDOS</b>	<b>Pág.</b>
<b>1.- RESUMEN</b>	4
<b>2.- INTRODUCCION</b>	9
2-1. Antecedentes	9
2-2. Problemática de las aguas residuales	11
2-3. Características de las Aguas Residuales Urbana	12
2-3-1. Características físicas	13
2-3-2. Características químicas	13
2-3-3. Características bacteriológicas	14
2-4. Tratamiento de las Aguas Residuales	14
2-4-1. Etapas de un tratamiento convencional	15
2-5. Aspectos económicos	15
2-6. Uso de las aguas residuales	16
2-7. Macrófitas de interés en fitodepuración	16
2-8. Importancia del proyecto	22
2-9 HIPOTESIS	30
<b>3.- OBJETIVOS</b>	31
3-1. Objetivo General	31
3-2. Objetivos Específicos	31
<b>4.- MATERIALES Y METODOS</b>	32
4-1. Área de estudio	32
4-1-1. Ubicación y características	32
4-1-2. Características climáticas	32
4-1-3. Tratamiento del agua residual	32
4-2. Metodología de campo y laboratorio	35
4-2-1. Ejecución del muestreo	35
4-2-2. Análisis físico- químicos	35
4-2-3. Análisis bacteriológicos	36
4-2-4. Análisis filológicos	37
4-3. Determinación de biomasa	37
4-4. Análisis estadístico	38
<b>5.- RESULTADOS</b>	40
5.1 Resultados de parámetros físico-químicos y biológicos	40
5-2. Resultados análisis estadísticos de los datos	44
5-2-1. Diagrama de barras	44
5-2-2. Diagrama de barras. Diferencia de medias	52
5-2-3. Gráficos Biplots. ACP	59
5.2.4. Gráficos de estrellas	62
5-3 Análisis Ficológico	64
<b>6.- DISCUSION</b>	65
<b>7.- CONCLUSIONES</b>	71
<b>8.- REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS</b>	72

## 9.-

Figura N°	ÍNDICE DE FIGURAS	Pág.
1	<i>Spirodela sp.</i> , <i>Wolffia sp.</i> y <i>Wolffiella sp.</i>	18
2	<i>Wolffia oblongata</i>	19
3	<i>Lemna sp.</i> en caja de Petri.	20
4	Residencias Universitarias y Planta Piloto de Tratamiento y Reutilización de Efluentes Urbanos	32
5	Planta Piloto de Tratamiento y Reutilización de Efluentes Urbanos de la UNRC. Esquema de la secuencia de las lagunas.	33
6	Laguna con macrófitas (reactor biológico)	34
7	Tanque con <i>Lemna valdiviana</i> , <i>Spirodella intermedia</i> , <i>Wolffiella oblongata</i> y <i>Wolffia brasiliensis</i> .	35
8	Muestreo de macrófitas utilizando un cuadrante de cloruro de polivinilo (PVC)	38
9	Diagrama de barras para la Temperatura y pH del REU y REUt (2007-2008)	44
10-	Diagrama de barras para OD y CE del REU y el REUt (2007-2008)	45
11	Diagrama de barras para DBO y DQO del REU y el REUt (2007-2008)	45
12	Diagrama de barras para NT y PT del REU y el REUt (2007-2008)	46
13	Diagrama de barras para Nitritos-Nitratos y SDT del REU y el REUt (2007-2008)	46
14	Diagrama de barras para Bicarbonatos y Sulfatos del REU y el REUt (2007-2008)	47
15	Diagrama de barras para Cloruros y Sodio del REU y el REUt (2007-2008)	47
16	Diagrama de barras para Potasio y Calcio del REU y el REUt (2007-2008)	48
17	Diagrama de barras para Magnesio y Arsénico del REU y el REUt (2007-2008)	48
18	Diagrama de barras para Fluoruros del REU y el REUt (2007-2008)	49
19	Diagrama de barras para Recuento Total de Microorganismos (log (NMP+1)/mL) del REU y el REUt(2007-2008)	49
20	Diagrama de barras para Coliformes Totales (log (NMP+1)/mL) del REU y el REUtI, REUtO, REUtP y REUtV (2007-2008).	50
21	Diagrama de barras para Coliformes Fecales (log (NMP+1)/mL) del REU y el REUtI, REUtO, REUtP y REUtV (2007-2008).	51
22	Diagrama de barras para Hongos y Levaduras (log (NMP+1)/mL) del REU y el REUt (2007-2008).	51
23	Diagrama de barras de Temperatura y pH para REU y REUt en relación a las estaciones del año, con base al valor mínimo (2007-2008).	52
24	Diagrama de barras de OD y CE para REU y REUt en relación a las estaciones del año, con base al valor mínimo (2007-2008)	53
25	Figura N° 25. Diagrama de barras de SDT y Dureza Total para REU y REUt en relación a las estaciones del año, con base al valor mínimo (2007-2008).	53
26	Diagrama de barras de DBO y DQO para REU y REUt en relación a las estaciones del año, con base al valor mínimo (2007-2008).	54

27	Diagrama de barras de PT y NT para REU y REUt en relación a las estaciones del año, con base al valor mínimo (2007-2008)	54
28	Diagrama de barras de Bicarbonatos y Sulfatos para REU y REUt en relación a las estaciones del año, con base al valor mínimo (2007-2008)	55
29	Diagrama de barras de Nitritos-Nitratos y Arsenico para REU y REUt en relación a las estaciones del año, con base al valor mínimo (2007-2008)	55
30	Diagrama de barras de Cloruros y Sodio para REU y REUt en relación a las estaciones del año, con base al valor mínimo (2007-2008)	56
31	Diagrama de barras de Potasio y Calcio para REU y REUt en relación a las estaciones del año, con base al valor mínimo (2007-2008)	56
32	Diagrama de barras de Magnesio y Fluoruros para REU y REUt en relación a las estaciones del año, con base al valor mínimo (2007-2008)	57
33	Diagrama de barras de Recuento Total Microorganismos y Coliformes Totales para REU y REUt en relación a las estaciones del año, con base al valor mínimo (2007-2008)	58
34	Diagrama de barras de Coliformes Fecales y Hongos –Levaduras para REU y REUt en relación a las estaciones del año, con base al valor mínimo (2007-2008)	58
35	Gráfico Biplot. ACP de parámetros Físicoquímicos para REU y REUt en cada estación del año (2007-2008)	59
36	Gráfico Biplot. ACP de parámetros Químicos para REU y REUt en cada estación del año (2007-2008)	60
37	Gráfico Biplot. ACP de parámetros Bacteriológicos para REU y REUt en cada estación del año (2007-2008)	61
38	Gráfico Biplot. ACP de parámetros Biomasa-Físicoquímicos para REU y REUt en cada estación del año (2007-2008)	62
39	Gráfico de Estrellas para REU y REUt en las estaciones del año (2007-2008)	63

#### 10.-

Tabla N°	ÍNDICE DE TABLAS	Pág.
1	Parámetros físicos del REU y REUt, evaluados en invierno (REUtI), otoño (REUtO), primavera (REUtP) y verano (REUtV) durante el período 2007-2008.	41
2	Parámetros químicos del REU y REUt, evaluados en invierno (REUtI), otoño (REUtO), primavera (REUtP) y verano (REUtV) (2007-2008)	41
3	Parámetros bacteriológicos determinados REU y REUt en las distintas estaciones del año (2007-2008).	42
4	Parámetros bacteriológicos determinados en REU y REUt (2007-2008).	43
5	Parámetros bacteriológicos determinados en macrófitas durante el otoño, invierno y verano (2007-2008).	43
6	Parámetros bacteriológicos determinados en macrófitas durante el otoño, invierno y verano (2007-2008).	43
7	Ficología determinada en el REUt en las estaciones del año durante los períodos 2007-2008. Recuento en N° de cél. /25µl.	64

## **2. INTRODUCCION**

### **2-1. Antecedentes**

El agua dulce es el bien natural más escaso del planeta. Una reducción del agua disponible ya sea en cantidad, en calidad o ambos, provoca efectos negativos graves sobre los ecosistemas (UNESCO, 2003).

El acceso al agua potable y al saneamiento adecuado es esencial para la supervivencia humana y para el mantenimiento de una calidad de vida digna. Actualmente, más de un billón de personas no tienen acceso al agua potable y más de dos billones de personas carecen de saneamiento adecuado (Asit, 2008).

Dado que el mundo está cambiando muy rápidamente, las prácticas y procesos de manejo del agua más allá del 2020 deben cambiar también. Las previsiones anteriores y las tendencias presentes no pueden informar de manera significativa al nuevo y turbulento entorno del sector del agua, el cual tendrá que acomodar requerimientos diversificados e incluso opuestos, los cuales reflejen los diferentes intereses y necesidades de las diversas partes, los procesos políticos y los requerimientos institucionales (Asit, 2008). La situación puede complicarse aún más debido a los rápidos cambios tecnológicos, a la globalización acelerada, y a la implacable competencia y poderío económico.

A nivel mundial, una de las principales preocupaciones es la conservación de la calidad de las aguas superficiales tales como lagos y reservorios. La falta de control y monitoreo provoca serios daños que afectan las fuentes de abastecimiento con su costo social asociado. Además, se requiere de grandes inversiones de dinero para la recuperación de las fuentes hídricas que han sufrido un deterioro severo.

La calidad del agua para diferentes usos se ve afectada por la descarga de líquidos cloacales y pluviales a los cursos de aguas superficiales. El vertido de efluentes industriales con nulo o escaso tratamiento, el aporte del arrastre de suelo con contenido de plaguicidas y fertilizantes, así como el vertido de desechos orgánicos pecuarios que aportan gran cantidad de nutrientes, principalmente fósforo y nitrógeno (Rodríguez *et al.*, 2001). Esto ocasiona cambios físicos, químicos y biológicos, afectando de esta manera, a las comunidades acuáticas que se desarrollan en estos ecosistemas.

Las mega ciudades en países desarrollados duplican su tamaño poblacional en 12-15 años, mientras que los sectores más pobres de dichas ciudades lo hacen cada 7

años (Rodríguez, 2005). Este crecimiento exponencial en mayor o menor medida se manifiesta en todo los núcleos poblacionales y trae aparejado la generación de efluentes en forma directamente proporcional, lo que sumado a la industrialización y a la urbanización, hace que las perturbaciones ambientales producidas por el hombre en la naturaleza, tuvieran una capacidad de acogida reducida o nula en muchos casos.

Estudios realizados por Gil *et al.* (2005) indican que la contaminación del agua superficial y subterránea, es uno de los problemas ambientales más significativos a nivel mundial, siendo los efluentes urbanos los mayores responsables de tal efecto. La depuración de las aguas residuales, ya sean urbanas, industriales o de origen agropecuario se ha convertido en uno de los retos ecológicos y económicos más acuciantes del planeta (Crespi, 2005).

Los países desarrollados han tomado conciencia de que el agua es un recurso limitado y que los efluentes tienen un importante valor (Grosso *et al.*, 2005), siendo preciso reincorporarlos al ciclo productivo con el objetivo de disminuir el impacto ambiental. En muchos países del mundo, particularmente en aquellos en vías de desarrollo como, es el caso de la Republica Argentina, el desperdicio de los recursos no renovables, su sobreexplotación y la destrucción del ecosistema parece ser el denominador común.

Sin embargo, es preciso proyectar y trabajar entendiendo el concepto de sustentabilidad que involucra por un lado a la biodiversidad de especies, la cual está seriamente afectada en gran parte cuando los recursos hídricos son reducidos y/o contaminados (Pimentel *et al.*, 2004; Bossolasco y Crespi, 2005), y por el otro, al mantenimiento de los beneficios netos para la sociedad presente.

En la región sur de la provincia Córdoba con una superficie de 7.000.000 ha y una población de 350.000 habitantes (ADESUR 1999), sólo tres municipios del área disponen de red pública de servicios cloacales, sin embargo la falta de tratamiento de los efluentes domiciliarios se ha diagnosticado como uno de los problemas más serios de la región. Similares antecedentes pueden encontrarse en varias partes del país, por lo que evidentemente este es un problema real y apremiante que requiere urgente solución (Crespi *et al.*, 2006).

Es necesario cumplir con la etapa de tratamiento de los residuos a los fines de reducir el impacto ambiental. Así mismo es importante conocer el destino que se les dará a los efluentes tratados. Se pretende que los efluentes dejen de tener un enfoque tradicionalmente lineal, para pasar a tener un flujo cíclico, lo que implica en definitiva

su reutilización, entendiendo que los mismos constituyen un recurso y no un desperdicio (Crespi *et al.*, 2006).

## **2-2. Problemática de las aguas residuales**

La complejidad de los factores que determinan la calidad de las aguas, así como el gran número de variables que se utilizan para describir el estado de las masas de agua, hacen difícil proporcionar una definición simple sobre la calidad de las mismas.

Spellman *et al.* (2004), sostienen que el agua potable es una sustancia disponible para el consumidor en su casa, que cuando sale del grifo realiza su función esencial: satisfacer la sed sin amenazar la salud ni la vida. El agua potable destinada a bebida para consumo humano es un producto que comprende parámetros físicos, químicos y bacteriológicos en su origen, y de la distribuida después de someterla a procesos de tratamiento y desinfección.

El agua en su primer uso de abastecimiento a una población o industria, es degradada como tal, siendo deteriorada su calidad original y pasa a llamarse agua residual. Luego de tratarse por medios físicos, químicos y/o biológicos, se encuentra en condiciones de cumplir con un fin determinado y se denomina agua regenerada, disminuyendo el riesgo de enfermedades hidrotansmisibles, producto de la contaminación de los recursos hídricos convirtiéndose a la vez en un sistema compatible con el medio ambiente (Rivas *et al.*, 2005).

Capra *et al.* (2007), indican que las aguas residuales urbanas no tratadas contienen metales pesados y sustancias orgánicas e inorgánicas potencialmente tóxicas, pero el mayor riesgo asociado al reuso de las mismas es la presencia de microorganismos patógenos, que ocasionan problemas sanitarios, como infecciones bacterianas (fiebre tifoidea, salmonelosis, cólera, gastroenteritis), infecciones víricas (gastroenteritis, hepatitis A), parasitosis (coccidios, amebas, hidatidosis, cisticercosis, nematodosis), además de mantener vectores y hospedadores

Desde el punto de vista ambiental la contaminación de las aguas no solo elimina parte de la vegetación y fauna autóctona acuática, sino que también ocasiona desequilibrios generalizados a todo el ecosistema terrestre que depende de estas masas de agua (Weitao *et al.*, 2011).

Coincidiendo con lo anteriormente expresado, Wang y Wang (2009), consideran que a través de las diversas actividades que realiza el hombre se añaden grandes cantidades de nutrientes, principalmente nitrógeno, fósforo y materia orgánica a los

cuerpos de agua. Estos aportes enriquecen en nutrientes los sistemas acuáticos, causando la eutrofización, cuyo desequilibrio más importante es el incremento en el número de florecimientos algales o blooms de cianofíceas, en lagos y ríos, en todo el mundo (Liu *et al.*, 2010).

Los blooms de algas específicas presentes en los cuerpos de agua liberan toxinas que afectan a la biota y al ser humano. Sus propiedades tóxicas tienen gran significancia biológica y ecológica (Kagalou *et al.*, 2007).

Mitrovic *et al.* (2005), realizaron estudios que evidencian que la abundancia de macrófitas acuáticas decrece cuando ocurren los blooms algales. Investigaciones realizadas por Pilar Arcos-Pulido *et al.* (2006), en un humedal urbano encontraron grupos de microalgas euglenófitas y cianófitas con un promedio de abundancia de 20.300 cél.cm<sup>-2</sup>, predominando las diatomeas con una abundancia promedio de 1774 cél.cm<sup>-2</sup> en zonas de menor intervención antrópica.

En la actualidad en nuestro país existen estudios escasos que contemplen la importancia de detectar los blooms algales que interaccionan con macrófitas acuáticas influyendo en la calidad del efluente a tratar.

### **2-3. Características de las Aguas Residuales Urbanas**

Graczyk *et al.* (2009), sostienen que la calidad de las aguas residuales urbanas varía dependiendo de la composición del uso, la calidad y tipo de sistemas de recolección de las mismas y del aporte de los sistemas de alcantarillado.

A continuación se presentan las características de las aguas residuales urbanas. Así pueden diferenciarse en:

- Aguas domiciliarias, aquellas que están formadas por agua de cocina, con sales, materia orgánica y sólidos, agua de baño, con jabones y productos de limpieza, y agua de lavados de locales, con jabones, arenas y papel.
- Aguas negras, aquellas que proceden de la defecación humana y contienen residuos fecales del orden 100 a 250 g<sup>1</sup>d, con alta carga de microorganismos aerobios y anaerobios.
- Aguas de limpieza pública y riego, se caracterizan según su procedencia de abastecimiento, contienen materiales sólidos de arrastre y fertilizantes de parques y jardines.

- Aguas pluviales que aunque en su origen se trate de agua pura, su paso por áreas urbanas o industriales se carga de diversas sustancias que alteran su composición.

### 2-3-1. Características físicas

Las aguas residuales urbanas típicas tienen componentes fácilmente separables o biodegradables, como sólidos, materia orgánica, aceites, grasas y no suelen presentar sustancias peligrosas.

- **Temperatura:** es un parámetro bastante estable a lo largo del año suele oscilar entre los 15°C en invierno y los 20°C en verano.
- **Olor:** no debe presentar olor alguno, si se producen olores desagradables es debido a que los procesos de putrefacción han comenzado, ya sea por distancias o tiempos de transporte largos de las aguas residuales.
- **Color:** debe ser gris con sólidos en suspensión fácilmente reconocibles.
- **Sólidos Totales:** lo compone el residuo seco, son la suma de los sólidos en suspensión (sedimentables y no sedimentables, coloides) y los sólidos disueltos.
- **Conductividad:** este parámetro indica el contenido de sales disueltas en el agua, y es una medida útil para evaluar el uso posterior de las aguas tratadas en diferentes tipos de riego.

### 2-3-2. Características químicas

Las aguas residuales urbanas no tratadas contienen potencialmente una variedad de compuestos químicos orgánicos e inorgánicos peligrosos para la salud humana y el medio ambiente. Estos compuestos están presente naturalmente, en la fuente de agua de origen, en las plantas potabilizadoras de agua, agregados por el uso del agua y por el agua de lluvia sumada a los sistemas de recolección o alcantarillados (Graczyk *et al.*, 2009).

- **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 a los cinco días (DBO<sub>5</sub>) y la Demanda Química de Oxígeno (DQO).

Las aguas residuales urbanas presentan valores de DBO<sub>5</sub> y de DQO que oscilan entre 100-300 mg.L<sup>-1</sup> y 150-800 mg.L<sup>-1</sup> respectivamente.

- **Oxígeno disuelto:** este oscila en valores entre 1,0 y 3,0 mg.L<sup>-1</sup>.
- **pH:** con valores normales de entre 6,0 y 9,0.
- **Nutrientes:** Como el nitrógeno (amoníaco, nitritos y nitratos) y el fósforo (ortofosfato), presentes en forma orgánica e inorgánica. Los valores normales de nitrógeno total oscilan entre 20 - 85 mg.L<sup>-1</sup> (N-orgánico 8-35 mg.L<sup>-1</sup>, N-amoniacal 12-50 mg.L<sup>-1</sup> y N-nitratos 0-10 mg.L<sup>-1</sup>). Los valores normales de fósforo total es de 4-15 mg.L<sup>-1</sup> (orgánico 1-5 mg.L<sup>-1</sup> e inorgánico 3-10 mg.L<sup>-1</sup>).

### 2-3-3. Características bacteriológicas

Las aguas residuales urbanas, por su contenido en materias orgánicas y especialmente fecales, albergan numerosos organismos patógenos, que es necesario eliminar, entre los que se incluyen helmintos, protozoos, hongos, bacterias y virus (Beascochea *et al.*, 2005).

Las aguas residuales sin tratar pueden tener más de 10<sup>5</sup> bacterias por litro, por lo que un 99% de reducción dejaría más de 10<sup>3</sup> bacterias patógenos por litro (Baréa y Sobrinho, 2006). Por tal motivo, el grado de eliminación de microorganismos de las aguas residuales a través de un tratamiento determinado se expresa mejor en función de unidades logarítmicas<sub>10</sub>.

La bacteria utilizada como indicador de contaminación fecal en el agua es *Escherichia coli*. Una persona adulta puede excretar diariamente hasta 2.000.000.000 de bacterias coliformes. Las aguas que proceden de la defecación humana, contienen residuos fecales del orden 100 a 250 g/ día, con alta carga de microorganismos aerobios y anaerobios.

En la materia orgánica y materia fecal que poseen las aguas residuales, un gramo de heces humanas puede albergar hasta 10<sup>9</sup> de partículas virales infecciosas. (Adenovirus, Enterovirus, virus de la Hepatitis A, Reovirus y Rotavirus).

El contenido medio de coliformes totales en aguas residuales oscila entre las 10<sup>6</sup> y 10<sup>9</sup> colonias/100 mL y de *Streptococcus fecalis* entre 10<sup>4</sup> y las 10<sup>7</sup> colonias/100 mL.

### 2-4. Tratamiento de las Aguas Residuales

Muñoz (2005), señala que cuando el agua residual llega a una estación depuradora, pasa por una serie de procesos de tratamiento que extraen los residuos del agua, reduciendo su peligrosidad para la salud pública y ambiental.

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).

#### **2-4-1. Etapas de un tratamiento convencional**

- El pretratamiento elimina las materias gruesas, cuerpos extraños y arenosos cuya presencia en el efluente perturba el funcionamiento eficiente de las maquinas equipos e instalaciones de la estación depuradora.
- El tratamiento primario elimina los sólidos en suspensión con tecnologías de remoción mecánica.
- El tratamiento secundario utiliza sistemas biológicos con microorganismos aerobios y anaerobios que descomponen la materia orgánica y retienen entre un 20 y un 30% de los nutrientes, eliminando hasta un 75% del amonio.
- El tratamiento terciario es de acabado o de afinado y tiene por objetivo la retención del fósforo y del nitrógeno además de la eliminación de microorganismos patógenos.

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.

#### **2-5. Aspectos económicos**

El aspecto económico de los distintos tratamientos es muy importante (Muñoz, 2005). Un tratamiento secundario vale el doble o el triple que uno primario, y uno terciario, tanto como el primario y el secundario juntos, es decir que cuanto más se afine la depuración, más costosa resulta.

Siracusa y La Rosa (2006), señalan que los sistemas blandos o no convencionales tienen un consumo energético relativamente bajo y un sistema de

operación simple, comparados con los sistemas tradicionales como fangos activados, lechos bacterianos, entre otros.

## **2-6. Uso de las aguas residuales**

En el mundo el uso de aguas residuales en agricultura, es considerado como una alternativa para la disposición final de los efluentes domésticos, lo que permite evitar la contaminación de los cauces receptores de dichos efluentes, además de aprovecharse para mitigar la aridez. El reuso de las aguas residuales tratadas es una buena opción para incrementar el recurso agua y suplir las necesidades de la misma en la agricultura (Pedrero *et al.*, 2009).

En las zonas áridas, como lo es la provincia de Mendoza, en la República Argentina, el recurso hídrico es escaso y, por lo tanto, debe ser asignado y utilizado en forma eficiente (Álvarez *et al.*, 2008). El riego agrícola con efluentes domésticos tratados, está transformándose en una práctica común y de uso creciente en regiones áridas y semiáridas.

Según Álvarez *et al.* (2008), los efluentes domésticos tratados son una fuente de agua confiable para los agricultores, ya que su caudal no depende de variaciones estacionales y aportan nutrientes que mejoran el rendimiento de los cultivos. El aprovechamiento de efluentes domésticos en la agricultura no sólo aumenta la oferta de agua sino que evita la contaminación de los cauces de riego.

## **2-7. Macrófitas de interés en fitodepuración**

Las plantas acuáticas, denominadas también macrófitas acuáticas cumplen un papel muy importante en los ecosistemas (Arroyave, 2006). Brindan directa o indirectamente alimento, protección y un gran número de hábitats para muchos organismos de estos ecosistemas.

Varias especies de estas plantas son útiles para el hombre, puesto que sirven de alimento, son materia prima para la industria y se usan en procesos de biorremediación ya que pueden absorber algunas sustancias disueltas y brindar oxígeno mediante la fotosíntesis.

El mecanismo de remoción en los sistemas con macrófitas acuáticas, comprenden una variedad compleja de procesos biológicos, físicos y químicos, incluyendo sedimentación, filtración, adsorción en el suelo, degradación microbiológica, nitrificación-desnitrificación y disminución de patógenos. 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 (Agunbiade *et al.*, 2005).

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 acuáticas tienen como función la asimilación de metales pesados, la remoción y la degradación de poluentes orgánicos persistentes en el cuerpo de agua creando verdaderos sistemas purificadores (Keskinkan *et al.*, 2003).

Las macrófitas acuáticas deberían ser cosechadas periódicamente desde los cuerpos de agua para un manejo adecuado en la función de depuración. En consecuencia, el desarrollo de tecnologías para convertir los excesos de biomasa residual en materiales apreciables, es la clave para promover la aplicación de estos sistemas de tratamiento, y de esta manera convertir la biomasa residual en material apreciable como compost, gas metano y alimento para peces (Sahu *et al.*, 2002; Singhal y Rai, 2003).

Existen varias especies de macrófitas de agua dulce que pueden ofrecer grandes posibilidades en el tratamiento de efluentes contaminantes. Prasad (2004), 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.

Las totoras pertenecen a la familia *Typhaceae*, formada por un único género *Typha*, con sistema radicular arraigado, monoicas, herbáceas, perennes, erectas de gran desarrollo que pueden alcanzar más de 3 m de altura, con ciclo de desarrollo anual.

Wuzella *et al.* (2011) comprobaron que la utilización de *Typha sp* en fitodepuración es muy eficaz. Las mismas pueden ser utilizadas para tratamiento secundario (remoción de materia orgánica) y terciario (remoción de nitrógeno y fósforo) en climas templados.

Los carrizos (*Phragmites australis*) pertenecen a la familia *Poaceae*. Es una planta acuática, herbácea, perenne, erecta muy robusta que puede alcanzar más de

3m de altura, el tallo es una caña con nudos y entrenudos, con el sistema radicular arraigado, se desarrolla bien en aguas con contaminación mineral (nitratos) y alta salinidad (Dusek *et al.*, 2008). Es utilizado en humedales artificiales de flujo superficial y subsuperficial.

Los juncos (*Scirpus spp*), este género pertenece a la familia de las *Cyperaceae*. Son plantas herbáceas, cespitosas, perennes o anuales, su hábitat natural son suelos encharcados, pantanosos y turberas, distribución cosmopolita y climas templados. Se utiliza en humedales artificiales donde actúa como filtro, potenciando los mecanismos de sedimentación-separación, además de remover nitrógeno y fósforo.

El jacinto de agua o camalote (*Eichornia crassipes*), pertenece a la familia *Pontederiaceae*. Es una planta flotante de aguas dulces y también salobres; de climas tropicales a templados (Armendáriz Sáenz *et al.*, 2008), está ampliamente expandida en todo el mundo, es nativa de Sudamérica. Se utiliza en sistemas de tratamientos secundario no aireados y tratamientos terciarios para remoción de nitrógeno y fósforo en aguas residuales urbanas (Agunbiade *et al.*, 2005).

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) (Figura N° 1).



Figura N° 1. *Spirodela sp.*, *Wolffia sp.* y *Wolffiella sp.*

Las lentejas de agua tienen distribución cosmopolita, desarrollándose en ambientes acuáticos, desde las regiones templadas frías a las tropicales y se

consideran eutróficas puesto que crecen en aguas eutrofizadas. Son pequeñas plantas herbáceas flotantes no enraizadas, que crecen en la superficie de las aguas contaminadas, estancadas o con poco movimiento y ricas en nutrientes principalmente nitrógeno y fósforo (Figura N° 2).



**Figura N° 2. *Wolffia oblongata***

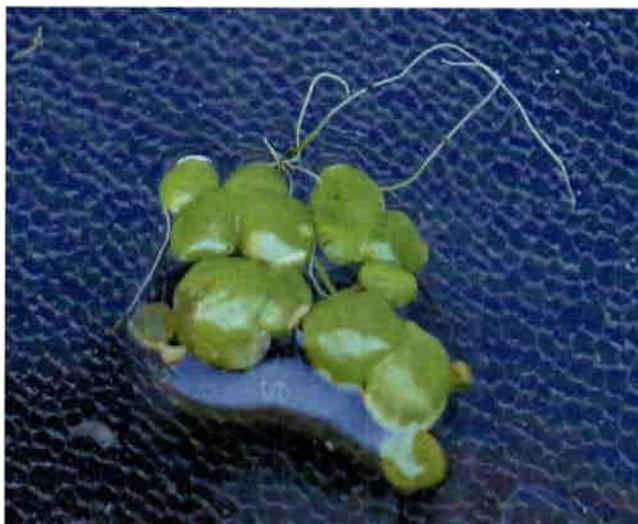
El tamaño oscila entre submicroscópicas semejante a la cabeza de un alfiler como el género *Wolffiella* y hasta 20 mm en el caso de *Spirodela* y *Lemna* presentan una raíz corta, generalmente menor a 12 mm.

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.

Para su propagación, la planta se reproduce vegetativamente desarrollando nuevos frondes (frondes hijos) en la base del fronde madre (Curt Fernández de la Mora, 2005). Este mecanismo es muy eficaz llegando algunas especies a duplicarse su número en tan solo 24 h, además un mismo fronde puede producir al menos 10-20 frondes más durante su vida.

Almeida Mohedano *et al.* (2005) sostienen que la composición química de estas plantas se encuentra situada en un rango de 6,8 a 45% para las proteínas, 5,7 a 16,2% para fibras y 12 a 27% para cenizas. La harina obtenida de *Lemna* contiene un

40% de proteína comparándose favorablemente con respecto a la de soja, de ahí su buena calidad para la alimentación de peces y animales. A 27 °C el crecimiento de *Lemna* en efluentes cloacales se duplica cada 4 días. Su crecimiento es 30% más rápido que el de los camalotes o jacintos del agua (Figura N° 3)



**Figura N° 3.** *Lemna sp.* en caja de Petri.

Un estudio sobre la importancia de *L. gibba*, bacterias, y algas, para remover nitrógeno y fósforo en aguas residuales, demostró que esta macrófita es responsable del 30-47% de la remoción de Nitrógeno Total y hasta de un 52% para Fósforo Total.

El postratamiento con lagunas de pulido, de efluentes provenientes de reactores anaeróbicos, producen grandes cantidades de biomasa algal, que se descompone generando DBO y libera nutrientes en el cuerpo de agua (Baréa y Sobrinho, 2006). La utilización de lentejas de agua mejora la calidad del efluente ya que los vegetales, a través del sombreado, impedirían el paso de la luz y con ello el crecimiento de las algas.

Investigaciones realizadas por Mulderij *et al.* (2006), explican que el fenómeno de alelopatía se produce cuando una especie tiene efectos directos o indirectos (mayormente negativos) sobre otras especies por la producción y liberación de compuestos químicos dentro del medio ambiente. Varias investigaciones revelan que las cianotoxinas de algunas especies de algas tienen efectos alelopáticos evidentes sobre las macrófitas acuáticas, dichos efectos incluyen reducción en el crecimiento (producción de biomasa), concentración de clorofila y capacidad fotosintética en los frondes, así como el cambio de pigmentación de las plantas (Jang *et al.*, 2007).

La producción de lentejas de agua, en peso húmedo, es de 550 a 1200 Kg ha<sup>-1</sup>día<sup>-1</sup>. La combinación de tratamiento de efluentes con la producción de alimento para peces u otros animales, parece ser la mejor aplicación para el producto, ya que se provee un ingreso adicional al proyecto de tratamiento (Clostre y Suni, 2007).

En comparación con otros procesos convencionales de tratamiento de efluentes, las lagunas con lentejas de agua presentan como ventajas alta remoción de nutrientes, inhibición del crecimiento de algas, disminución de olores y de proliferación de insectos, posibilidad de ingresos adicionales por la venta de biomasa producida y reuso del efluente en aplicaciones industriales y agrícolas (Horvat *et al.*, 2007).

Con el propósito de analizar la disminución de la concentración de bacterias indicadoras de contaminación y potencialmente patógenas, se llevaron a cabo investigaciones realizadas en la Universidad Nacional de Río Cuarto (UNRC) cuyo objetivo fue, determinar el efecto depurador de las macrófitas acuáticas, para tal fin se trabajó con la especie *L. gibba* en agua residual cruda (ARC) durante la primavera y con intervalo de 30 días y se demostraron las siguientes cargas de coliformes totales:  $4 \times 10^{10}$  NMP y  $1.1 \times 10^{11}$  NMP/100 mL (Kraft *et al.*, 1997). El recuento de bacterias aerobias y anaerobias facultativas viables fue igual a  $3 \times 10^9$  ufc mL<sup>-1</sup>. En ningún caso se detectó la presencia de *Salmonella sp.* en agua residual. A los 7 días de los estudios precedentes y en el drenaje se encontraron los siguientes niveles:  $4 \times 10^4$  NMP y  $1.6 \times 10^5$  ufc mL<sup>-1</sup> de Coliformes Totales y anaerobias facultativas viables respectivamente. En líquido sobrenadante a los 22 días se determinaron los siguientes resultados:  $4 \times 10^4$  NMP y  $2.8 \times 10^5$  de Coliformes Totales y ufc mL<sup>-1</sup> anaerobias facultativas viables en agua residual (Kraft *et al.*, 1997).

Desde el año 2000 se trabaja en la UNRC con aguas residuales urbanas. Para tal fin se instaló una planta experimental de tratamiento y reutilización de aguas residuales urbanas. Los objetivos fueron analizar metodologías de depuración, ajustar alternativas de reutilización y generar conciencia sobre el manejo de los recursos naturales.

El tratamiento se hizo con lodos activados, lagunas de estabilización y plantas flotantes y la reutilización, consistió en la producción vegetal bajo riego. Los rendimientos máximos en colza, soja y ajo fueron 3222, 7050 y 11327 kg ha<sup>-1</sup> con una eficiencia en el uso del agua de 0,67; 1,35 y 2,37 kg m<sup>-3</sup> respectivamente. Esta tecnología demostró ser adecuada y significó un reingreso de dinero al ciclo productivo (Crespi *et al.*, 2005).

## 2-8. Importancia del proyecto

Se destaca la importancia de esta investigación en función de los antecedentes que existen a nivel mundial. En nuestro país el uso y aplicación de tratamientos no convencionales para la depuración de aguas residuales urbanas, utilizando macrófitas acuáticas esta poco estudiado.

En Argentina se conocen casos aislados donde se utilizan macrófitas acuáticas para depurar aguas residuales urbanas, pero no hay antecedentes de investigaciones que incluyan la utilización de los géneros *Lemna*, *Wolffia*, *Wolffiella* y *Spirodela* asociados, en un tratamiento terciario de depuración, lo que eleva aún más la importancia de llevar a cabo este estudio.

La aplicación de esta técnica no convencional es una herramienta muy buena para disminuir los costos de depuración de aguas residuales urbanas, ya que en las grandes poblaciones, la depuración de sus aguas residuales, se realiza mediante sistemas convencionales en las denominadas "Estaciones de Depuración de Aguas Residuales" (EDAR). En éstas se consigue tratar gran cantidad de agua, utilizando superficies de suelo relativamente pequeñas, a costa de utilizar tratamientos que consumen mucha energía y cuyo costo repercute en los habitantes de dichas poblaciones.

Las macrófitas acuáticas permiten mejorar la calidad de las aguas residuales urbanas reduciendo e inactivando los organismos patógenos presentes en las mismas, disminuyendo la carga orgánica (DBO o DQO), favoreciendo el reuso directo del agua tratada en la agricultura, evitando la utilización del desecho sin tratar y logrando el aprovechamiento de los cuerpos receptores para pesca y recreación.

Las técnicas y los métodos utilizados y/o los resultados obtenidos en este estudio podrán extrapolarse a otros cuerpos de agua constituyendo una línea de base para diversas investigaciones futuras.

Se detalla a continuación en ANEXO los límites admisibles sugeridos para el vuelco de efluentes a aguas superficiales y para uso en riego, según la normativa vigente a nivel nacional y provincial.

**ANEXO**

**LEGISLACIÓN ARGENTINA NACIONAL**

**Límites fijados por la Legislación Argentina-Decreto 674/89/ Disposición 79179/90-Nación CAMBIE LAS unidad l por L**

Parámetros	Límites permisibles en el vertido		
	A colectora cloacal	A conducto pluvial	A curso de agua
pH	5,5 – 10	5,5 - 10	5,5 - 10
SSEE	100 mg /L.	100 mg /L.	100 mg /L.
S=	1,0 mg /L.	1,0 mg /L.	1,0 mg /L.
SS	10' 0,5 ml /L.	---	0,5 ml /L.
SS 2 hs.	---	1,0 ml /L.	---
T	45° C	45° C	45° C
DBO	Sobre muestra bruta 200 mg /L.	Sobre muestra decantada 2 hs 50 mg /L.	Sobre muestra bruta En ríos y arroyos.50 mg /L.
OC del Kmn04 (a determinarse en vez de la DBO )	Sobre muestra bruta 50 mg /L.	Sobre muestra decantada 2 horas 20 mg /L.	Sobre muestra bruta En ríos y arroyos 20 mg /L.
Demanda de Cloro	---	Se exige satisfacerla en los establecimientos citados en (3)	
gases tóxicos Cianuro, CN-	0,1 mg /L.	0,1 mg /L.	0,1 mg /L.
Hidrocarburos	50 mg /L.	50 mg /L.	50 mg /L.
Cromo Hexavalente	0,2 mg /L.	0,2 mg /L.	0,2 mg /L.
Cromo Trivalente	2 mg /L.	2 mg / L.	2 mg /L.
S.R.A.O. Detergentes	5 mg /L.	5 mg /L.	5 mg /L.
Cadmio	0,1 mg /L.	0,1 mg /L.	0,1 mg /L
Plomo	0,5 mg /L.	0,5 mg /L.	0,5 mg /L.
Mercurio	0,005 mg /L.	0,005 mg /L.	0,005 mg /L.
Arsénico	0,5 mg /L.	0,5 mg /L.	0,5 mg /L.

## LEGISLACIÓN AMBIENTAL PROVINCIA DE CÓRDOBA

**Legislación General: Ley 7343/85 .Protección del Agua: Decreto 415/99**

**Creación del Comité de Cuenca del Lago San Roque: Ley 7773/89**

**Limites Máximos Admisibles para la descargas de efluentes líquidos a cursos de aguas superficiales**

Parámetros	Cuenca de Aporte	Embalse	Cuenca de drenaje
Temperatura	≤40° C	≤30° C	≤40° C
SOL. SED.10MIN	≤0.5ml/L	≤0.1ml/L	≤0.5ml/L
SOL. SED.2HS.(II)	≤1.0ml/L	≤0.5ml/L	≤1.0ml/L
pH	6.0~9.0	6.0~9.0	6.0~9.0
Oxig. Consumido(III)	≤20mg/L	≤20mg/L	≤20mg/L
DBO5 (IV)	≤30mg/L	≤30mg/L	≤30mg/L
Sulfuros	≤1.0mg/L	≤1.0mg/L	≤1.0mg/L
Fósforo Total	≤0.5mg/L	≤0.5mg/L	≤10mg/L
Nitrógeno Total Kjeldhal	≤10mg/L	≤10mg/L	≤20mg/L
Cr. Total	≤0.2mg/L	≤0.2mg/L	≤0.2mg/L
Cadmio	≤0.1mg/L	≤0.1mg/L	≤0.1mg/L
Plomo	≤0.5mg/L	≤0.5mg/L	≤0.5mg/L
Mercurio	≤0.005mg/L	≤0.005mg/L	≤0.005mg/L
Arsénico	≤0.5mg/L	≤0.5mg/L	≤0.5mg/L
Cianuro	≤0.1mg/L	≤0.1mg/L	≤0.1mg/L
Cobre	≤0.1mg/L	≤0.1mg/L	≤0.1mg/L
Estaño	≤4.0mg/L	≤4.0mg/L	≤4.0mg/L
Hierro	≤1.0mg/L	≤1.0mg/L	≤1.0mg/L
Níquel	≤2.0mg/L	≤2.0mg/L	≤2.0mg/L
Zinc	≤0.1mg/L	≤0.1mg/L	≤0.1mg/L
Detergentes	≤0.5mg/L	≤0.5mg/L	≤1.0mg/L
Bacterias Coliformes Totales (VII)	5000 NMP/100ml	5000 NMP/100ml(VIII)	5000 NMP/100ml
Bacterias Coliformes Fecales	1000 NMP/100ml	1000 NMP/100ml (VIII)	1000 NMP/100ml

**Limites máximos admisibles para la calidad de las aguas residuales para riego agrícola de la provincia de Córdoba**

<b>Parámetros</b>	<b>Niveles máximos</b>
Acroleína	≤ 0.1 mg/L
Aldrin	≤ 0.02 mg/L
Aluminio	≤ 5.0 mg/L
Antimonio	≤ 0.1 mg/L
Arsénico	≤ 0.1 mg/L
Bicarbonatos	≤ 100 mg/L
Berilio	≤ 0.1 mg/L
Boro	≤ 0.5 mg/L
Cadmio	≤ 0.01 mg/L
Carbonato de sodio residual	≤ 2.5 mg/L
Cianuro	≤ 0.02 mg/L
Clordano	≤ 0.03 mg/L
Cloruro	≤ 142 mg/L
Cobre	≤ 0.2 mg/L
Conductividad Eléctrica	≤ 1000μ mho/cm
Cromo Hexavalente	≤ 1.0 mg/L
D. D. E	≤ 0.04 mg/L
Dieldrin	≤ 0.02 mg/L
Hierro	≤ 5.0 mg/L
Fluoruro (como F)	≤ 0.1 mg/L
Fosfato Total	≤ 5.0 mg/L
Heptacloro	≤ 0.02 mg/L
Níquel	≤ 0.2 mg/L
Nitratos	≤ 30 mg/L
Nitrógeno Total Kjeldhal	≤ 30 mg/L
Plomo	≤ 0.5 mg/L
Potasio	≤ 250 mg/L
Potencial de Hidrogeno	≤ 6.5 ~ 8.5
Relación de absorción de Sodio (RAS)	≤ 3
Selenio(como Selanato)	≤ 0.02 mg/L
Sodio	≤ 250 mg/L
Sólidos Disueltos	≤ 500 mg/L
Sólidos suspendidos	≤ 50 mg/L
Sulfatos	≤ 130 mg/L
Toxafeno	≤ 0.005 mg/L
Zinc	≤ 2.0 mg/L
DQO	≤ 30 mg/L

**Normas para los efluentes líquidos de las plantas de tratamiento de aguas residuales descargadas a los cursos de agua**

<b>Parámetros</b>	<b>Limites máximos permisibles</b>
Residuos o cuerpos gruesos	No se admiten
Sólidos Sedimentables en 10'	0.1 mg/L
Sólidos Sedimentables en 2 horas	5.0 mg/L
pH	≤ 0.1 mg/L
Temperatura	< 30°C (I)
Sust. tensoactivas que reaccionan con Azul Metileno	< 0.5 mg/L
Sustancias solubles en éter etílico	< 20 mg/L
Oxígeno consumido	< 20 mg/L
Coliformes totales	< 5000 NMP/100 mL (2)
Coliformes fecales	< 11000 NMP/100 mL (2)
Fósforo Total	0.5 mg/L
D. B. O	< 30 mg/L
Demanda de Cloro	Deberá satisfacer la demanda y no exceder un residual de 0.10mg/L
Nitrógeno Total	<10 mg/L
Sulfuro	< 1.0 mg/L
Arsénico	< 0.5 mg/L
Estaño	<4.0 mg/L
Hierro	<2.0 mg/L
Níquel	<2.0 mg/L
Cadmio	<0.1 mg/L
Plomo	<0.5 mg/L
Mercurio Total	< 0.005 mg/L
Compuestos Fenólicos	< 0.05 mg/L
Cianuro	< 0.002 mg/L
Cromo Hexavalente	< 0.2 mg/L
Cromo Trivalente	< 2.0 mg/L

## LEGISLACIÓN AMBIENTAL PROVINCIA DE LA PAMPA

**Ley ambiental Provincial N° 1914. Artículos 27, 28 y 29  
 DECRETO N° 2793/06 Santa Rosa, 22 de noviembre de 2006**

**Valores Máximos de emisión:**

**Desagües a conducto pluvial abierto, curso de agua superficial elemental  
 cerrada y cursos de agua no permanente.**

Parámetro	Unidad	Valor Máximo
Temperatura	°C	45
pH	UpH	6.5-10.0
Sólidos sedim. En 10min.	mL/L	Ausente
Sólidos sedim en 2 hs.	mL/L	1.0
S.S.E.E.	mg/L	50
Sulfuros	mg/L	1.0
Nitrógeno total	mg/L	15
Cianuros	mg/L	0.1
Hidrocarburos Totales	mg/L	50
Cloro residual	mg/L	0.5
D.B.O.5	mg/L	50
D.Q.O.	mg/L	250
Detergentes (SAAM)	mg/L	2.0
Sustancias Fenólicas	mg/L	0.5
Fosfatos	mg/L	10
Arsénico	mg/L	0.5
Cromo Total	mg/L	0.5
Plomo	mg/L	0.5
Mercurio	Ug/L	5.0
Coliformes Totales/100mL	N.M.P	2.0X10 <sup>4</sup>
Coliformes Fecales/100mL	N.M.P	5.0X10 <sup>3</sup>

**LEGISLACIÓN ARGENTINA, CONDICIONES DE VUELCO FIJADAS POR LA  
PROVINCIA DE SANTA FE.**

**Anexo -Límites para la descarga de efluentes cloacales**

<b>Determinante</b>	<b>Unidades</b>	<b>Límite Obligatorio</b>	<b>Límite Recomendado</b>	<b>Límite Obligatorio s/tratamiento</b>
Temperatura	°C	45	Plantas de refrigeración que descargan en el río la Temp. del agua de descarga no debe exceder a la de extracción en más de 10°C.	45
pH	unidades de pH	8,5 > pH > 7,5	El uso de químicos p/ corregir el pH no debe infrinjan otros límites aplicables	8,5 > pH > 6,5
DBO(a 20°C sin nitrificación )	mg/l O <sub>2</sub>	50	20	300
DQO(dicromo potasio)	mg/l O <sub>2</sub>	125	75	375
STS	mg/l	60	20	500
Aceites -Grasas	mg/l	50	-	200
Fósforo Total	mg/l P	Los límites podrán ser anulados si el agua receptora no está sujeta a eutrofización		-
Amoníaco (total)	mg/l N	25	Los límites podrán ser anulados si el agua receptora no es usada p/ abastecimiento humanos o para el sostén de zonas de pesca reconocidas	
Cromo	µg/l Cr	200	-	200
Cadmio	µg/l Cd	100	-	100
Plomo	µg/l Pb	500	-	500
Mercurio	µg/l Hg	5	-	5
Arsénico	µg/l As	500	-	500
Cianuro	µg/l Cn	100	-	100
Detergentes	mg/L	3	No deberá formarse espuma en el cuerpo receptor	5
Colifor. Totales	NMP/100ml	5000	Si el cuerpo receptor se utiliza p/ recreación con contacto físico la descarga debe desinfectarse.	
Coliformes Fecales	1000 NMP/100ml	1000	-	-
Sulfuros	mg/l	1	-	2
Fenoles	µg/l C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH	50	-	500

**PROVINCIA DE MENDOZA**

**Directrices sobre la calidad microbiológica de las aguas residuales empleadas en agricultura para riego restringido (ACRE).**

<b>Categoría</b>	<b>Condiciones de Aprovechamiento</b>	<b>Grupo Expuesto</b>	<b>Nemátodos Intestinales (a) (media aritmética N° de huevos/ lt) (b)</b>	<b>Coliformes fecales (media geométrica N° por 100 ml.) (b)</b>	<b>Tratamiento de aguas residuales necesario para lograr la calidad microbiológica exigida</b>
A	Riego de cultivos que comúnmente se consumen crudos, campos de deporte, parques públicos (c)	Trabajadores, Consumidores Público	< ó = a 1	< ó = a 1000 (c)	Serie de estanques de estabilización que permiten lograr la calidad microbiológica indicada o tratamiento equivalente
B	Riego de cultivos de cereales industriales y forrajeros, praderas y árboles (d)	Trabajadores	< ó = a 1	No se recomienda ninguna forma	Retención en estanques de estabilización por 8 a 10 días o eliminación equivalente de helmintos y coliformes fecales
C	Riego localizado de cultivos en la categoría B cuando ni los trabajadores ni el público están expuestos	Ninguno	No es aplicable	No es aplicable	Tratamiento previo según lo exija la tecnología de riego por no menos que sedimentación primaria

- a) Especies Áscaris y Trichuris y anquilostomas
- b) Durante el periodo de riego
- c) Conviene establecer una directriz más estricta (< 200 coliformes fecales por 100 ml) para prados públicos como los de los hoteles, con los que el público puede entrar en contacto directo.
- d) En el caso de los árboles frutales, el riego debe cesar dos semanas antes de cosechar la fruta y ésta no se debe recoger del suelo. No es conveniente regar por aspersión.

## 2-9. HIPOTESIS

I. Las aguas residuales presentan altos niveles de nitrógeno total (NT), fósforo total (PT), coliformes totales, coliformes fecales, y microorganismos potencialmente patógenos, según los límites admisibles establecidos por la normativa vigente.

II. Las macrófitas acuáticas flotantes (*Lemnaceae*) cuando son utilizadas para depurar aguas residuales crudas, disminuyen la demanda química de oxígeno (DQO), la demanda biológica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>) y los niveles de indicadores de microorganismos patógenos en aguas residuales.

III. Las aguas residuales están compuestas por comunidades fitoplanctónicas como cianofíceas, entre otras, que compiten por nutrientes con las poblaciones de macrófitas acuáticas flotantes (*Lemnaceae*)

### 3. OBJETIVOS

#### 3-1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la capacidad de las macrófitas acuáticas flotantes (*Lemnaceae*) para depurar aguas residuales urbanas de la Planta Piloto de Tratamiento y Reutilización de Efluentes Urbanos de la UNRC a través de parámetros físicos-químicos y biológicos.

#### 3-2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1- Determinar la calidad del agua residual cruda (REU) y agua residual tratada con presencia de macrófitas (REUt) de la Planta Piloto de Tratamiento y Reutilización de Efluentes Urbanos de la UNRC y compararlas.

2- Analizar la remoción de nutrientes (NT, PT, Nitritos-Nitratos) y microorganismos potencialmente patógenos en aguas residuales de la Planta Piloto de Tratamiento y Reutilización de Efluentes Urbanos de la UNRC, tratadas con macrófitas flotantes (*Lemnaceae*).

3- Evaluar la disminución de los niveles de los indicadores biológicos (Recuento total de microorganismos aerobios y anaerobios facultativos, coliformes totales, coliformes fecales y *E. coli*) de contaminación en aguas tratadas con macrófitas flotantes (*Lemnaceae*).

4-Determinar biomasa (g de peso seco producida.m<sup>-2</sup>) de *Lemna valdiviana*, *Spirodella intermedia*, *Wolffiella oblongata* y *Wolffia brasiliensis*.

5-Determinar la presencia de especies de comunidades fitoplanctónicas en el agua residual tratada en la Planta Piloto de Tratamiento y Reutilización de Efluentes Urbanos de la UNRC.

## 4. MATERIALES Y METODOLOGÍA

### 4-1. Área de estudio

#### 4-1-1. Ubicación y características.

La Universidad Nacional de Río Cuarto (UNRC) se encuentra localizada en el extremo noreste de la ciudad homónima. En el campus de la Universidad, se localiza 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).

#### 4-1-2. Características climáticas

El clima de la región es templado cálido mediterráneo. La temperatura media anual oscila entre los 15°C y los 18°C, con una media máxima de 29°C y una media mínima de 3°C. Las precipitaciones tienen una media anual de 700 a 900 mm anuales.

#### 4-1-3. Tratamiento del agua residual

El agua residual utilizada en este estudio proviene de un módulo de 32 habitantes, que generan diariamente 3200 L de efluente, el cual pasa desde los baños a 4 cámaras sépticas de cemento de 1 m de lado por 0.80 m de profundidad. Desde ahí es conducido con una pendiente del 1.5 % (Figura N° 4) por una tubería de 90 m de longitud, de PVC de 110 mm de diámetro externo hacia otra cámara séptica.



**Figura N° 4.** Captación y conducción del agua residual cruda

Fuente: Crespi, R.2005 Planta Piloto de Tratamiento y Reutilización de Aguas Residuales Urbanas. UNRC.

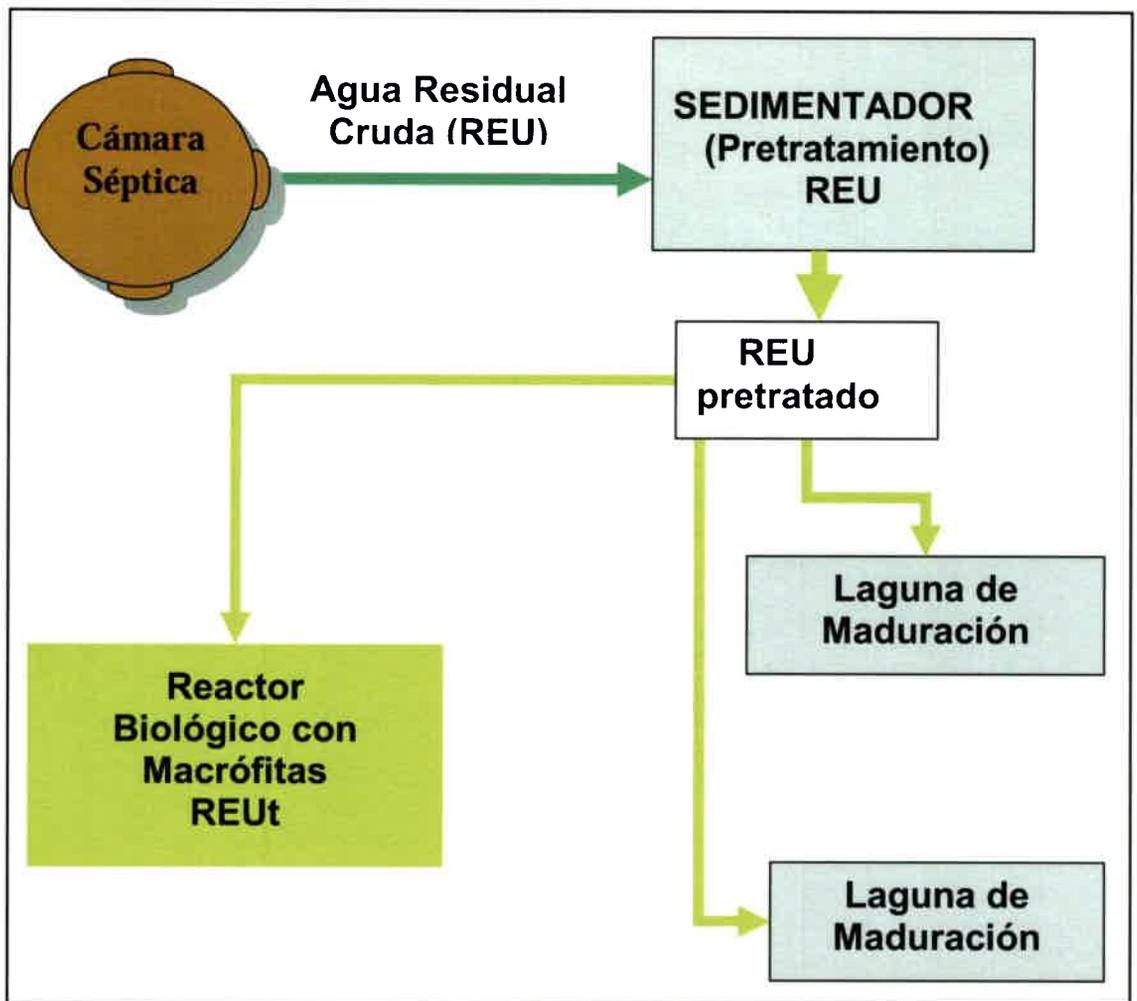
Desde esta última se capta el REU con una bomba automática y se descarga a un sedimentador construido de cemento y concreto. El objetivo es separar del REU, a través de operaciones físicas y mecánicas, materiales groseros tales como ramas, latas, botellas de plástico, apositos, grasas, aceites, etc. (Figura N° 5).



**Figura N° 5.** Sedimentador de elementos groseros

Fuente: Crespi, R.2005 Planta Piloto de Tratamiento y Reutilización de Aguas Residuales Urbanas. UNRC.

Desde aquí el REU pretratado es conducido por un caño de PVC de 40 mm de diámetro, a tres lagunas impermeabilizadas con poliuretano de 600  $\mu$  las cuales no se comunican entre sí, para su ulterior tratamiento. La primera laguna, es un reactor biológico cuyas dimensiones son de 6,0 m x 4,0 m x 1,30 m de profundidad, con una inclinación de las paredes respecto a la horizontal de 53° 7' y una capacidad operativa de 23200 L. Las dos lagunas restantes son de maduración y tienen un tirante de 0,60 m, con una inclinación de los lados respecto a la horizontal de 53° 07' y una capacidad operativa de 20.500 L (Figura 6).



**Figura N° 6.** Planta Piloto de Tratamiento y Reutilización de Efluentes Urbanos de la UNRC. Esquema de la secuencia del recorrido del REU en las lagunas.

Este sistema de tratamiento es de tipo terciario, utilizando como filtro a una asociación de macrófitas pertenecientes a las especies *L. valdiviana*, *S. intermedia*, *W. oblonga* y *W. brasiliensis*, las mismas fueron clasificadas según los criterios taxonómicos establecidos por Landolt, 1998; Bianco et al, 2001(Figura N° 7).



**Figura N° 7.**Laguna con macrófitas (reactor biológico)

Fuente: Crespi, R.2006 Planta Piloto de Tratamiento y Reutilización de Aguas Residuales Urbanas. UNRC.

La laguna fue llenada con el REU por única vez al comenzar este estudio, debido a sus características de reactor de tipo Batch o estanco, el mismo no tiene recambio. El nivel de agua del reactor biológico se mantiene estable a lo largo del año con un tirante de 1.30 m.

## **4-2. Metodología de campo y laboratorio**

### **4-2-1. Realización de los muestreos**

Las muestras para la caracterización de la calidad del REU, fueron tomadas del caño de captación y conducción del agua residual cruda pretratada, iniciando el ensayo en primavera.

En el reactor biológico, el muestreo del REUt y de las macrófitas (M), se llevo a cabo cada treinta días estacionalmente (tres repeticiones) durante las campañas 2007 al 2008. La metodología de toma de muestras, almacenamiento, conservación, transporte y técnicas analíticas se realizaron de acuerdo a métodos estandarizados por APHA (2000).

### **4-2-2. Análisis físico –químicos**

Para la recolección de las muestras y su posterior análisis se utilizaron envases de vidrio. Para el REU se recolectaron a partir del caño de captación, a diferencia del REUt que se extrajeron del reactor biológico a 0,20 m de profundidad.

Se midieron estacionalmente *in situ* los siguientes parámetros: olor, color, temperatura (Temp. °C) por medio de un termómetro digital, pH (Termo-phmetro TPX Altronix), oxígeno disuelto (OD) (Oxímetro Lutron, DO-5508, Digital Oxygen Meter).

En laboratorio se analizaron: dureza total, conductividad, aniones y cationes, alcalinidad, sólidos disueltos totales (SDT) y arsénico. Se determinaron además <sup>1</sup>, 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). Nitrógeno Kjeldhal (parte 4500 N<sub>org</sub>- .B, Método Macro Kjeldhal); Nitritos + Nitratos (N-NO<sub>2</sub>+NO<sub>3</sub>) (parte 4500 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> E (a) y (b) modificado: Método de reducción de Cadmio, Colorimétrica con ácido gentísico) Nitrógeno Total (NT) (SM4500-Norg B/NO<sub>3</sub> B (a) y (b) Método de Reducción de Cadmio. Colorimetría con Ac. Gentísico. Método Macro Kjeldhal) y Fósforo Total (PT) (parte 4500 P-D, Digestión preliminar con Ac. Nítrico -Ac. Sulfúrico, resolución Colorimétrica. Método del Cloruro Estagnoso). Equipos Utilizados: Espectrofotómetro SHIMADZU. Espectrofotómetro DREL 2700 Marca HACH. Reactor DQO Marca HACH Modelo 45600 (APHA, 2000).

#### 4-2-3. Análisis bacteriológico<sup>2</sup>

Las muestras de REU, REUt se tomaron a 0,20 m de profundidad utilizando envases estériles de plástico y se mantuvieron refrigeradas hasta su procesamiento. Las macrófitas fueron colocadas en bolsas de plástico y refrigeradas hasta su procesamiento. Se realizó el recuento de Coliformes totales y Coliformes fecales (termotolerantes) por el Método del Número Más Probable modificado (NMP/100 mL) (Agar para Recuento a 35°C 24-48 hs). Para la determinación de Coliformes fecales, a partir de cada tubo positivo de Caldo Mac Conkey se sembró con ansa un tubo de Caldo Lactosa Bilis Verde Brillante y un tubo de agua peptonada para Indol. Los tubos se incubaron a 44,5°C durante 24-48 h. La interpretación de los resultados fue la siguiente: positivo: producción de gas e Indol positivo, negativo: ausencia de gas e Indol negativo. A los tubos positivos de caldo Lactosado Bilis Verde Brillante se los sembró en agar Eosina-Azul de Metileno (EAM). A las colonias positivas, con y sin brillo metálico, se les realizaron las pruebas para la identificación de *Escherichia coli*: Indol, Rojo de Metilo, Voges Proskauer y Citrato de Simmons. Se realizó enriquecimiento en caldo Cristal Violeta utilizando 100mL de la muestra y se incubó durante 24-48 h a 35°C. Se transfirió un inóculo a agar Cetramine para aislamiento de

<sup>1</sup> Las análisis fueron realizados en los laboratorios de Geología de la UNRC y de Efluentes (DETI) de la Universidad Nacional de Cuyo.

<sup>2</sup> Las muestras fueron remitidas para su análisis al Laboratorio del Departamento de Microbiología de la FCEFQyN de la UNRC.

*Pseudomonas aeruginosa*. A las colonias sospechosas se les realizó la prueba de Oxidasa, Catalasa, crecimiento en Caldo Nutritivo a 42°C, King A y King B. Para *Salmonella spp.* se realizó pre-enriquecimiento en caldo lactosado. Para ello se inocularon 25mL de muestra en 225mL de medio. El enriquecimiento selectivo se realizó en caldo Selenito-Cistina y caldo Tetratioato. Se aisló en agar Bismuto Sulfito y agar *Salmonella-Shigella* (SS). En los medios donde se observaron colonias sospechosas de ser *Salmonella spp.* se procedió a realizarles las pruebas bioquímicas de identificación: IMVIC; TSI; Fenilalanina, LIA, utilización de malonato y movilidad. Para la determinación de *Aeromonas spp.* se realizó la siembra de 10 mL de cada muestra en un volumen igual de agua peptonada alcalina y se incubó por 24-48 hs a 20°C y 35°C . A partir de dicho medio se sembró un inóculo en Agar Mac Conkey, se incubó 24-48 hs a 35°C y a las colonias sospechosas se les realizó las pruebas de Oxidasa, Catalasa e Indol (Bergey 's Manual, 1994; APHA, 2000). Se llevo a cabo el recuentos de Hongos y Levaduras (Agar Hongos y Levaduras a 28°C 48-72 hs, según normas ISO 7954 (1988)). Las variables bacteriológicas fueron logaritmizadas, siendo el NMP/100 mL igual al  $\log (NMP+1)/100$  mL.

#### **4-2-4. Análisis ficológico**

Las muestras en el REUt se obtuvieron en recipientes plásticos de 1 L, a 0,20 m de profundidad. Luego de concentradas por decantación, fueron colocadas en formol al 3%. El estudio taxonómico de las especies se realizó según las claves de identificación específicas (Parra, 2006). El recuento de las muestras se realizó por conteo directo, mediante microscopía óptica (Whitton *et al.*, 1991). Los resultados fueron expresados en número de cél. /25  $\mu$ L.

#### **4-3. Determinación de biomasa**

Para determinar la biomasa se tomaron muestras una en el centro y otra en el costado del reactor, cada treinta días estacionalmente durante los periodos 2007-2008, utilizando un cuadrante construido con cloruro de polivinilo (PVC) de 0,5 m x 0,5 m y un rastrillo de metal con mango largo (Figura N° 8).

El material fresco obtenido se peso en una balanza electrónica, previo escurrimiento de las muestras en bolsas de arpillera sintética durante una semana. La determinación del peso seco se obtuvo secando las muestras en una estufa a 60 °C por 48 h, luego se calculó el contenido de materia seca como g de biomasa  $m^{-2}$  (Clostre y Suni, 2007).



**Figura N° 8.** Muestreo de macrófitas utilizando un cuadrante de cloruro de polivinilo (PVC)

Fuente: Crespi, R.2007 Planta Piloto de Tratamiento y Reutilización de Aguas Residuales Urbanas. UNRC.

#### **4-4. Análisis estadístico de los datos**

Para analizar el comportamiento del REU, REUt y macrófitas - unidades experimentales- se midieron diferentes parámetros considerados en este estudio como variables explicativas, durante los años 2007-2008.

Las variables físico-químicas y bacteriológicas evaluadas en cada estación del año, se analizaron aplicando el software estadístico Info-Stat ver. 2009.

Se realizaron diagramas de barras que representan valores medios de una o más variables en relación a una o más variables de clasificación. También se confeccionaron diagramas de diferencia de medias utilizando un campo base que se encuentra en el eje Y. En este se puede escribir un valor de referencia para lograr gráficos de barras que se proyecten por encima y por debajo del valor propuesto (Balzarini, 2004). Al establecer un valor base, todos los valores de respuesta para cada valor en el eje X que superen el valor propuesto quedarán graficados por encima de ese valor, mientras que los que no lo superen, serán graficados por debajo, representando la diferencia con respecto al valor base, lo que permite observar las diferencias entre el REU y REUt.

Mediante el análisis multivariado de componentes principales (ACP), se analizó el comportamiento de las unidades muestrales y parámetros medidos, pudiéndose

establecer cual de ellos explica la mayor variabilidad estacional, lo que permitió identificar tendencias generales en distintas épocas del año (Balzarini, 2004).

El ACP y los gráficos *biplot* son técnicas utilizadas para reducción de dimensión y permiten examinar todos los datos en un espacio de menor dimensión que el espacio original de las variables (Balzarini, 2004).

Otro método que se utilizó para representar comparativamente las observaciones multivariadas fueron gráficos de estrellas. En estos, cada variable se representó por el radio de una estrella, cuya magnitud está dada por el valor de la variable, por lo tanto si varias observaciones son representadas en una misma estrella, tienen el mismo valor para el criterio de clasificación. La longitud del radio es función del valor medio de cada variable. Así, formas de estrellas diferentes indican cuales variables marcan mayor diferencia entre las observaciones (Balzarini, 2004).

## **5. RESULTADOS**

### **5.1. Resultados de parámetros físico-químicos y biológicos.**

A continuación se presentan las tablas con los resultados de los valores físico-químicos y biológicos evaluados en el REU y REUt estacionalmente durante las campañas de los años 2007 y 2008.

**Tabla Nº 1.** Estadística descriptiva de los parámetros físico-químicos del REU y REUt, evaluados en invierno (REUtI), otoño (REUtO), primavera (REUtP) y verano (REUtV) durante las campañas 2007-2008.

Parámetro	Unidad	REU			REUtI			REUtO			REUtP			REUtV		
		n	Media	D.E.	n	Media	D.E.	n	Media	D.E.	n	Media	D.E.	n	Media	D.E.
Temperatura	°C	5	18,22	4,87	3	10,27	0,21	3	18,73	0,75	6	20,17	0,68	3	23,1	0,96
pH		5	7,13	0,21	3	6,54	0,04	3	6,49	0,03	6	6,91	0,33	3	6,87	0,32
OD	mg L <sup>-1</sup>	5	1,16	0,05	3	1,3	0,18	3	1,12	0,03	6	1,1	0,07	3	1,15	0,05
CE	µScm L <sup>-1</sup>	5	924	54,56	3	373	2,65	3	387	1	6	424,13	18,8	3	410,24	1,05
DBO	mg L <sup>-1</sup>	5	32,4	7,77	3	5	0	3	5	0	6	5,83	2,04	3	5	0
DQO	mg L <sup>-1</sup>	5	211	41,29	3	130,17	0,76	3	120,4	0,53	6	98,53	8,89	3	80,47	0,45
PT	mg L <sup>-1</sup>	5	3,66	1,15	3	0,84	0,06	3	1,5	0,02	6	1,44	0,26	3	2,1	0,1
NO3-/NO2-	mg L <sup>-1</sup>	5	0,7	0,66	3	0,41	0,01	3	0,6	0,01	6	0,79	0,87	3	0,71	0,01
NT	mg L <sup>-1</sup>	5	33,14	13,89	3	4,6	0,3	3	8,11	0,09	6	7,7	2,85	3	13,13	0,15
SDT	mgL <sup>-1</sup>	5	646,29	51,35	3	264,7	4,56	3	277,07	9,65	6	339,27	17,13	3	301,57	1,78
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg L <sup>-1</sup>	5	449,7	39,58	3	187,67	6,81	3	210,77	4,42	6	212,02	7,82	3	204,6	5,99
SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	mg L <sup>-1</sup>	5	27,48	9,91	3	16,8	0,26	3	18,13	0,91	6	19,58	8,83	3	14,27	0,31
Cl <sup>-</sup>	mg L <sup>-1</sup>	5	27,42	6,86	3	18,93	0,51	3	21,9	1	6	24,15	8,02	3	26,4	0,36
Na <sup>+</sup>	mg L <sup>-1</sup>	5	70,42	26,42	3	10,13	0,15	3	12,4	0,61	6	23,37	1,99	3	20,07	0,16
K <sup>+</sup>	mg L <sup>-1</sup>	5	16,12	3,54	3	14,2	0,21	3	14,97	0,51	6	16,95	1,86	3	14,33	0,42
Ca <sup>+2</sup>	mg L <sup>-1</sup>	5	57,14	17,73	3	26,27	0,25	3	27,33	0,71	6	44,7	10,52	3	41,27	0,31
Mg <sup>+2</sup>	mg L <sup>-1</sup>	5	6,3	2,26	3	7,43	0,31	3	8,23	0,06	6	4,73	1,48	3	3,5	0,4
F <sup>-</sup>	mg L <sup>-1</sup>	5	0,54	0,07	3	0,3	0,01	3	0,36	0,02	6	0,37	0,04	3	0,33	0,02
As	µg L <sup>-1</sup>	5	23,88	34,09	3	0	0	3	0	0	6	0	0	3	0	0
Dureza Total	meq L <sup>-1</sup>	5	2,96	0,68	3	1,86	0,15	3	2,03	0,06	6	2,6	0,55	3	2,1	0,2
Alcalinidad	meq L <sup>-1</sup>	5	7,5	0,41	3	2,47	0,25	3	3,35	0,05	6	3,17	0,13	3	2,95	0,13
RAS	meq L <sup>-1</sup>	5	1,64	0,64	3	0,33	0,03	3	0,38	0,08	6	0,68	0,19	3	0,7	0,02
CSR	meq L <sup>-1</sup>	5	3,6	1,75	3	1,14	0,05	3	1,38	0,11	6	0,94	0,83	3	1,55	0,08

\*REU: n=5 \*REUtV: n=3 \*REUtO: n=3 \*REUtI: n=3 \*REUtP: n=6

La Tabla N° 2 muestra los resultados de los valores promedios del log y su correspondiente desvío estándar de los parámetros bacteriológicos, determinados en REU y REUt, en el período 2007-2008.

**Tabla N° 2.** Parámetros bacteriológicos determinados REU y REUt en las distintas estaciones del año (2007-2008).

Parámetro	Recuento total aerobios/anaerobios facultativos (ufc mL <sup>-1</sup> )		Coliformes totales (NMP 100 mL <sup>-1</sup> )		Coliformes fecales (NMP 100 mL <sup>-1</sup> )	
	Media	D.E	Media	D.E	Media	D.E
REU	5,00	0,99	5,78	0,89	5,78	0,89
REUtP	5,49	0,02	5,86	1,64	5,23	2,33
REUtV	3,54	0,001	4,37	0,01	3,12	0,003
REUtO	5,12	0,003	5,30	0,02	4,59	0,001
REUtI	3,70	0,01	3,10	0,02	2,61	0,01

\*REU= n 5

\*REUtI= n 3

\*REUtO= n 3

\*REUtP= n 6

\*REUtV= n 3

Los aislamientos, identificación y recuento de *E. coli*, *Pseudomonas spp.*, *Salmonella spp.*, *Aeromonas spp.*, hongos y levaduras en REU, REUt se muestran en la Tabla N° 3. No se observaron diferencias entre REU y REUt con respecto a la presencia de estas bacterias a excepción de *E. coli* que estuvo presente en el REUt en la época de verano y otoño. En el REUtI se encontró *Aeromonas*. La presencia de hongos y levaduras son mayores en REU que en REUt en todas las estaciones del año.

**Tabla N° 3.** Parámetros bacteriológicos determinados en REU y REUt (2007-2008)

Tipo de Efluente	<i>E. coli</i>	<i>Salmonella sp</i>	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	<i>Aeromonas</i>	Hongos y Levaduras (ufc mL <sup>-1</sup> )
REU	+	+	+	+	1,3x10 <sup>5</sup>
REUtP	-	-	-	-	2,8x10 <sup>4</sup>
REUtV	+	-	+	-	2x10 <sup>3</sup>
REUtO	+	-	+	-	3,2x10 <sup>4</sup>
REUtI	-	-	-	+	5 x10 <sup>2</sup>

\*REU= n 5

\*REUtI= n 3

\*REUtO= n 3

\*REUtP= n 6

\*REUtV= n 3

+: presencia -: ausencia

La tabla N° 4 muestra los valores promedios de los parámetros microbiológicos determinados en macrófitas estacionalmente en los períodos 2007-2008.

El recuento total de microorganismos, fue mayor en primavera, que en verano y otoño, no obstante coliformes totales y coliformes fecales se encontraron en igual cantidad en verano.

**Tabla N° 4.** Valores medios de los parámetros bacteriológicos determinados en macrófitas durante la primavera, verano, otoño e invierno (2007-2008).

Estación del año	Recuento Total aerobios/anaerobios facultativos (ufc mL <sup>-1</sup> )	Coliformes totales (NMP/100 mL <sup>-1</sup> )	Coliformes fecales (NMP/100 mL <sup>-1</sup> )
Primavera	3,6x10 <sup>6</sup>	3,4x10 <sup>5</sup>	3,4x10 <sup>5</sup>
Verano	5,1x10 <sup>5</sup>	2,3x10 <sup>5</sup>	2,3x10 <sup>5</sup>
Otoño	1,0x10 <sup>6</sup>	1,4x10 <sup>6</sup>	1,4x10 <sup>6</sup>
Invierno	2,4x10 <sup>6</sup>	6,6x10 <sup>5</sup>	5,6x10 <sup>5</sup>

\*REU n=5    \*REUtI n= 3    \*REUtO n= 3    \*REUtP n= 6    \*REUtV n=3

Los aislamientos, identificación y recuento de *E. coli*, *Pseudomonas spp.*, *Salmonella spp.* y *Aeromonas spp.*, en macrófitas se muestran en las Tabla N° 5.

Las mismas revelaron presencia de *E. coli* y *P. aeruginosa* en la estación estival.

**Tabla N° 5.** Parámetros bacteriológicos determinados en macrófitas durante la primavera, verano, otoño e invierno (2007-2008).

Estación del año	<i>E. coli</i>	<i>Salmonella sp</i>	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	<i>Aeromonas</i>
Primavera	-	-	-	-
Verano	+	-	+	-
Otoño	-	-	-	-
Invierno	-	-	-	-

\*REU= n 5    \*REUtI= n 3    \*REUtO= n 3    \*REUtP= n 6    \*REUtV= n 3  
+ presencia    - ausencia

**Tabla N° 6.** Valores promedios de la biomasa de macrófitas y su desvío estándar determinada durante la primavera, verano, otoño e invierno (2007-2008)

Tipo de Efluente	Parámetro	n	Media	D.E.
REUtP	Biomasa- g.m <sup>-2</sup>	6	269.24	26.12
REUtV	Biomasa-g.m <sup>-2</sup>	3	342.47	64.49
REUtO	Biomasa- g.m <sup>-2</sup>	3	205.53	50.83
REUtI	Biomasa- g.m <sup>-2</sup>	3	110.80	2.65

## 5.2. Resultados análisis estadísticos

### 5-2.1. Diagramas de barras

Para analizar el comportamiento de las variables físico-químicas y bacteriológicas se consideraron todas las estaciones del año en el período 2007-2008 (n=15 para el REUt y n=5 para el REU), se realizaron gráficos de barras para visualizar el valor de la media con su correspondiente error estándar (EE).

La Figura N° 9 muestra los valores promedios de la Temperatura del REU y REUt, con su correspondiente error estándar, registrándose un valor de 18,22°C (2,18) y 18,50°C (1,17), respectivamente. Para la variable pH se observó una media de 7,13 (0,09) y 6,75 (0,08) para el REU y REUt respectivamente.

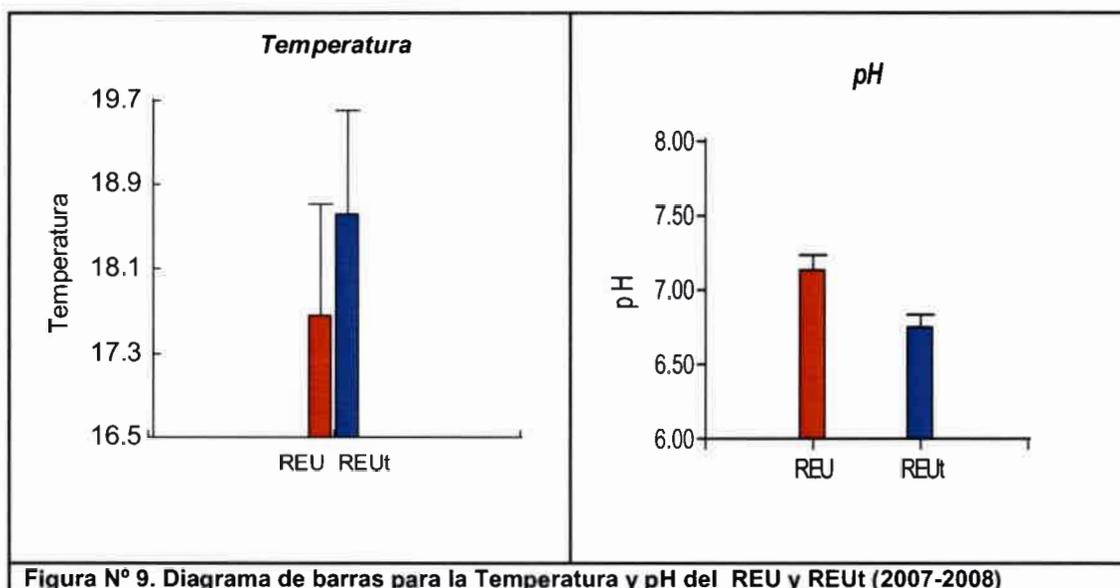
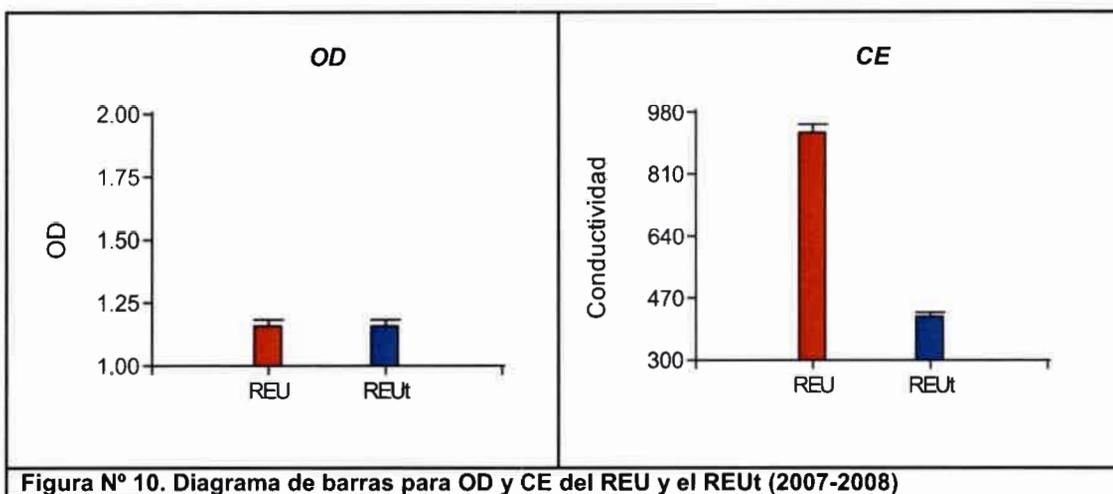
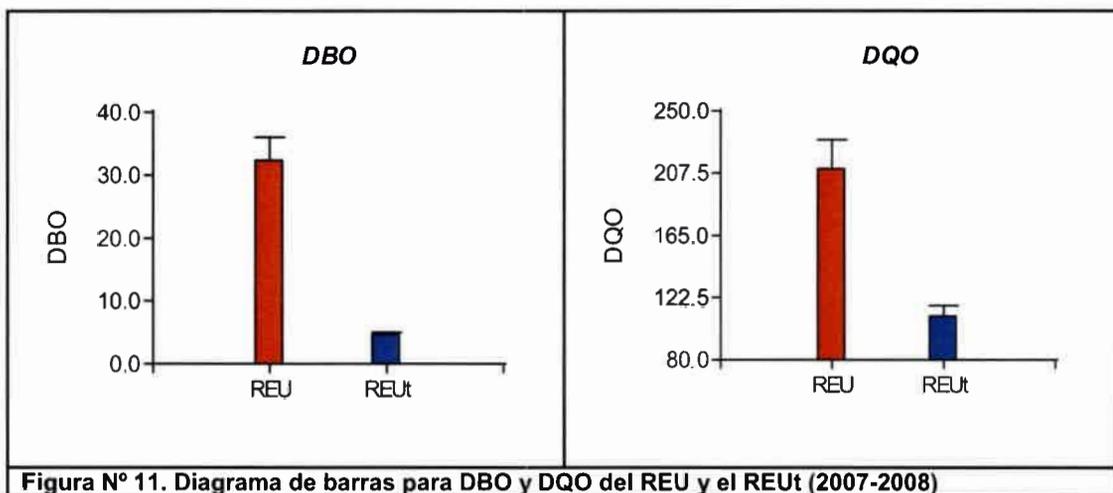


Figura N° 9. Diagrama de barras para la Temperatura y pH del REU y REUt (2007-2008)

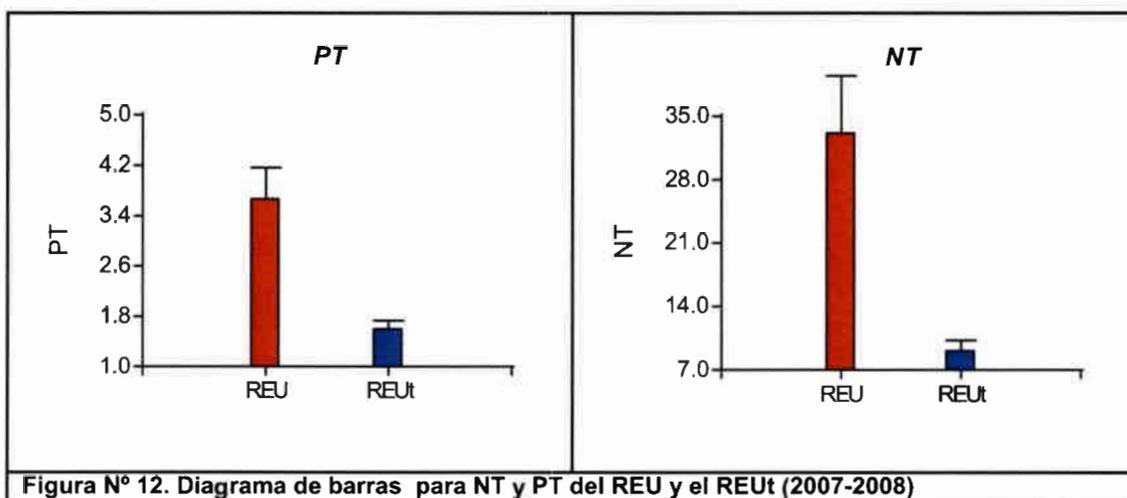
En la Figura N° 10 se observó el OD para el REU y REUt encontrándose un valor medio y su correspondiente error estándar de 1,16 mg<sup>-1</sup> (0,02) y 1,15 mg<sup>-1</sup>(0,03), respectivamente. La CE registró una media de 924 μS cm<sup>-1</sup> (24,40) para el REU y 403,70 μS cm<sup>-1</sup> (6,20) para REUt.



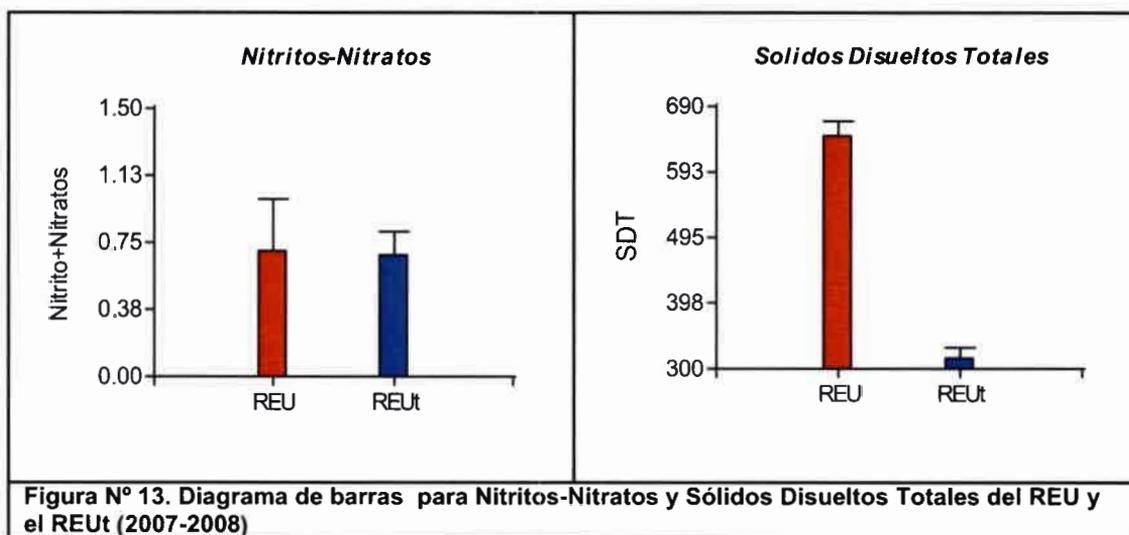
La DBO representada en la Figura N° 11 muestra los valores medios para el REU que son de 32,4 mg L<sup>-1</sup> (3,47) y para el REUt fue de 6,67 mg L<sup>-1</sup> (1,67). En el REU y REUt la DQO exhibe valores que fueron iguales a 211 mg L<sup>-1</sup> (18,47) y 105,62 (4,91) mg L<sup>-1</sup>, respectivamente.



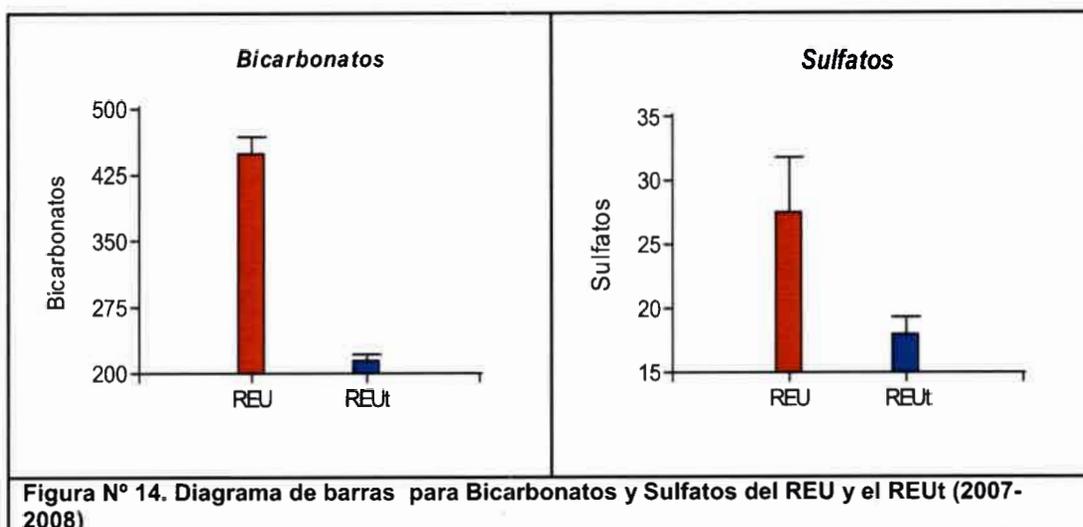
En la Figura N° 12 se observó para NT valores medios para el REU de 33,14 mg L<sup>-1</sup> (6,41) y para el REUt de 8,75 mg L<sup>-1</sup> (0,86); además para REU y REUt los valores promedios del PT fueron iguales a 3,66 mg L<sup>-1</sup> (0,51) y 1,46 mg L<sup>-1</sup> (0,11), respectivamente.



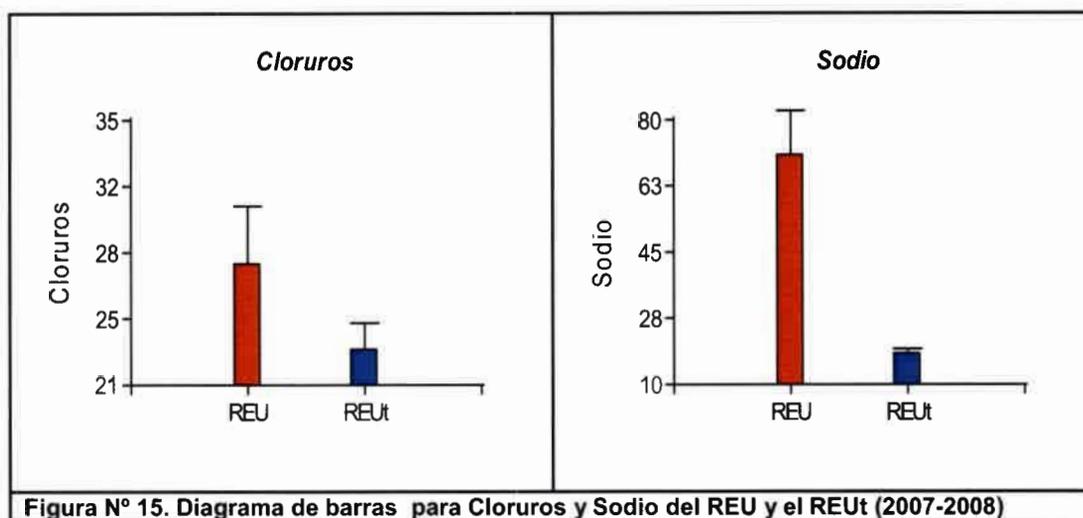
En la Figura N° 13 la variable Nitritos-Nitratos registraron un valor medio de 0,70 mg L<sup>-1</sup> (0,30) y de 0,66 mg L<sup>-1</sup> (0,14) para REU y REUt, respectivamente. Los promedios para SDT fueron para el REU de 661,58 mg L<sup>-1</sup> (19,80) y para el REUt iguales a 304,37 mg L<sup>-1</sup>(8,73).



Se observaron valores medios para las variables Sulfatos y Bicarbonatos iguales a 27,48 mg L<sup>-1</sup> (4,43) y 449,7 mg L<sup>-1</sup>(17,70), para REU. En el REUt los valores fueron de 17,67 mg L<sup>-1</sup> (1,47) y 205,41 mg L<sup>-1</sup>(2,93) (Figura N° 14).



El gráfico para las variables Cloruros y Sodio representados en la Figura N° 15 muestra los promedios para REU iguales a 27,42 mg L<sup>-1</sup> (3,07) y 70,42 mg L<sup>-1</sup> (11,82). En el REUt los valores medios fueron de 23,11 mg L<sup>-1</sup> (1,41) y 17,87 mg L<sup>-1</sup> (1,52).



Para las variables Potasio y Calcio se observaron los siguientes promedios 16,12 mg L<sup>-1</sup> (1,58) y 57,14 mg L<sup>-1</sup> (7,93) para REU y para REUt los valores fueron de 15,48 mg L<sup>-1</sup> (0,44) y 36,85 mg L<sup>-1</sup> (2,75), respectivamente (Figura N° 16).

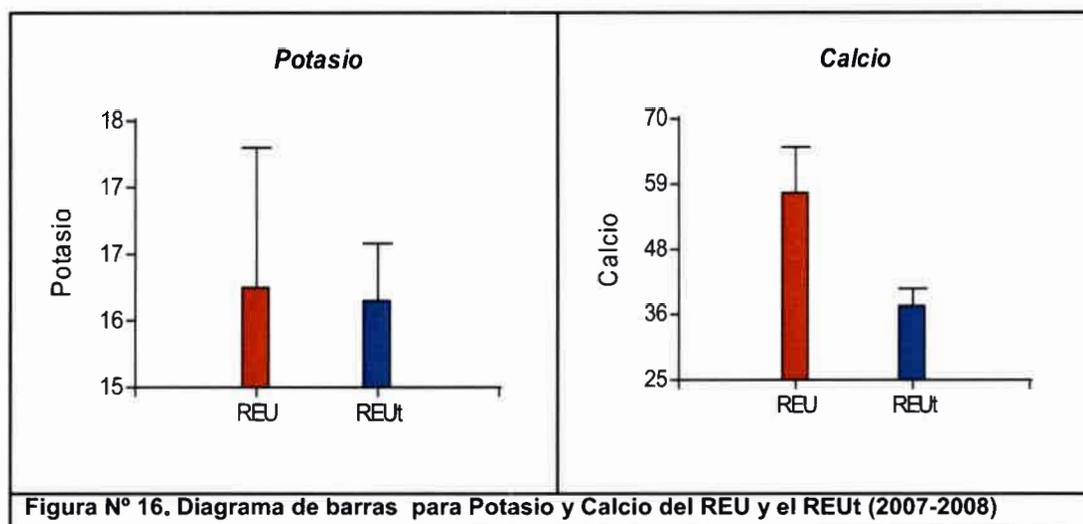


Figura N° 16. Diagrama de barras para Potasio y Calcio del REU y el REUt (2007-2008)

Para Magnesio y Fluoruros se pudieron observar los siguientes valores medios  $6,30 \text{ mg L}^{-1}(1,01)$  y  $0,54 \text{ mg L}^{-1}(0,03)$  para REU. En el REUt los valores fueron iguales a  $5,73 \text{ mg L}^{-1}(0,53)$  y  $0,35 \text{ mg L}^{-1}(0,01)$ . (Figura N° 17).

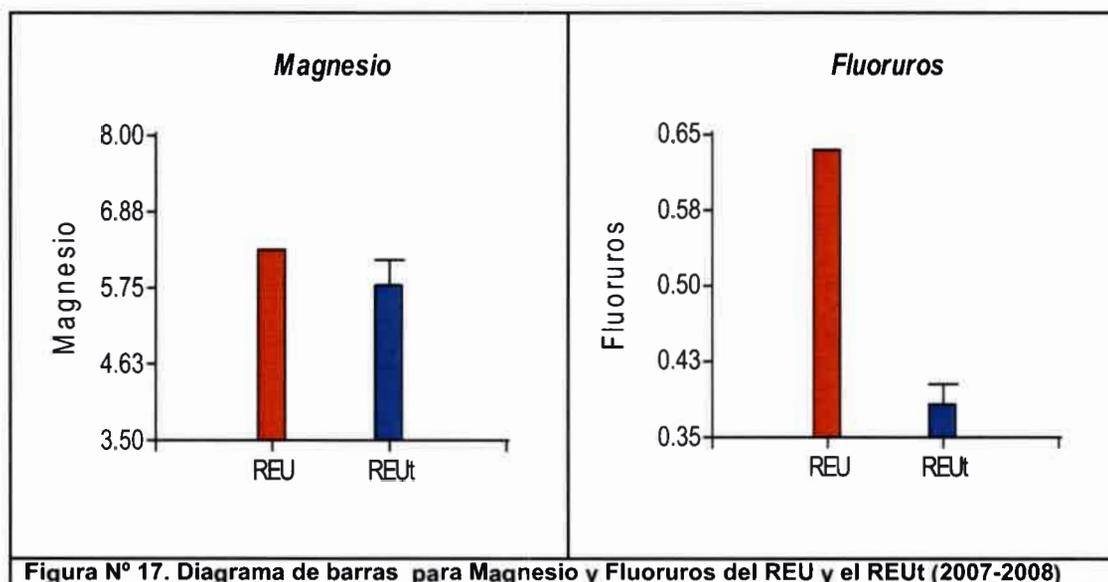
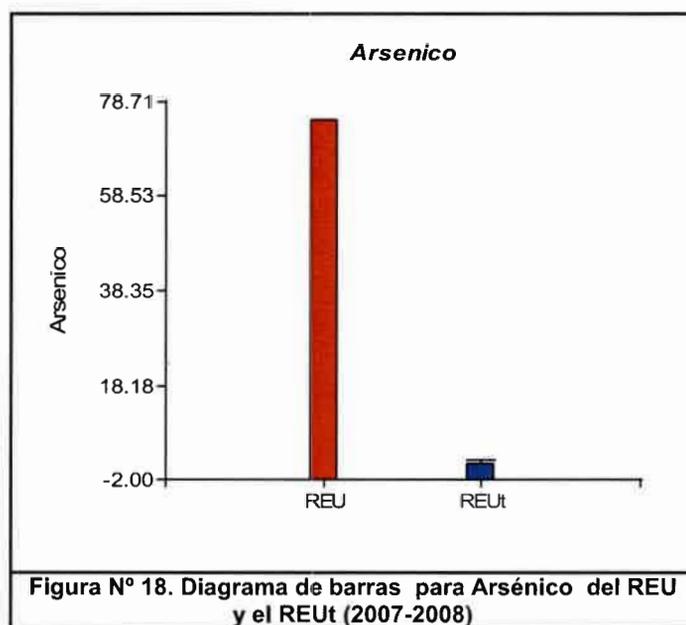
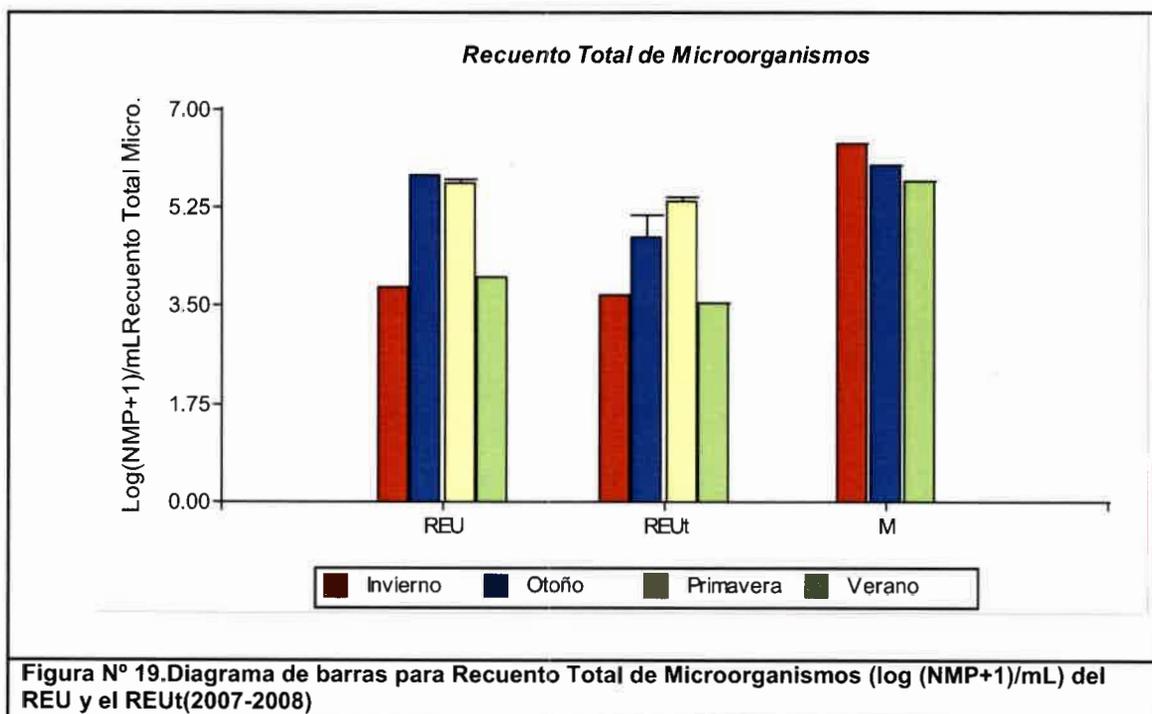


Figura N° 17. Diagrama de barras para Magnesio y Fluoruros del REU y el REUt (2007-2008)

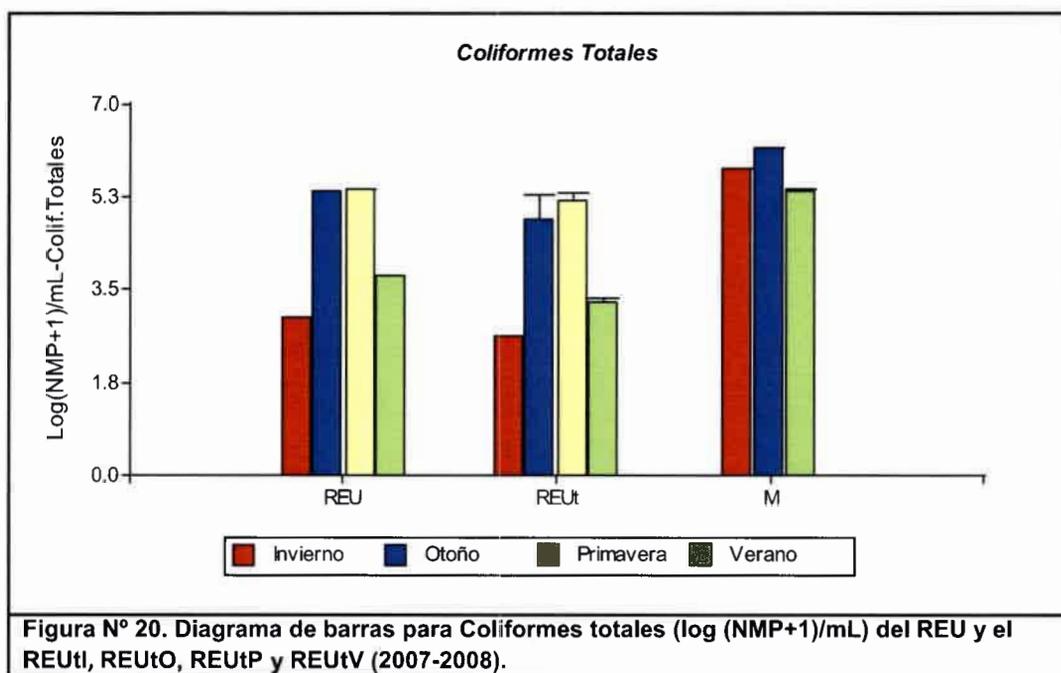
El Arsénico presentó los siguientes promedios  $29,88 \mu\text{g L}^{-1}(14,51)$  para REU. En el REUt los valores fueron iguales a  $3,92 \mu\text{g L}^{-1}(0,00)$  (Figura N° 18).



La Figura N° 19 representa los valores medios del log (NMP+1) mL<sup>-1</sup>, para la variable Recuento total de microorganismos aerobios y anaerobios facultativos, para REU los valores encontrados son de log 3,85; log 5,81; log 5,68; log 4,00 en invierno, otoño, primavera y verano respectivamente. Para el REUt los valores son de log 3,7; log 4,72; log 5,37 ; log 3,54 en invierno, otoño, primavera y verano respectivamente. En M se registraron valores iguales a log 6,38 en el invierno, log 6,00 en otoño y log 5,71 en el verano.



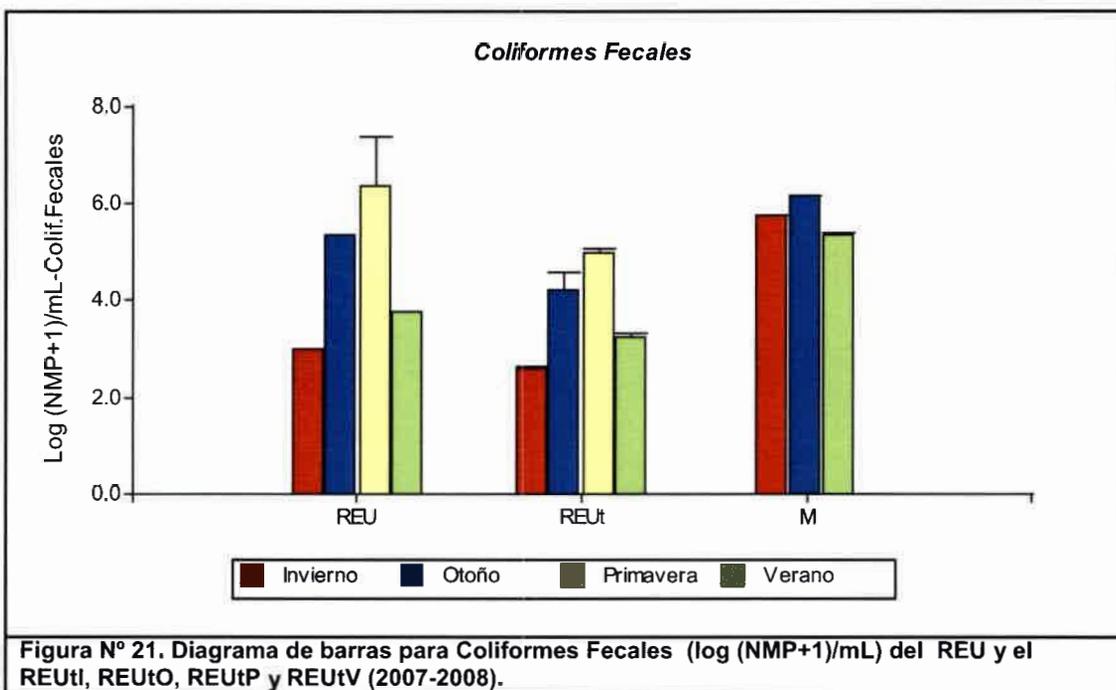
Los Coliformes totales, representados en la Figura N° 20 muestran los valores promedios del log (NMP+1) mL<sup>-1</sup>, para REU son: log 3,00; log 5,40; log 5,40; log 3,80 en invierno, otoño, primavera y verano respectivamente. Para el REUt los valores son de log 2,6; log 4,80; log 5,20; log 3,30 en invierno, otoño, primavera y verano respectivamente. En M se registraron valores iguales a log 5,80 en el invierno, log 6,20 en otoño y log 5,40 en el verano.



Los Coliformes fecales representados en la Figura N° 21 mostraron valores promedios de log 3,1; log 5,3; log 6,4; log 3,9 en invierno, otoño, primavera y verano respectivamente, en el REU y para el REUt se obtuvieron los siguientes valores: log 2,5; log 4,1; log 5,3 y log 3,2 en invierno, otoño, primavera y verano respectivamente .

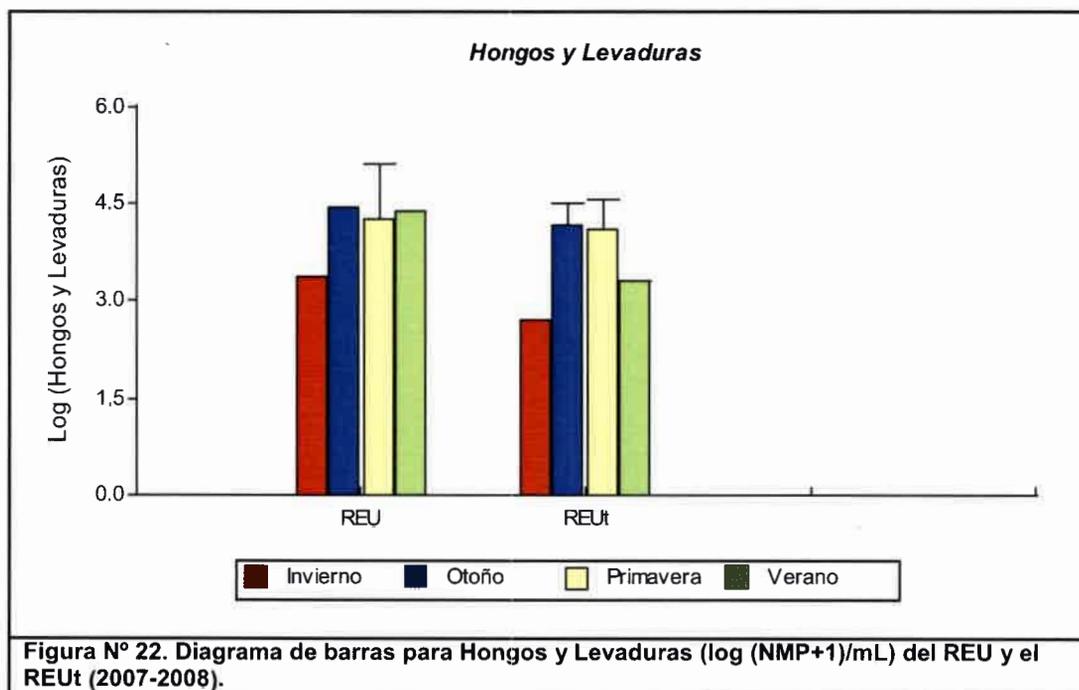
En M se registraron valores iguales a log 5,4 en invierno, log 6,3 en otoño y log 5,3 en el verano.

En la primavera no se registraron valores promedios de log para las variables Recuento total de microorganismos aerobios y anaerobios facultativos, Coliformes totales y Coliformes fecales, en las macrófitas acuáticas, debido a que comenzaba el estudio y el reactor biológico junto con las macrófitas comenzaban a funcionar.



El recuento de Hongos y Levaduras demostraron valores medios para el REU de log 3,4; log 4,4; log 4,3 y log 4,4 en las diferentes estaciones del año.

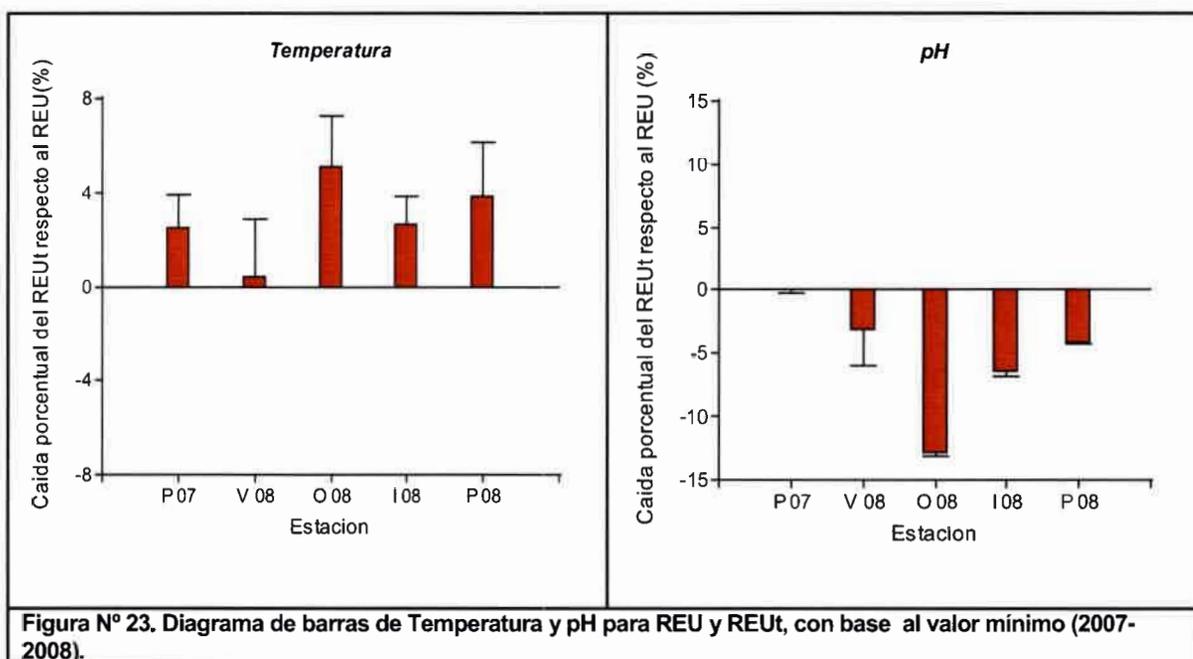
En el REUtI los valores fueron: log 2,8; en el REUtO fueron de log 3,9; mientras que en el REUtP el valor fue igual al log 5,4 y para el REUtV el promedio fue de log 3,4.



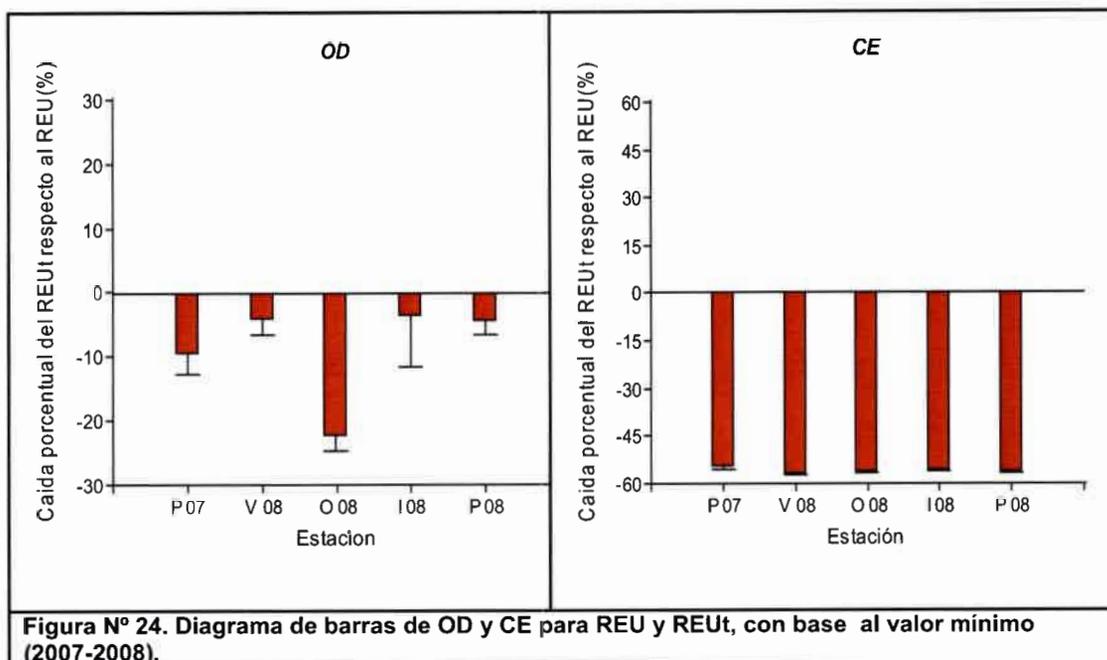
### 5-2.2. Diagrama de barras. Diferencia de Medias. - Análisis de las diferencias entre REUt y REU.

La diferencia del REUt respecto del REU para la Temperatura demostró en la primavera 2007 un aumento del 3%, en tanto que en el verano y el otoño de 2008 los aumentos fueron del 1% y 5% respectivamente, para el invierno y la primavera 2008 el aumento fue del 3% y 4%.

El pH en la primavera de 2007 tuvo una disminución del 3% entre REU y el REUt; en 2008 disminuyó un 5% en verano, 15% en otoño, 7% en invierno y en primavera 4% (Figura N° 23).

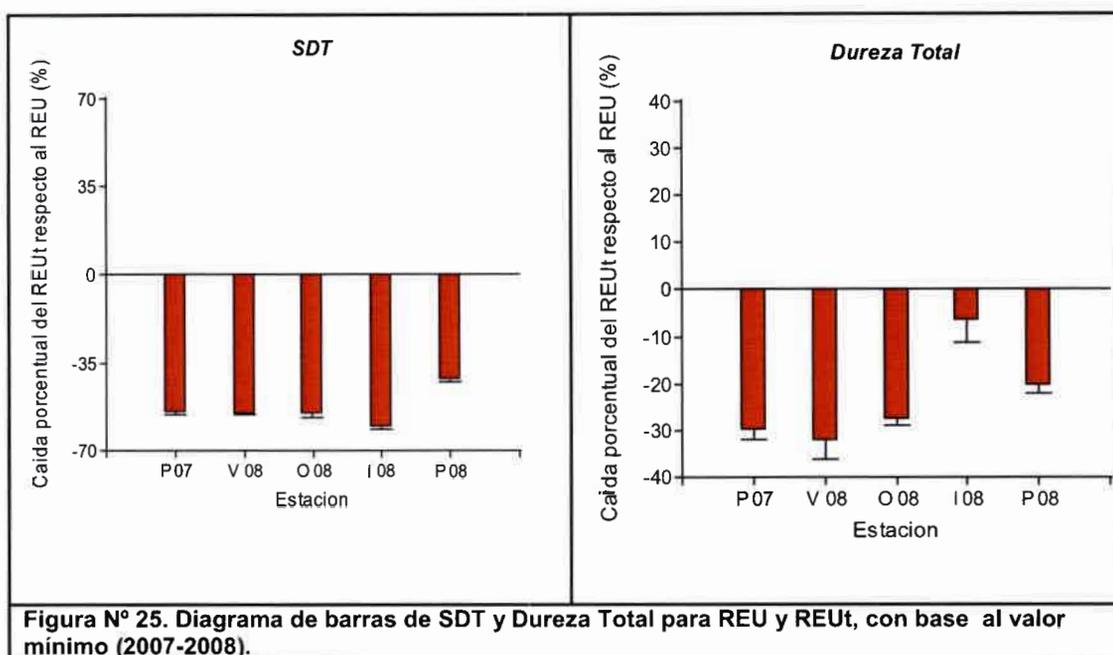


La figura N° 24 mostró que en los períodos 2007- 2008 todos los valores de CE presentaron una disminución del 56% en todas las estaciones; mientras que el OD mostró su mayor disminución del 22% en otoño del 2008, en el resto de las estaciones las disminuciones fueron menores.



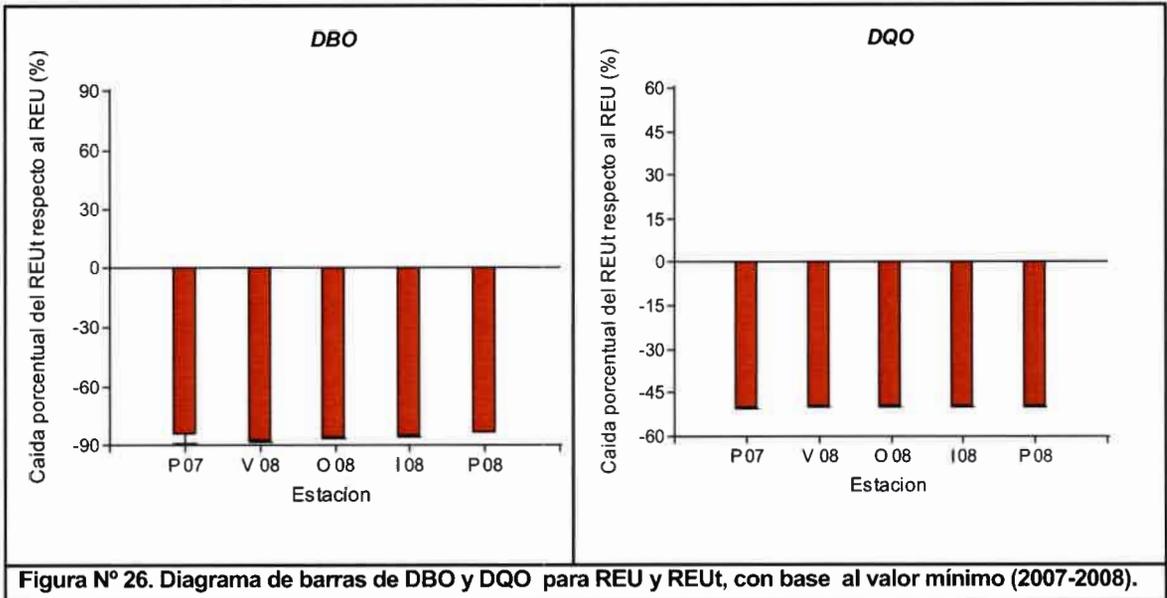
**Figura N° 24. Diagrama de barras de OD y CE para REU y REUt, con base al valor mínimo (2007-2008).**

Los SDT en la primavera de 2007 disminuyeron un 55%, para el verano, otoño, e invierno y primavera del período 2008 la disminución fue 55%,56%,61% y 42% respectivamente. La Dureza Total disminuyó un 30% en la primavera de 2007, en 2008 la disminución fue de un 32% en verano, 28% en otoño, 7% en invierno y 21% en primavera (Figura N° 25).

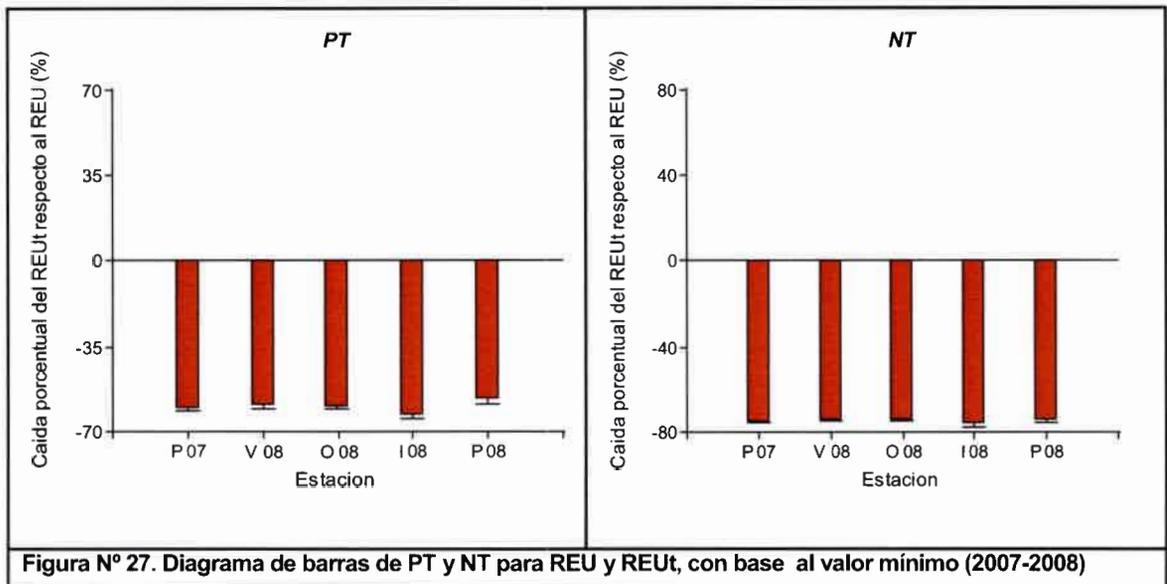


**Figura N° 25. Diagrama de barras de SDT y Dureza Total para REU y REUt, con base al valor mínimo (2007-2008).**

Para DBO la disminución fue del 85% durante la primavera de 2007 y para el año 2008 las disminuciones fueron de 88% en verano, 87% en otoño, 86% en invierno y 84% en primavera. La DQO disminuyó un 50% en todas las estaciones durante los periodos 2007-2008. (Figura N° 26).

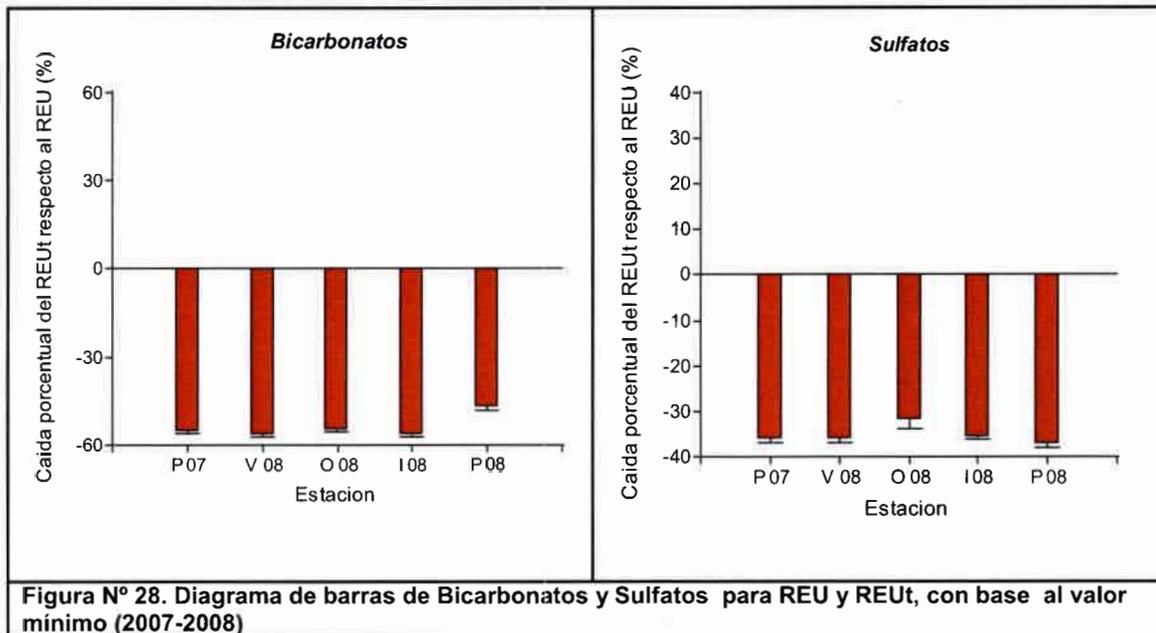


En la primavera del 2007 el PT disminuyó un 61%. En 2008 la disminución fue del 60% en verano y otoño, 64% en invierno y 67% en primavera, para NT en la primavera de 2007 la disminución fue de 75%. En el 2008 las disminuciones fueron del 75% para el verano, otoño y primavera, en el invierno el NT disminuyó en un 77% (Figura N° 27).



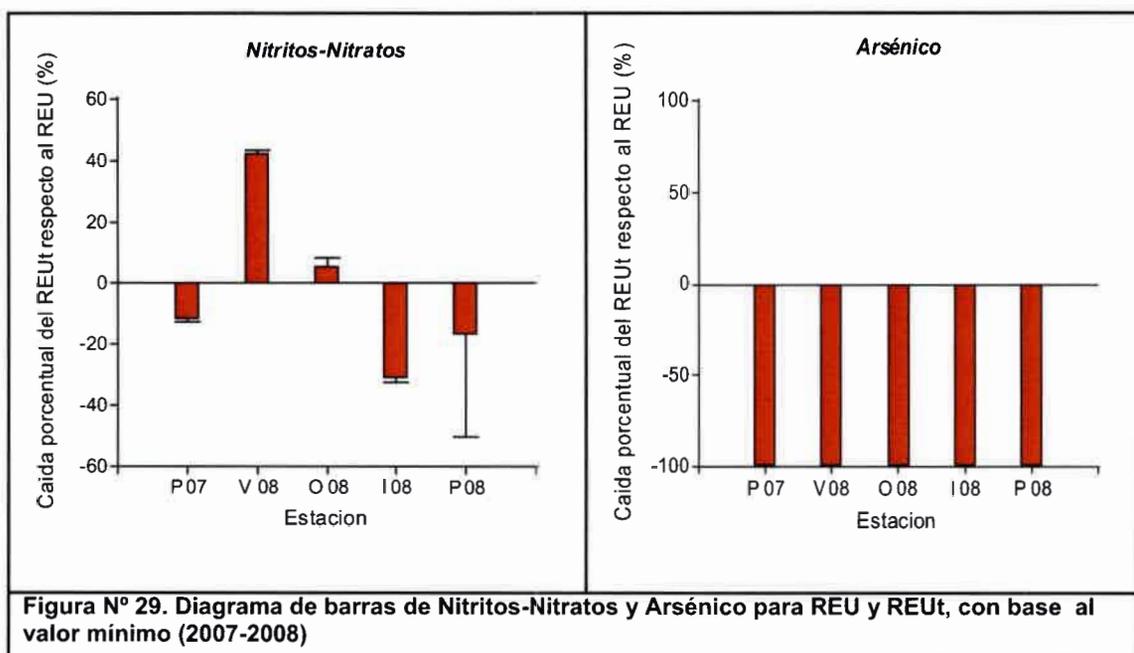
Los Bicarbonatos muestran una disminución del 56% en la primavera del 2007, y en 2008 la disminución fue del 56% invierno y verano, 55% en otoño y 47% en primavera. En la

primavera de 2007 los Sulfatos disminuyeron un 36%, para el año 2008 en otoño la disminución fue del 32% y en primavera disminuyó el 37%, en el verano y el invierno la disminución fue del 36%, (Figura N° 28).

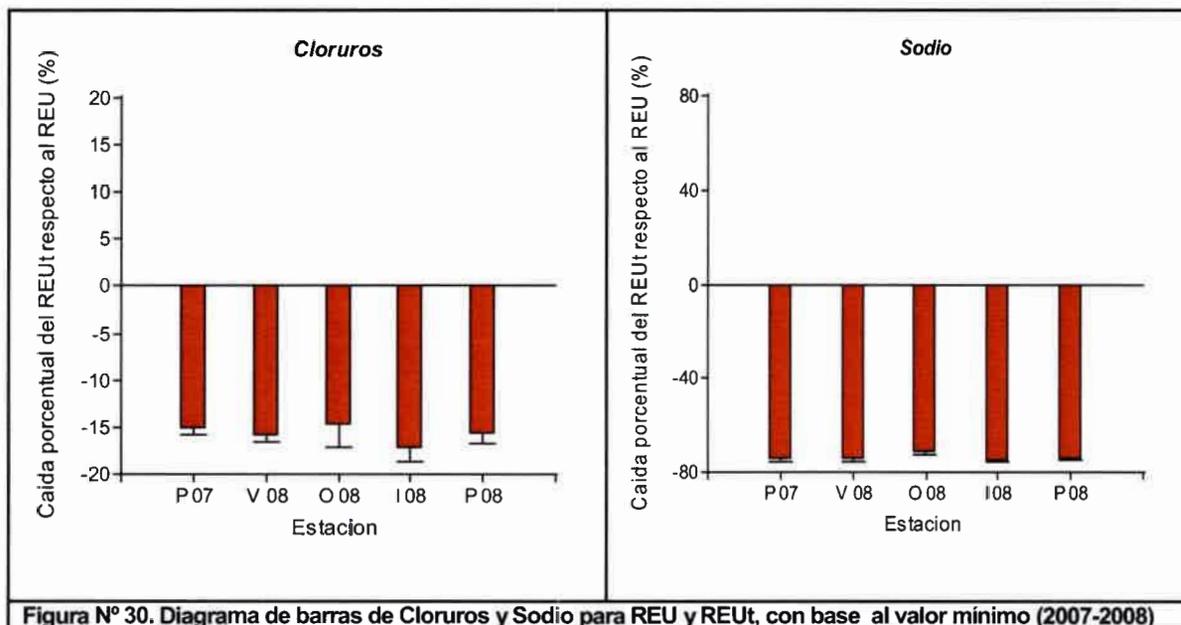


En Nitritos-Nitratos se observó una disminución del 12% en la primavera de 2007 y los valores en 2008 aumentaron un 42% en verano y un 5% en otoño; para el invierno la disminución fue de un 31% y para la primavera fue del 17%.

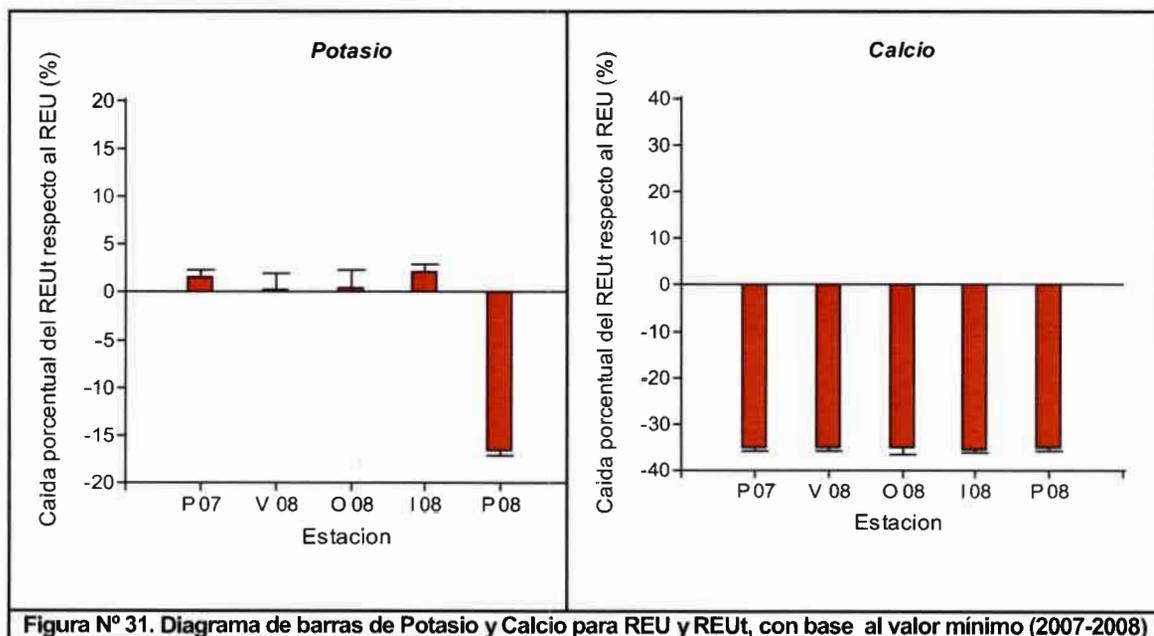
El Arsénico disminuyó un 100% en todas las estaciones del año en los periodos 2007-2008 (Figura N° 29).



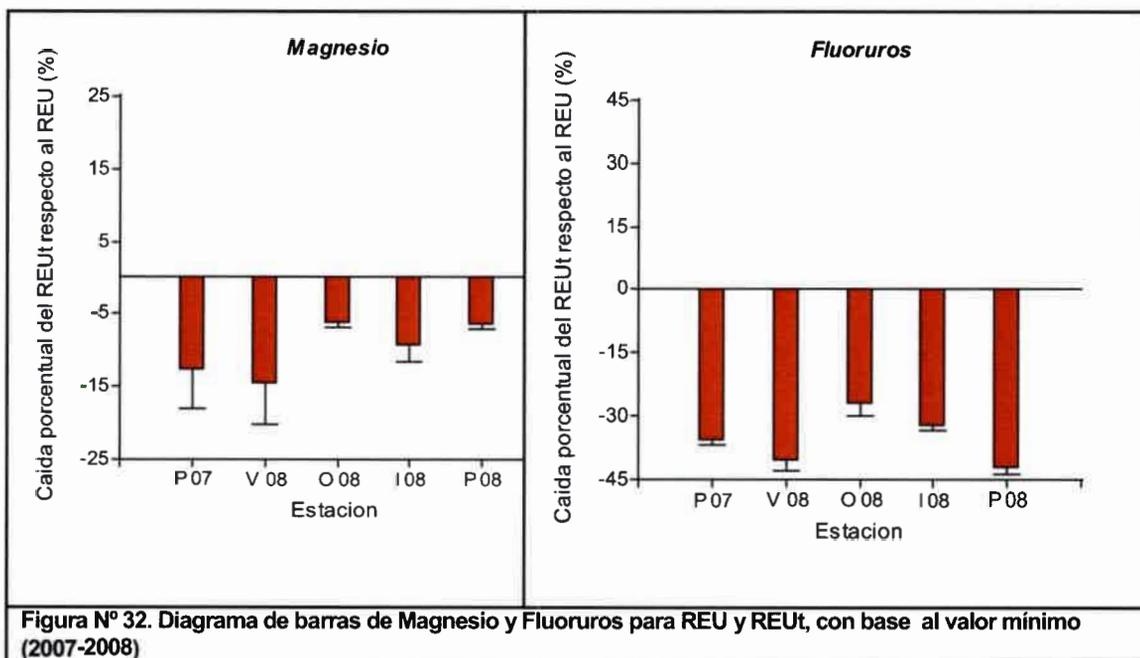
En la primavera de 2007 los Cloruros disminuyen un 15%. En el 2008 las disminuciones fueron del 16% en verano, 15% en otoño, 17% en invierno y 16% en primavera; para el Sodio las disminuciones fueron del 75% en todas las estaciones en ambos (Figura N° 30).



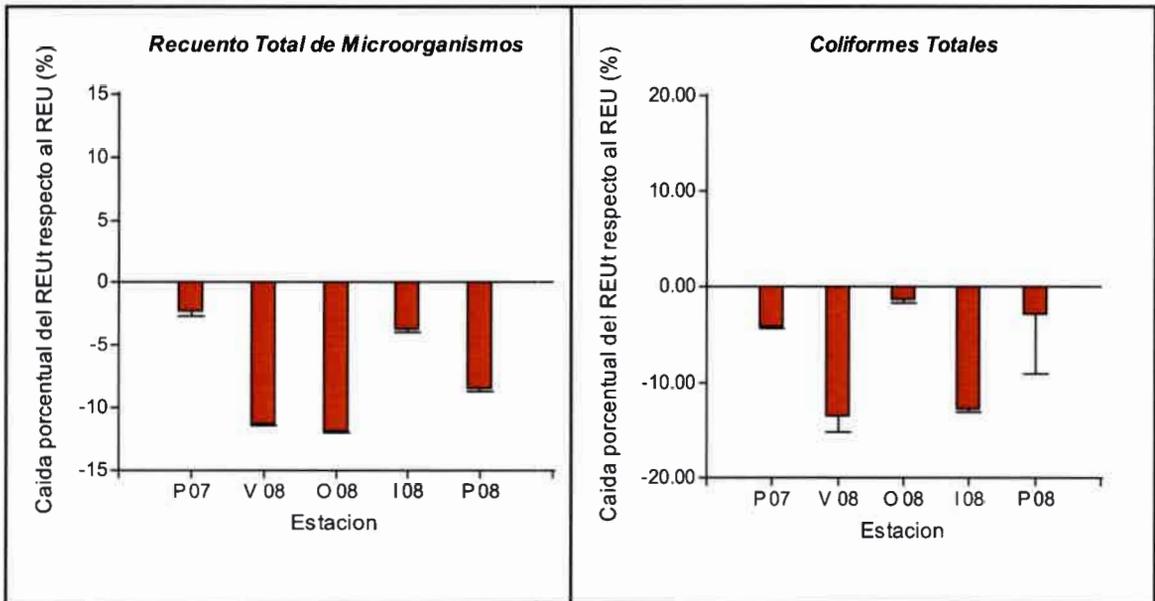
El Potasio en 2007 aumento un 2% en primavera. En el 2008 se observo una disminución del 17% en primavera, en el resto de las estaciones se registraron aumentos menores a la primavera del 2007. El Calcio mostró una disminución del 35% en primavera de 2007-2008; y las disminuciones en verano, otoño e invierno del 2008 fueron del 36% (Figura N° 31).



Los Fluoruros mostraron una disminución del 36% en la primavera del 2007. En el 2008 las disminuciones fueron de un 41% en verano, 27% en otoño, 33% en invierno y 43% en primavera. En 2007 el Magnesio disminuyó un 13% en primavera; en el 2008 los descensos fueron del 15% en verano, 6% en otoño, 9% en invierno y 7% en primavera (Figura N° 32).

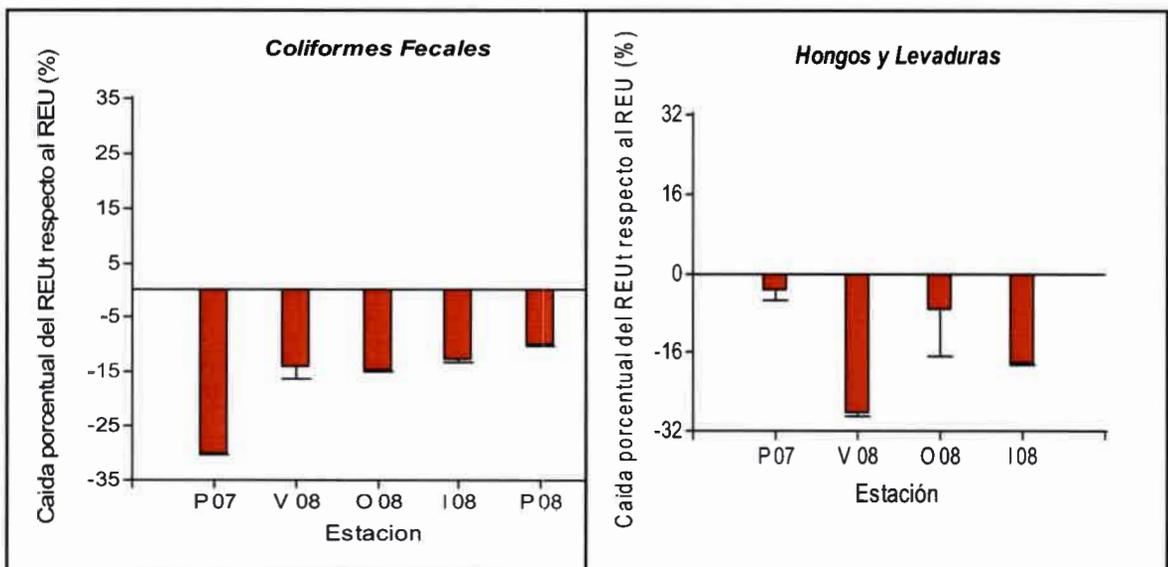


El Recuento total de microorganismos aerobios y anaerobios facultativos disminuyeron en la primavera 2007 un 2%, luego los descensos fueron del 11% en verano, 12% en otoño, 4% en invierno y del 9% en la primavera del 2008. Para Coliformes totales la disminución fue de un 4% en la primavera de 2007; además se observaron disminuciones del 13% para el verano, del 1,5% en otoño, del 12,5% en invierno y del 3% en primavera del 2008(Figura N° 33).



**Figura N° 33. Diagrama de barras de Recuento Total Microorganismos y Coliformes Totales para REU y REUt, con base al valor mínimo (2007-2008)**

Los Coliformes fecales disminuyeron un 30% en la primavera de 2007. En el 2008 las disminuciones fueron del 14% en verano, 15% en otoño, 13% en invierno y 10% en primavera. Para los Hongos y Levaduras las disminuciones fueron del 3% en la primavera del 2007 y en 2008 los descensos fueron del 30% en verano, 10% en otoño y 18% invierno. En la primavera de 2008 no se identificaron Hongos y Levaduras (Figura N° 34).



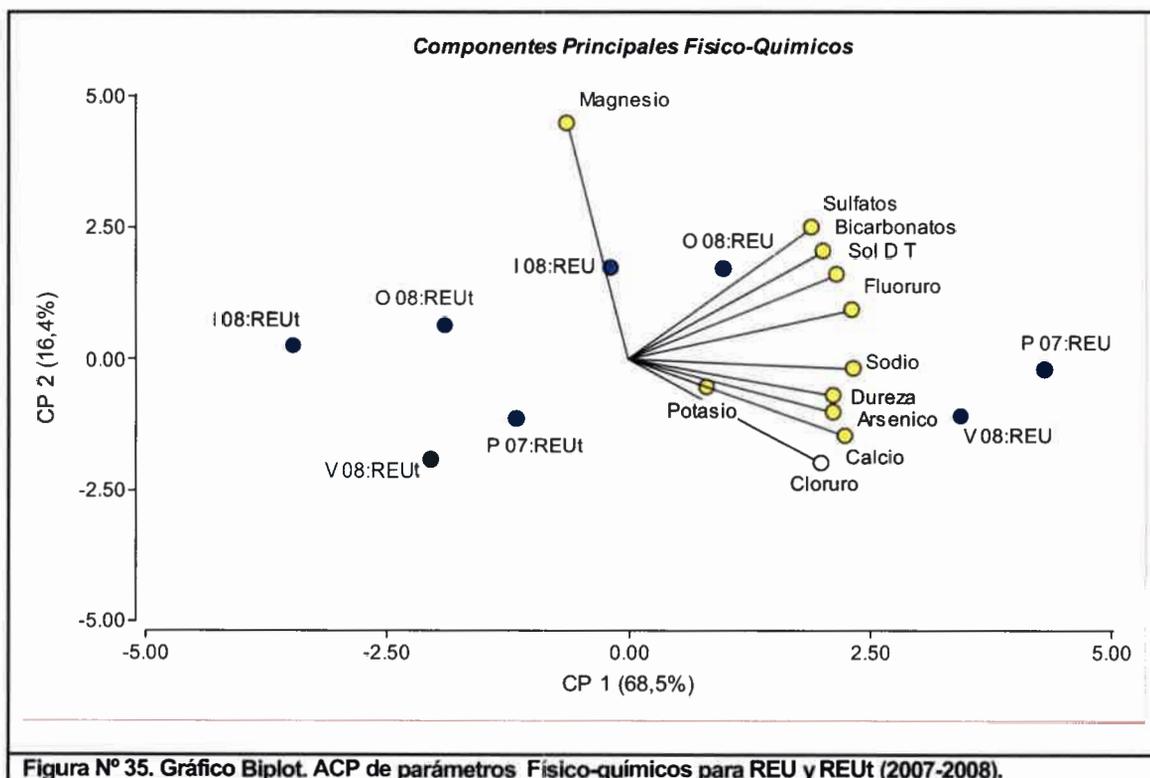
**Figura N° 34. Diagrama de barras de Coliformes Fecales y Hongos –Levaduras para REU y REUt, con base al valor mínimo (2007-2008)**

### 5.2.3. Gráficos Biplots. ACP. (Componentes principales)

Se realizaron gráficos Biplots que permitieron visualizar observaciones y variables en un mismo espacio, pudiéndose identificar asociaciones entre observaciones, entre variables y entre variables y observaciones.

La primera componente (CP1) separa al REUt del REU, por lo tanto la mayor variabilidad entre el tratamiento con macrófitas y sin las mismas se explicaría con estas variables. El ACP mostró que los Sulfatos, Bicarbonatos, SDT y Fluoruro están más asociados al REU de otoño; mientras que el Sodio, la Dureza Total, el Arsénico, el Calcio y el Cloruro al REU de primavera y verano. El Magnesio esta asociado al REU de invierno y el Potasio no se encuentra asociado a ninguno. Con este eje podremos explicar el 68,5% de la variabilidad total de las observaciones. Además se observó que a través de la CP1, el RUEt recibe los pesos negativos más altos y REU el peso positivo más alto por esto puede interpretarse que la CP1 opondría el REU al REUt.

La CP2 provee nueva información sobre variabilidad respecto a la provista por la CP1, es decir explicaría la variabilidad entre el REU y REUt no explicada por la CP1, pudiendo observarse que en la CP2 el REUt no estuvo asociado a ninguna variable en las diferentes estaciones del año (Figura N° 35).



Aquí podemos visualizar como la CP1 con un 61,3% explica la variabilidad total de los componentes químicos. La DQO, NT, DBO, Conductividad y PT están más asociados al REU de verano y otoño; el pH esta fuertemente asociado con el REU de primavera, los Nitritos+Nitratos están muy poco correlacionados con el REU de primavera y no se encuentra correlación con los REU de verano y otoño; el OD y el REU de invierno no están asociado a ninguna variable. La CP2 explicaría con un 22,5% que el REUt no está asociado a ninguna variable, en las diferentes estaciones del año (Figura N° 36)

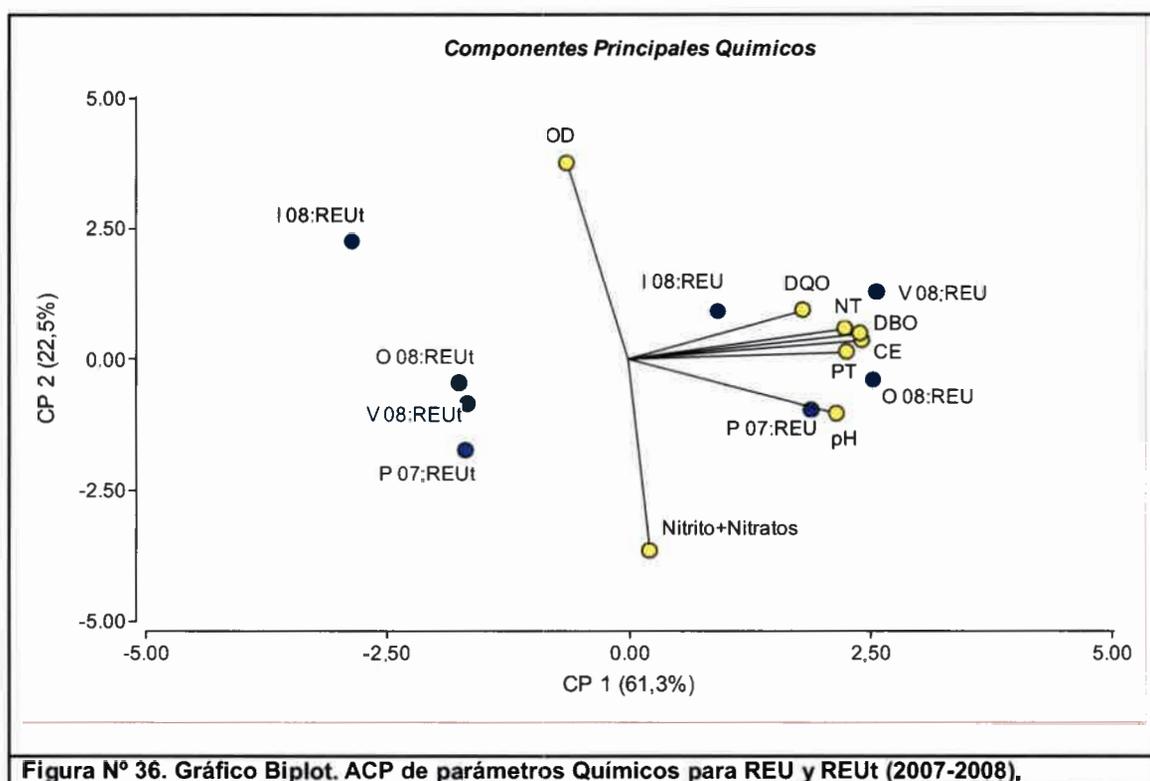


Figura N° 36. Gráfico Biplot. ACP de parámetros Químicos para REU y REUt (2007-2008).

Para el Recuento total de microorganismos aerobios y anaerobios facultativos, Coliformes totales, Coliformes fecales, Hongos y Levaduras la CP1 separó al REU y REUt de invierno-verano, del REU y REUt de primavera-otoño y explicaría con un 90,2% la eficiencia del tratamiento con macrófitas. Los Coliformes totales están fuertemente asociados con el REU de primavera-otoño, y poco asociados con el REUt de otoño-primavera; sin embargo los Coliformes fecales y el Recuento total de microorganismos aerobios y anaerobios facultativos están poco asociados con el REU de otoño-primavera y no están asociados con el REU y REUt de invierno-verano; además el Recuento total de microorganismos aerobios y anaerobios facultativos, Coliformes totales y Coliformes fecales,

reciben los pesos con coeficientes positivos más altos dados por la CP1. La CP2 explicó con un 7,7% que el REU y REUt de verano-primavera no están asociados a ninguna variable.

Los Hongos y Levaduras no se encuentran correlacionados a ninguno de los tratamientos (Figura N° 37).

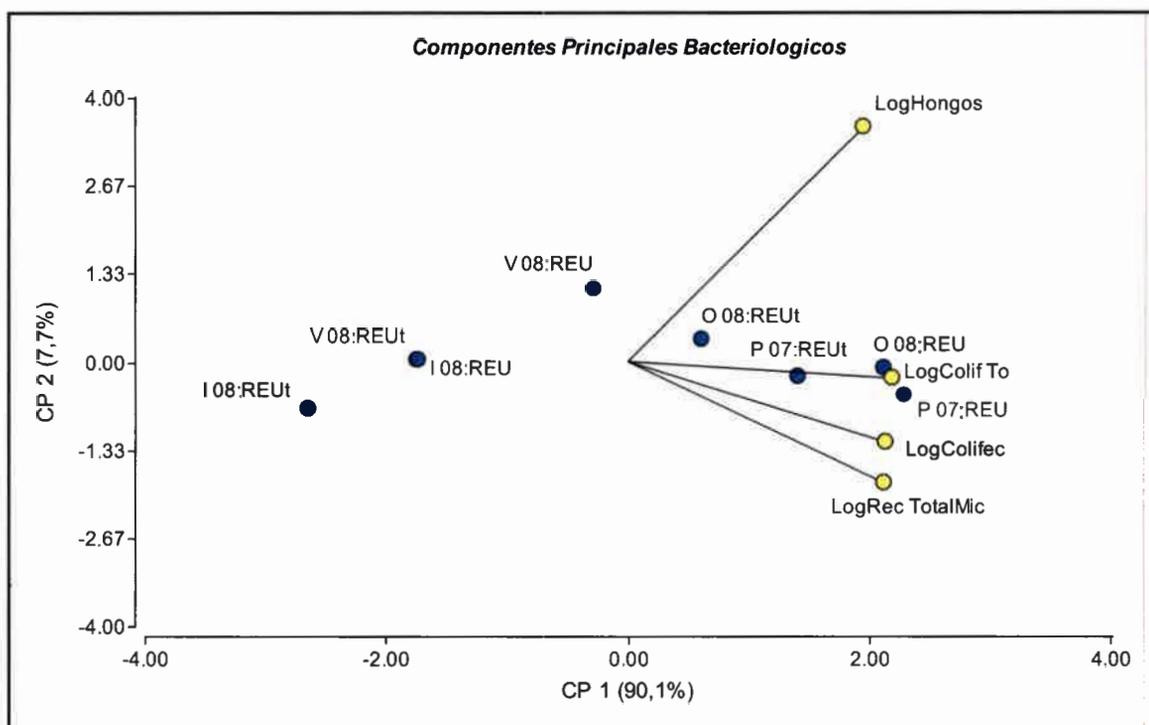
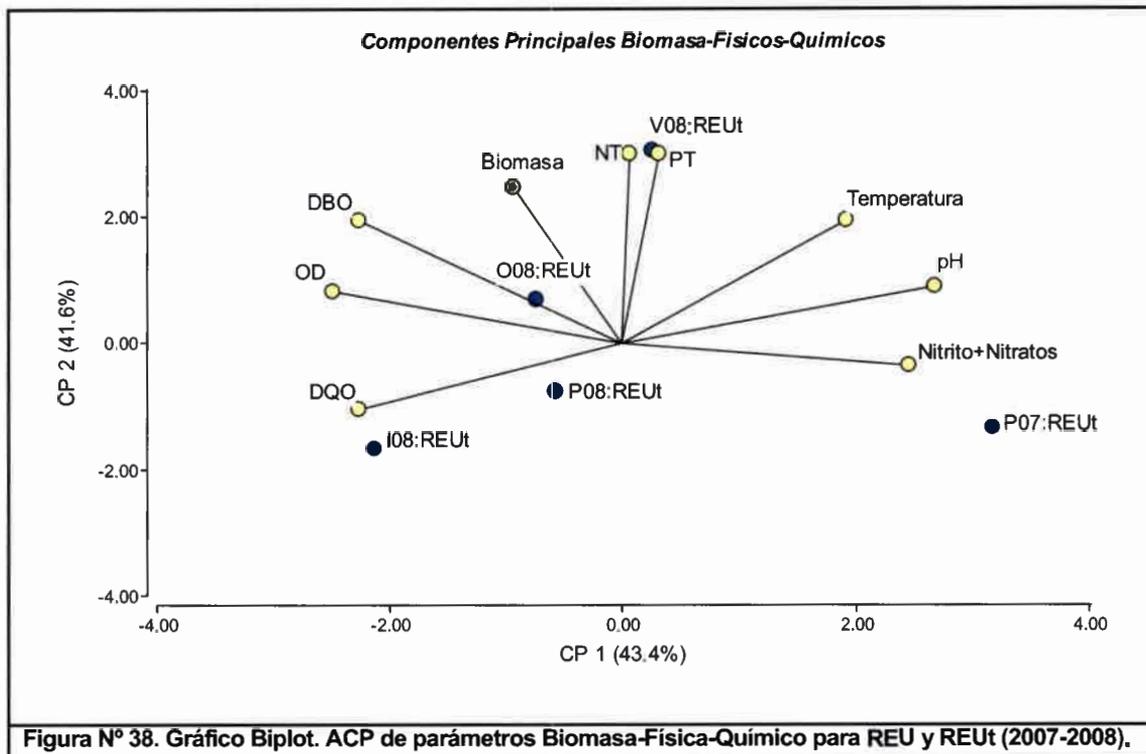


Figura N° 37. Gráfico Biplot. ACP de parámetros Bacteriológicos para REU y REUt (2007-2008).

La Figura N° 38 se observó que la biomasa de macrófitas está fuertemente asociada a la Temperatura, a los Nitritos-Nitratos y al REUt de verano; y menos asociada al REUt de primavera, además la CP1 y la CP2 explicarían con un 84,8% que la biomasa de macrófitas no está asociada al REU y REUt de invierno y otoño, durante todo el estudio.

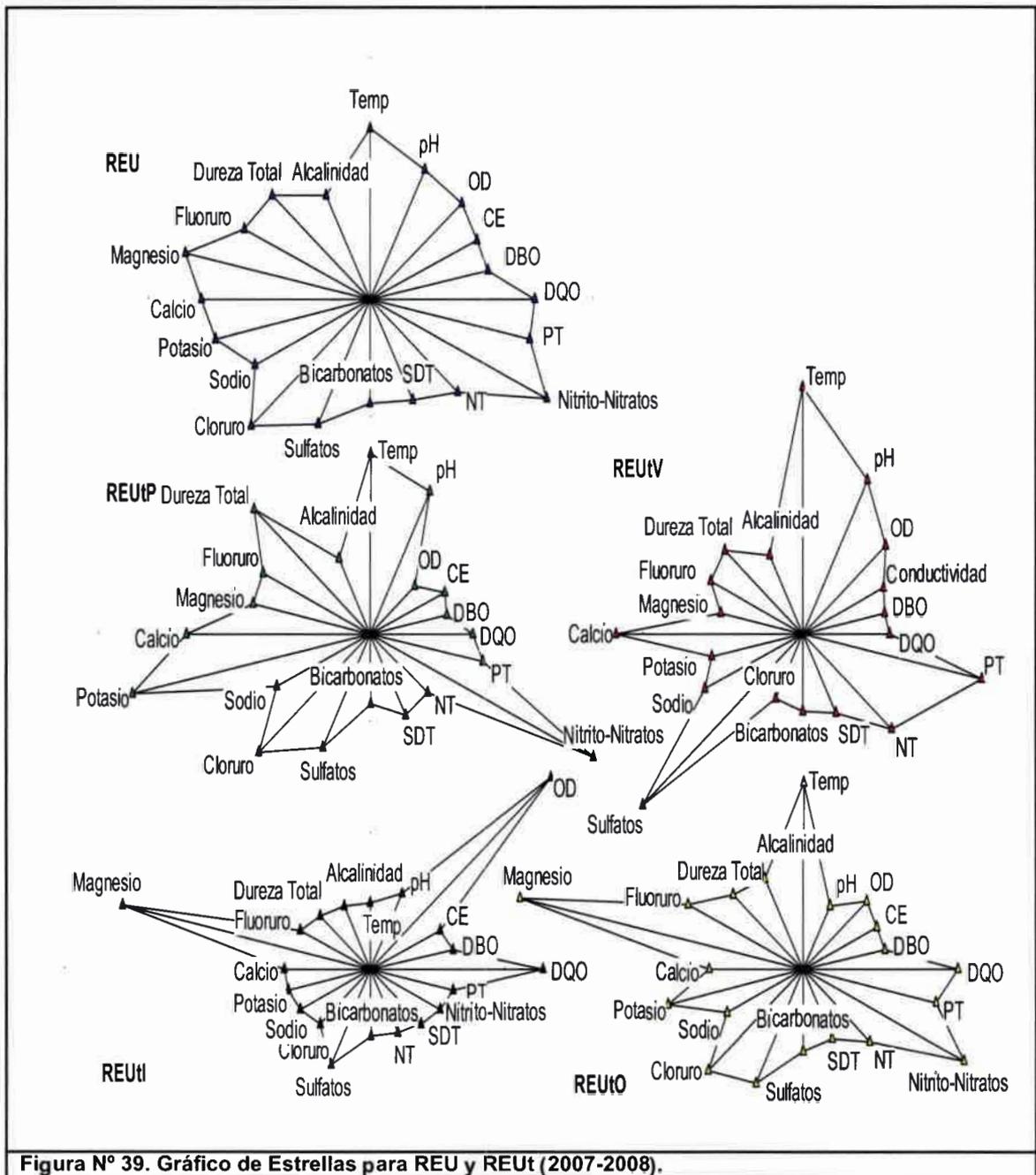


#### 5.2.4. Gráficos de estrellas

Se utilizaron gráficos de estrellas para representar al REU y el REUt junto con las variables en estudio, utilizando como criterio de clasificación a las estaciones del año.

En el gráfico de estrellas se pudo observar que en el REUtV y el REUtP la Temperatura manifestó un gran aumento; por otra parte en el REUtO el aumento fue menor; y en el REUtI disminuyó. Los Nitritos-Nitratos aumentaron en primavera, verano y otoño en el REU y el REUt. La DQO aumentó en el REU y REUtO, REUtI y REUtP. El OD mostró un gran aumento en el REUtI y REUtO, siendo comparativamente más bajo en REUtP y REUtV. El Magnesio tuvo un mayor aumento en el REUtO y en el REUtI; pero disminuyó en el REUtP y en el REUtV. El Fluoruro aumentó en el REUtP y el REUtO; disminuyendo en el REUtI y en el REUtV. Los Sulfatos mostraron un mayor aumento en el REU, REUtI y REUtV; disminuyendo en el REUtO y en el REUtP. El Cloruro manifestó un aumento en el REU, REUtO y REUtP. En el REUtO y en el REUtP el Potasio aumentó. Por otra parte la Dureza Total aumentó en el REU, REUtP y REUtV, siendo menor su concentración en el REUtO y en el REUtI. El PT y el Calcio alcanzaron un importante aumento en el REUtV, siendo menor sus concentraciones en las otras estaciones. Los SDT presentaron bajas concentraciones en el REU, REUtP, REUtV, REUtO y en el REUtI.

Además los Bicarbonatos, el NT y los Fluoruros permanecieron en concentraciones bajas, presentando un comportamiento semejante al del PT y SDT en todas las estaciones del año (Figura N° 39).



### 5.3. Análisis Ficológico

En la Tabla Nº 7 se describe los distintos géneros de algas observados y sus respectivas cantidades, no se observa microalgas del género cianofíceas.

**Tabla Nº 7.** Ficología determinada en el REUt en las estaciones del año durante los períodos 2007-2008. Recuento en nº de cél. /25µL.

<b>Taxón</b>	<b>Primavera</b>	<b>Verano</b>	<b>Otoño</b>	<b>Invierno</b>
<i>Bacillarophyceae</i>	20	22	10	-
<i>Melosira granulata</i>	15	20	10	-
<i>Chlorophyceae</i>	15	25	5	-
<i>Mougeotia cuadranguta</i>	8	12	5	-
<i>Spirogyra communis</i>	5	3	-	-
<i>Chlorella vulgaris</i>	-	1	-	-
<i>Cladophora glomerata</i>	-	2	-	-
<i>Oedogonium sp.</i>	-	1	-	-

(-) ausencia

## 6. DISCUSION

Las variables que se van a discutir a continuación son básicamente aquellas que explican la variabilidad y calidad temporal del agua residual urbana según datos obtenidos en este trabajo.

La temperatura del agua fluctúa gradualmente como consecuencia de los cambios estacionales en los cuerpos de aguas superficiales, sin embargo en las aguas residuales suele ser un parámetro bastante uniforme a lo largo del año. En este trabajo los valores promedios de temperatura registrados concuerda con la normativa vigente del Directorio Provincial de Agua y Saneamiento (ex DIPAS), - en la actualidad Ministerio de Agua, Ambiente y Energía - el que especifica en su Artículo 1° que la temperatura de los efluentes líquidos de las Plantas de tratamiento de aguas residuales, que son descargadas a los cursos de aguas superficiales debe ser menor a 30°C.

La cobertura de la laguna provista por las macrófitas acuáticas definieron que la temperatura en el REUt fuera mayor respecto a la del REU durante toda la investigación, coincidiendo con lo propuesto por Carro *et al* (2005), en su trabajo con humedales artificiales o también llamados Sistemas de Flujo Sub-Superficial (SFSS), donde la temperatura del efluente presentó un comportamiento sensiblemente distinto a los registros de temperatura ambiente, siendo la temperatura del efluente siempre mayor que la ambiental, se puede afirmar entonces que la cobertura de la laguna, en este trabajo, permite una efectiva regulación térmica en su interior por funcionar como aislante con el medio.

Morrison *et al.* (2003), encontraron en plantas de tratamiento de aguas residuales valores de pH que oscilan entre 6,0 y 9,0; los valores de pH registrados tanto en REU como REUt se encuentran dentro de los límites admisibles por la normativa vigente del Ministerio de Agua, Ambiente y Energía el cual recomienda como límite admisible para pH un rango de 6,5 - 9,2.

En las aguas residuales urbanas el OD es un compuesto inorgánico importante, el mismo decrece a medida que progresa la descomposición de la materia orgánica. Autores como Crispim *et al.* (2009) hallaron datos de OD que oscilan entre 1,0 y 3,0 mg.L<sup>-1</sup>, en este estudio se hallaron valores inferiores a 20 mg.L<sup>-1</sup> límite máximo admisible para OD establecido por la ex DIPAS.

La CE determina el contenido total de sales en el agua y es una medida útil para evaluar el uso de las aguas depuradas en riego. Pedrero *et al.* (2009) en su trabajo, "Efectos del riego con aguas residuales tratadas en limoneros", encontraron que los problemas de salinidad pueden aparecer cuando la CE del agua de riego es superior a  $1500 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ , este problema de salinidad es especialmente grave para los cítricos puesto que se consideran cultivos sensibles a las sales. Por otra parte los "Criterios de interpretación de la Calidad Agronómica de las Aguas de Riego" (2002), establecen que las aguas de reuso que contienen menos de  $1200 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  no presentan problemas cuando son usadas en riego, a diferencia de aquellas cuyo valor de CE es superior a  $2500 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ , éstas por su potencial toxicidad salinidad, no son aconsejables para riego. En este trabajo los valores hallados se encuentran por debajo de los citados por dichos autores, pudiendo ser utilizado el REUt para riego y otros usos afines.

Los Cloruros son iones móviles que se encuentran en los efluentes domiciliarios, de industrias entre otros y son constituyentes de los residuos orgánicos (Panigatti *et al.*, 2009). El Código Alimentario Argentino (C. A. A) tiene como límite admisible un valor de  $350 \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , en nuestro caso se demostraron valores más bajos que el límite mencionado, siendo la remoción de Cloruros por parte de las macrófitas del 90%.

Los sólidos disueltos pueden ser orgánicos e inorgánicos, el agua incorpora éstas sustancias a su paso por el suelo, la superficie y la atmosfera. Las aguas residuales urbanas más típicas tienen componentes normalmente fácilmente separables o biodegradables como sólidos, éstos pueden existir en el agua, en solución o suspensión y se distinguen haciendo pasar la muestra a través de un filtro vidrio. Los SDT son los que permanecen como residuo en el filtro después de una evaporación completa de la muestra (Spellman *et al.*, 2004, Capra *et al.*, 2007).

Beascochecha *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  $500 \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ . 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.

La materia orgánica, es una de las características fundamentales de las aguas residuales por su impacto en el medio y el uso posterior de las aguas. Las medidas más habituales de materia orgánica son la DBO y la DQO. 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>. Comparando estos resultados con este trabajo y considerando el origen del agua residual proveniente de una población de 32 estudiantes de las residencias universitarias, se observa que los valores de DBO encontrados fueron inferiores a los citados.

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, encontrándose la mayor disminución en la época estival.

Los nutrientes como el nitrógeno están presentes en forma orgánica e inorgánica, como amoníaco, nitritos y nitratos en las aguas residuales. En investigaciones realizadas por Zimo *et al.* (2003) y Curt Fernández de la Mora *et al.* (2005), encontraron valores normales de NT que oscilan entre 20 a 85 mg.L<sup>-1</sup> (orgánico 8-35 mg.L<sup>-1</sup>, amoniacal 12-50 mg.L<sup>-1</sup> y nitratos 0-10 mg.L<sup>-1</sup>). El porcentaje de remoción fue del 94%, después de tratar al efluente con macrófitas acuáticas en lagunas de estabilización. En este caso el porcentaje de remoción para el NT fue superior, esto podría deberse a que las macrófitas utilizan compuestos nitrogenados como nutrientes para la formación de biomasa, los que se comportarían como fertilizantes semejantes al los usados en agricultura.

El fósforo es otro nutriente presente en las aguas residuales en forma orgánica e inorgánica principalmente como fósforo soluble (ortofosfato). Las fuentes principales de fósforo incluyen a los fosfatos de detergentes, los fertilizantes, el lavado de los suelos con ganado estabulado y los vertidos de las aguas residuales municipales. Los valores normales de PT varían entre 4 y 15 mg.L<sup>-1</sup>(orgánico 1-5mg.L<sup>-1</sup>/ inorgánico 3-10mg.L<sup>-1</sup>), (Zimo *et al.*, 2003). En este caso los valores obtenidos son menores en el primer año, para luego mantenerse y no alcanzar los valores permitidos por la ex DIPAS cuyo límite máximo admisible para el PT es de 0,5 mg.L<sup>-1</sup>. Monette *et al.* (2005), estudiaron que los procesos que conducen a la inmovilización del fósforo en el sustrato/sedimento dentro del efluente son elevados, y por ello al principio del tratamiento suele observarse una alta eficacia de remoción, pero al cabo de un año o más, si bien se alcanza el límite máximo de inmovilización del fósforo en el sustrato/sedimento, este mecanismo de remoción se vuelve poco efectivo en el tiempo, situación semejante se observa en este trabajo.

Las aguas residuales presentan concentraciones de Nitratos (NO<sub>3</sub>) y Nitritos (NO<sub>2</sub>), Armendáriz Sáenz *et al.* (2008), observaron que las macrófitas acuáticas pueden elevar el potencial redox de los sedimentos, bajar el pH y mejorar la retención de las proporciones filtrables de Fe y P, estableciendo condiciones favorables para reducir amonio-N, NH<sub>4</sub> y NO<sub>3</sub> desde el sedimento en el agua. El Código Alimentario Argentino (C.A.A.), establece un valor máximo admitido igual a 45 mg.L<sup>-1</sup> para Nitratos y 0,10 mg.L<sup>-1</sup> para Nitritos. Los valores hallados en este trabajo son menores a los establecidos por dicho código, esta disminución se debe al desempeño de las macrófitas principalmente a la eficiencia de remoción que poseen las mismas (Armendáriz Sáenz *et al.* 2008), encontrándose en esta investigación un porcentaje de remoción para Nitritos y Nitratos del 40% respecto del REU y del REUt.

Todos los contaminantes del agua que no sean gases, contribuyen al contenido de sólidos, estos son partículas inorgánicas como sales. Los iones principales son bicarbonatos, cloruros, sulfatos, sodio, potasio, calcio, magnesio y fluoruros (Spellman *et al.*, 2004). Autores como Carro *et al.* (2005), en su trabajo con humedales de flujo sub-superficial observaron eficiencias de remoción del 50% para bicarbonatos, cloruros, sulfatos, sodio, potasio, calcio, magnesio y fluoruros. En nuestro caso el porcentaje de de remoción fue sensiblemente más alto para dichos parámetros.

Varios estudios han demostrado las ventajas y desventajas del uso de aguas residuales para el riego de cultivos siendo una buena opción para aumentar el

suministro de agua en agricultura (Pedrero *et al.*, 2009). Sin embargo, dependiendo de sus fuentes y del tratamiento de las mismas, pueden contener altas concentraciones de metales pesados que pueden producir efectos indeseables en los suelos y las plantas. Gonzáles *et al.*, 2005, estudiaron que los procesos químicos de los humedales incluye absorción, quelación y precipitación, siendo responsable de la remoción de metales pesados por parte de las macrófitas (Zimmels *et al.*, 2005). En este trabajo se encontraron para Arsénico valores que estuvieron siempre por debajo del límite de detección de los métodos correspondiente. El límite máximo admisible propuesto por la normativa de ex DIPAS para Arsénico es de  $< 0,5 \text{ mg.L}^{-1}$ , comparando este valor con los hallados en el reactor biológico se puede precisar que la utilización de macrófitas acuáticas para la eliminación de metales pesados es eficiente esto podría deberse a la capacidad de remoción de metales pesados que poseen las macrófitas (Almeida Mohedano, 2005), y a la asimilación de los mismos en sus tejidos.

De acuerdo con la clasificación geoquímica del agua, luego del tratamiento con macrófitas el REUt obtenido se puede clasificar como un agua de características: dulce, dura y bicarbonatada cálcica, pudiéndose usar en riego, por su moderada peligrosidad salina y baja peligrosidad sódica (US Salinity Laboratory, 2010), sin embargo para el uso ganadero no estaría recomendada por ser deficiente en sales (Bavera *et al.*, 2001).

La eliminación de agentes patógenos es el principal objetivo del tratamiento de las aguas residuales para aprovechamiento y reuso (Karathanasis, 2003). Para evaluar los parámetros bacteriológicos en este trabajo se determinó el Recuento total de microorganismos aerobios y anaerobios facultativos, Coliformes totales y Coliformes fecales, los valores medios fueron mayores en REU respecto del REUt y en las macrófitas los aumentos obedecieron a la tendencia del REU.

La ex DIPAS propone como límite máximo admisible un valor de  $< 5.000 \text{ NMP}/100 \text{ L}^{-1}$  para Coliformes totales y para Coliformes fecales un valor de  $< 1.000 \text{ NMP}/100 \text{ L}^{-1}$ . En este caso se observa que los Coliformes totales se encuentran dentro de la normativa vigente en la estación de invierno y verano para el REUt, en las restantes estaciones aumentan quedando fuera de los límites establecidos por las normativas, al igual que el REU. Con respecto a los Coliformes fecales presentan valores menores a los establecidos por la normativa en invierno, primavera y verano,

en el resto de las estaciones permanecen elevados, superando el valor límite permitido por la ex DIPAS.

En las macrófitas también se determinaron los parámetros bacteriológicos, observándose que el Recuento total de microorganismos aerobios y anaerobios facultativos, Coliformes totales y Coliformes fecales aumentó en todas las estaciones del año, esto podría deberse a la función primaria de las macrófitas de actuar como filtro para mejorar los procesos de floculación y sedimentación (adsorción-absorción), además de servir de soporte para los microorganismos, oxigenar el agua, y disminuir la carga contaminante (Curt Fernández de la Mora, 2005).

Los hongos y levaduras disminuyen su concentración en todas las estaciones del año. Estos parámetros mostraron una variabilidad relativamente baja de eliminación durante el período estudiado.

En este trabajo la variabilidad total se debe al desempeño de las macrófitas acuáticas las cuales juegan un rol fundamental en la remoción de los componentes químicos presentes en aguas residuales (Demirezen, 2006).

Las comunidades fitoplanctónicas compiten con las macrófitas por nutrientes, Hilt *et al.* (2005), sostienen que para evitar el crecimiento de algas debe mantenerse la laguna completamente cubierta, en este trabajo el número de microalgas encontrado es muy bajo, las mismas pertenecen a la familia Chlorophyceae y no se observan cianofíceas. Esto podría deberse a que las macrófitas acuáticas usan los nutrientes para producir su propia biomasa, compitiendo con las algas por los mismos. Además no se encuentran cianofíceas algas indicadoras de eutrofia sino solamente clorofíceas que son indicadoras de ambientes oligotróficos y mesotróficos.

## 7.-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 *in situ* y de laboratorio demuestran la viabilidad de este tratamiento con macrofitas, de acuerdo a los parámetros físico-químicos y bacteriológicos evaluados.

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

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 las normativas vigentes tanto nacionales como provinciales.

Las macrófitas acuáticas utilizan los nutrientes presentes en el agua residual para producir su propia biomasa, impidiendo el crecimiento de microalgas fitoplanctónicas al competir por los nutrientes, mejorando la calidad del efluente.

Las aguas tratadas pueden utilizarse para riego debido a su moderada peligrosidad salina y baja peligrosidad sódica.

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,



## 8.- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agunbiade, F. O.; B. I. Olu-Owolabi; K.O. Adebowale. 2009. Phytoremediation potential of *Eichornia crassipes* in metal-contaminated coastal water. Bioresource Technology Volumen 100, Issue 19, Pp. 4521-4526.
- Álvarez, A.; G. Fasciolo; C. Barbazza; F. Lorenzo; M. E. Balanza. 2008. Impactos en el agua subterránea de un sistema de efluentes para riego. El Sistema Paramillos (Lavalle, Mendoza, Argentina).
- Almeida Mohedano, R. 2005. *Lemna valdiviana*: una planta que además de tratar los efluentes alimenta a los peces cultivados. Panorama da Acuicultura, 15 (87).
- Arroyave, M. P.; M. I. Posada. 2006. Efectos del Mercurio sobre algunas plantas acuáticas tropicales. Revista EIA, ISSN 1794-1237. Número 6, Pp. 57-67.
- APHA, 2000. Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water. American Public Health Association, New York. 17 th Edition.
- Appenroth, K. J.; K., Krech; A. Keresztes; W., Fischer; H. Koloczec. 2010. Effects of nickel on the chloroplasts of the duckweeds *Spirodela polyrhiza* and *Lemna minor* and their possible use in biomonitoring and phytoremediation. Chemosphere 78.216-223.
- Armendáriz Sáenz, N.; M. T. Aquino Terrazas; L. Romero Ortiz; M. L. Sánchez Villavicencio; A. S. Sobrino Figueroa; M. G. Miranda Arce. 2008. Evaluación de dos parámetros bioquímicos en tres macrófitas acuáticas expuestas a cobre. ISSN 1405-2768. México. Poli botánica. 26:149-158,
- Asit, K.; E. R. Biswas; C. Tortajada. 2008. Water as a Human Right for the Middle East and North África (El Agua como Derecho Humano para el Medio Oriente y el Norte de África). 191 p.
- Bavera, G. 2001. Manual de Aguas y Aguadas para el ganado 2 Edición. Río Cuarto. 387 pp.
- Balzarini, M; Di Rienzo J.; Casanoves F.; González L.; Tablada M.; Díaz M.; Robledo, W. Libro "Estadística para las Ciencias Agropecuarias". 5ta edición, segunda impresión (2004). Ed. Brujas. (ISBN: 987-9452-89-5). 304 p.
- Baréa, C. L.; P. Alem Sobrinho. 2006. 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. Nº 94. Argentina.
- Beascochea, Eduardo de Miguel; M. Muñoz José; M<sup>a</sup>. D. Curt Fernández de la Mora. 2005. Manual de Fitodepuración. Filtros de macrófitas en flotación. Madrid.

- Bergey's. Manual of Determinative Bacteriology.1994.Ninth Edition.Ed. Williams & Wilkins, 787 p.
- Bianco, C; J. J. Cantero; C. O. Nuñez, L. Petryna. 2001. Flora del centro de la Argentina. Iconografía. UNRC. Río Cuarto. 291 p.
- Bossolasco, M.; R. Crespi. 2005. Protection of the Environment and Reuse of Water Resource Proceedings.Session 5. The Problems of sustaining Freshwater Supplies.100 p. International Geographical Union. Buenos Aires.
- Capra, A.; B. Scicolone. 2007. Recycling of poor quality urban wastewater by drip irrigation systems. Journal of Cleaner Production 15. 1529-1534.
- Carro, I.2005. Eficiencia de un humedal construido para el tratamiento de efluentes domiciliarios, durante la fase invernal, en Uruguay. CEUTA.
- Clostre, G.; M. Suni. 2007. Effect of cultura medium nitrogen, phosphorus and potassium on the yield and nutritive of *Lemna gibba* L. (Lemnaceae). INSS1727-9933.
- Crespi, R. (2003). Riego Subterráneo con Aguas Residuales Tratadas. Tesis doctoral. Departamento de Hidráulica. Córdoba. España.
- Crespi, R.; Rodríguez C.; Plevich A.; Thuar; Grosso L.; Introna D.; Bettera S.; Ramos D.; Barotto O.; Picca D.2005.Tratamiento y Reutilización de Aguas Residuales Domiciliarias. XX Congreso Nacional del Agua. III Simposio de Recursos Hídricos del Cono Sur. Libro de Resúmenes. Calidad de Aguas, aguas potables y saneamiento. Mendoza. 14 p.
- Crespi, R.; Rodríguez C.; Plevich A.Thuar; Grosso L; Introna D; Bettera S.; Ramos D; Barotto O; Picca D.2006. Manejo de aguas residuales urbanas. Rev. UNRC. 26 (1-2):83.98, ISSN 0325-9587.
- Crispim, M.C.; Vieira A.C.B.; Coelho S.F.M.; Medeiros A.M.A. 2009. Nutrient uptake efficiency by macrophyte and biofilm: practical strategies for small-scale fish farming. Acta Limnol. Bras., vol. 21, no. 4, p. 387-391.
- Código Alimentario Argentino 982 Res Conj. SPR y RS y SAGPy A N° 196/2007.
- Curt Fernández de la Mora, M. D. Macrófitas de interés en fitodepuracion. Capítulo N° 7.Fitodepuración en Humedales, Capítulo N° 5. Manual de Fitodepuración. Filtros de Macrófitas en flotación. 2005.
- Deniz, F.; J. Jaime Sadhwani; J. M. Veza.2010.New quality criteria in wastewater reuse. The case of Gran Canaria,Desalination. 250.716-722.
- Demirezen Vilmaz, D. 2006. Effects of salinity on growth and nickel accumulation capacity of *Lemna gibba* (Lemnaceae). Hazardous Materials. 147, 74-77.

- Dusek, J.; T. Pícek; H. Čížková. 2008. Redox potential dynamics in a horizontal subsurface flow constructed wetland for wastewater treatment: Diel, seasonal and spatial fluctuations *Ecological Engineering*. Volume 34, Issue 3, 6: 223-232.
- Gil, H.; J. De Prada; O. Plevich; J. Cisneros; C. Bologna; A. Cantero; M. Reynero; R. Crespi; O. Vbarotto; C. Cholaky. 2005. Análisis económico de tecnologías verdes en el tratamiento de residuos cloacales urbanos.
- Graczyk, T. K.; T. E. Chalew; Y. Maschinski; F. E. Lucy Johns. 2009. Hopkins Bloomberg School of Public Health, Baltimore, MD, USA. Institute of Technology, Sligo, Ireland. Environmental Services Ireland, Co. Leitrim, Ireland.
- Grosso, L.; D. Ramos; V. Brizuela; R. Crespi. 2005. Cultivares de ajo (*Allium Sativum* L.) regados con efluentes urbanos tratados. Libro de Resúmenes. HR3. 272 p.
- Hilt, S.; E. M. Gross. 2006. Can allelopathically active submerged macrophytes stabilize clear-water states in shallow lakes? *Basic and Applied Ecology*.
- Horvat, T.; Ž. Vidaković-Cifrek; V. Oreščanin; M. Tkalec; B. Pevalek-Kozlina. 2007. Toxicity assessment of heavy metal mixtures by *Lemna minor* L. *Science of the Total Environment*.
- Ichinari, T.; A. Ohtsubo; T. Ozawa; K. Hasegawa; K. Teduka; T. Oguchi; Y. Kiso. 2008. Wastewater treatment performance and reduction properties of a household wastewater treatment system combined with an aerobic sludge digestion unit. *Process Biochem.* 43, 722-728.
- Jang, M.H.; H. Kyong; N. Takamura. 2006. Reciprocal allelopathic responses between toxic cyanobacteria (*Microcystis aeruginosa*) and duckweed (*Lemna japonica*). *Toxicon* 49, 727-733.
- Kraft, S.; Finola M.; Rodríguez C.; Beoletto V. 1997. Efecto decontaminante de *Lemna* (monocotiledónea, *Lemna* sp.) sobre poblaciones bacterianas de aguas con carga orgánica. XVIII Reunión de Argentina de Ecología. Buenos Aires.
- Kagalou, I.; E. Papastergiadoub; I. Leonardosa. 2008. Long term changes in the eutrophication process in a shallow Mediterranean lake ecosystem of W. Greece: Response after the reduction of external load. *Environmental Management*. Volume 87, Issue 3, 497-506.
- Keskinkan, O.; Goksu M.Z.L.; Yuceer A.; Basibuyuk, M.; Forster C.F. 2003. Heavy metal adsorption characteristics of a submerged aquatic plant (*Myriophyllum spicatum*). *Process Biochem.* 39, 179-183.

- Karathanasis, A.D.; C.L. Potter; M.S.Coyne. 2003. Vegetation effects on fecal bacteria, BOD, and suspended solid removal in constructed wetlands treating domestic wastewater. *Ecological Engineering* 20: 157-169.
- Kouki, S.; F. M'hiri; N. Saidi; S. Belaid ; A. Hassen. 2009. Performance of a constructed wetland treating domestic wastewater during a macrophytes life cycle. *Desalination* 246: 452-467.
- Laboratorio de Salinidad del Departamento de Agricultura de los EE. UU. de América, 1969. Riverside, California. Washington. 172 p.
- Landolt, E. 1998. Lemnaceae. In " The Families and Genera of Vascular Plants". Vol. IV. Flowering Plants. Monocotyledons. Ed. K. Kubitzki. 264-270.
- Liu, Y.; W. Chen; D. Li; Z. Huang; Y. Shen; Y. Liu. 2010. Cyanobacteria-/cyanotoxin-contaminations and eutrophication status before Wuxi Drinking Water Crisis in Lake Taihu, China. *Environmental Sciences*. Volume 23, Issue 4: 575-581.
- Martin, I.; J. R. Betancort; J. R. Pidre. 2007. Contribution of non-conventional technologies for sewage treatment to improve the quality of bathing waters (ICREW project).
- Mishra, V. M.; A. R. Upadhyaya; S. K. Pandey; B.D. Tripathi. 2007. Heavy metal pollution induced due to coal mining effluent on surrounding aquatic ecosystem and its management through naturally occurring aquatic macrophytes. *Bioresource Technology*.
- Mitrovic, S.M.; Allis O.; Furey A.; James K.J. 2005. Bioaccumulation and harmful effects of microcystin-LR in the aquatic plants *Lemna minor* and *Wolffia arrhiza* and the filamentous alga *Chladophora fracta*. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 61,345-352.
- Monette, F.; L. Samir; M. Louise; A. Abdelkrim.2006. Comprehensive modeling of mat density effect on duckweed (*Lemna minor*) growth under controlled eutrophication. *Water research* 40, 2901-2910.
- Morrison, G.; O.S. Fatoki; L. Persson; A. Ekberg. 2003. Assessment of the impact of point source pollution from the Keiskammahoek Sewage Treatment Plant on the Keiskamma River - pH, electrical conductivity, oxygen- demanding substance (COD) and nutrients.
- Mulderij, G.; Smolders A. J. P.; Van Donk E.2006. Allelopathic effect of the aquatic macrophyte, *Stratiotes aloides*, on natural phytoplankton. *Freshwater Biol.* 51, 554-561.
- Muñoz, J. 2005. Componentes de los sistemas convencionales de depuración de aguas residuales. Libro en Línea.

- Directorio Provincial de Agua y Saneamiento (ex DIPAS), - en la actualidad Ministerio de Agua, Ambiente y Energía. **Normativas vigentes 2012.**
- Panigatti, C. M.; R. Boglione; C. Griffa. 2009. Influence of Dairy Treatment Ponds in Underground water. AIDIS. Trabajo Poster. Aguas Residuales Industriales. IV. Argentina.
- Parra, O. 2006. Current State of knowledge of freshwater algae of Chile (except bacillariophyceae) *Gayana* 70(1): 8-15, ISSN 0717-652X.
- Pedrero, F.; J.J. Alarcón. 2009. Effects of treated wastewater irrigation on lemon trees. *Desalination*. 246.631-639.
- Pilar Arcos-Pulido M.; A. Gómez Prieto. 2006. Microalgas perifíticas como indicadores del estado de las aguas de un humedal urbano: Jaboque, Bogotá D.C., Colombia. División de Investigaciones, Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca. Colombia.
- Pimentel, D.; B. Berger; D. Filiberto; M. Newton; B. Wolfe; E. Karabinaskis; S. Clark; E. Poon; E. Abbett; S. Nandagopal. 2004. *Water Resources, Agricultura and Environment*. Ithaca. USA. Report 04-1. 45 p.
- Prasad, M.N.V. 2004. Phytoremediation of metals and radionucleotides in the environment: the case for natural hyperaccumulators, metal transporters, soil-amending chelators and transgenic plants. In: *Heavy Metal Stress Inlands: from Biomolecules to Ecosystems*, second ed. Springer\_Verlag, Heidelberg. 345-392.
- Rivas H.; A.M. Sancha; M.P. MENA; A. Rihm. 2005. Factibilidad de tratamiento conjunto de aguas servidas y sólidos orgánicos en pequeñas comunidades. AIDIS Argentina. N°83. 80-83 p.
- Rodríguez, M. C. 2001. Variaciones temporales y espaciales en la calidad del agua del embalse Piedras Moras, Córdoba. *Rev. UNRC*. Vol. 21. (1-2) 44.
- Rodríguez, V.I. 2005. Arquitectura en zona de alto riesgo. VIII Congreso Argentino de Arquitectura. ISA N°79. AIDIS Argentina 17-18 p.
- Sahu, A.K.; S.K. Sahoo; S.S. Giri. 2002. Efficacy of water hyacinth compost in nursery ponds for larval rearing of Indian major carp, *Labeo rojita*. *Bioresour. Technol.* 85, 309-311.
- Siracusa, G.; A. D. La Rosa. 2006. Design of a constructed wetland for wastewater treatment in a Sicilian town and environmental evaluation using the emergy analysis. *Ecol. Model.* 197, 490-497.
- Spellman Frank R; Joanne Drinan. 2004. *Manual del agua potable*. Ed. Acribia, S.A. – Royo, 23-50006 Zaragoza (España).

- Shubio, W.; Austin D.; Lin L.; Renjie D. 2011. Performance of integrated household constructed wetland for domestic wastewater treatment in rural areas. *Ecological Engineering*.
- Singhal, V.; J.P.N. Rai. 2003. Biogas production from water hyacinth and channel grass used for phytoremediation of industrial effluents. *Bioresour. Technol.* 86, 221-225.
- UNESCO. 2003. Agua para todos, agua para la vida. Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el mundo. Mundi-Prensa Libros. 34 pp.
- US EPA, 1976. Methods for chemical analysis of water and wastes. Environmental Monitoring and Support Laboratory. EPA-625-6-74-003a. Cincinnati, Ohio.
- US Salinity Laboratory, 2010.
- Weitao, Z.; R.R. Yerubandi. 2011. Application of a eutrophication model for assessing water quality in Lake Winnipeg. NWRI, Water Science and Technology Directorate, Environment Canada, 867 Lakeshore Road, Burlington, ON, Canada, L7R 4A6.
- Whitton, B.; E. Rott; G. Friedrich. 1991. Use of algae for monitoring rivers. *Univ. Innsbruck*. 156 p.
- Wang, H.; H. Wang. 2009. Mitigation of lake eutrophication: Loosen nitrogen control and focus on phosphorus abatement. *Progress in Natural Science* Volume 19, Issue 10, 1445-1451.
- Wuzella, G.; A. R. Mahendran; T. Bätge; S. Jury; A. Kandelbauer. 2011. Novel, binder-free fiber reinforced composites based on a renewable resource from the reed-like plant *Typha sp* *Industrial Crops and Products* Volume 33, Issue 3, 683-689.
- Zimmels, Y; F. Kirzhner; S. Roitman. 2005. Rev. ISA 83 Tratamiento de aguas residuales con plantas acuáticas. Parte I. 84-89 p. *Water Environment Research*.
- Zimo, O. R.; N. P. van der Steen; H.J. Gijzen. 2003. Comparison of ammonia volatilisation rates in algae and duckweed-based waste stabilisation ponds treating domestic wastewater. *Water Research* 37, 4587-4594.