

ARTÍCULO

LA VEGETACIÓN ACUÁTICA DEL SISTEMA DE DRENAJE DEL ALTO VALLE DE RÍO NEGRO: ENFOQUE FITOSOCIOLÓGICO Y SU RELEVANCIA COMO BIOINDICADOR

Fernández, C.^{1*}; Gandullo, R.¹

1- Departamento de Biología Aplicada, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Comahue, Río Negro, Argentina.

** E-mail: cristinaf.faca@gmail.com*

RESUMEN

El sistema de drenaje del Alto Valle de Río Negro constituye un ambiente acuático artificial sujeto a presiones antrópicas que modifican su dinámica ecológica y calidad ambiental. En este contexto, la vegetación acuática adquiere relevancia para la evaluación de estos ecosistemas. El presente trabajo realiza una revisión integradora de estudios desarrollados en la región, abordando la caracterización fitosociológica de la vegetación acuática y su potencial como bioindicadoras de procesos de eutrofización. El enfoque fitosociológico permite interpretar la relación entre la composición y estructura de las comunidades vegetales y las condiciones del medio, aportando una base conceptual para el diagnóstico ambiental. Los antecedentes analizados destacan la capacidad de la vegetación acuática para reflejar perturbaciones ambientales, particularmente aquellas vinculadas al enriquecimiento trófico, constituyendo una herramienta accesible y de bajo costo que complementa los métodos tradicionales de evaluación físico-química de la calidad del agua. Estos resultados ponen de manifiesto el valor de las comunidades acuáticas como herramientas para el monitoreo ambiental y la gestión sustentable de estos ecosistemas.

Palabras claves: bioindicación, macrófitas, fitosociología, calidad, agua, monitoreo ambiental

1. INTRODUCCIÓN

La contaminación ambiental constituye un proceso progresivo y acumulativo derivado de la actividad humana, capaz de alterar los ciclos de materia y los flujos de energía en los ecosistemas (Arocena *et al.*, 2000). En los sistemas acuáticos continentales, estas modificaciones se manifiestan en cambios en la calidad del agua y en las comunidades biológicas, particularmente en aquellos ambientes asociados a matrices productivas.

En el Alto Valle de Río Negro, el sistema de drenaje fue diseñado para la captación de excedentes de riego provenientes de la actividad agrícola intensiva. Sin embargo, el avance de la urbanización y la incorporación de efluentes industriales y domésticos han transformado estos ambientes en sistemas complejos, sujetos a procesos de contaminación y eutrofización (Lozeco, 2014; Fernández *et al.*, 2018).

La eutrofización es un proceso de enriquecimiento de nutrientes, principalmente

nitrógeno y fósforo, que provoca cambios estructurales y funcionales en los ecosistemas acuáticos. Este fenómeno puede ocurrir de manera natural, aunque en ambientes asociados a actividades agrícolas, urbanas e industriales suele estar vinculado al aporte antrópico de materia orgánica y nutrientes. Entre sus principales consecuencias se encuentran la modificación de la composición y abundancia de las comunidades biológicas, la disminución del oxígeno disuelto y alteraciones en la estructura de la vegetación acuática. Esta última está constituida por macrófitas, es decir, plantas adaptadas a crecer total o parcialmente en el agua.

Tradicionalmente, la evaluación de estos procesos se ha basado en parámetros físico-químicos. No obstante, el uso de organismos vivos como indicadores biológicos es relevante, debido a su capacidad de reflejar las condiciones ambientales (Alba Tercedor, 1996; Kollmann & Fischer, 2003). En este contexto, la vegetación acuática analizada desde el enfoque fitosociológico constituye una herramienta

biológica para el monitoreo ambiental que, si bien no reemplaza los métodos físico-químicos tradicionales, permite identificar cambios asociados a procesos de perturbación y eutrofización (Fernández *et al.*, 2018). Esto se debe a que la vegetación responde de manera diferencial a dichas alteraciones, permitiendo utilizar determinadas especies y comunidades como indicadores del estado trófico de los sistemas acuáticos (Gandullo *et al.*, 2019).

Este trabajo tiene como finalidad realizar una revisión de los estudios sobre la vegetación acuática del sistema de drenaje del Alto Valle de Río Negro, centrada en su caracterización fitosociológica y su utilidad como bioindicadora de perturbaciones antrópicas, particularmente de los procesos de eutrofización. A partir de antecedentes desarrollados en la región, se sintetizan e integran los principales aportes sobre la composición florística, la clasificación de las comunidades vegetales y su potencial bioindicador, destacando su relevancia para el monitoreo ambiental de los sistemas acuáticos regionales.

2. METODOLOGÍA DE REVISIÓN

El presente trabajo consiste en una revisión narrativa orientada a integrar y sintetizar los principales resultados obtenidos en las investigaciones de Jocu *et al.* (2018), Fernández *et al.* (2018) y Gandullo *et al.* (2019), desarrolladas sobre la vegetación acuática del sistema de drenaje del Alto Valle de Río Negro. La selección de estos antecedentes se fundamenta en su carácter pionero y complementario, dado que constituyen los primeros y, hasta el momento, únicos estudios sistemáticos sobre dicho ecosistema y representan la principal base de conocimiento científico disponible para la región. A través de este análisis, se articularon los hallazgos relativos a la composición florística, la clasificación fitosociológica de las comunidades vegetales y su potencial como bioindicadoras de procesos de eutrofización.

3. MÉTODO FITOSOCIOLÓGICO Y CLASIFICACIÓN DE LA VEGETACIÓN

En los artículos analizados, el estudio de la vegetación acuática se realizó en los canales de

desagüe que integran el sistema de drenaje del Alto Valle, y se abordó mediante el método fitosociológico de la escuela de Zürich-Montpellier (Braun-Blanquet, 1979). A partir de inventarios florísticos realizados en campo sobre unidades homogéneas desde el punto de vista florístico, ecológico y fisonómico, se identificaron taxonómicamente las especies registradas, se compararon con antecedentes florísticos regionales (Jocu *et al.*, 2018) y se estableció un esquema sintaxonómico representativo de la diversidad de la vegetación acuática presente en el sistema de drenaje (Gandullo *et al.*, 2019).

Las macrófitas se organizaron en comunidades vegetales y en unidades sintaxonómicas jerárquicas, donde la asociación vegetal fue considerada la unidad básica de análisis, caracterizada por una combinación particular de especies, una distribución geográfica definida y condiciones ecológicas propias (Gandullo *et al.*, 2019). Además, se agruparon en tres tipos de crecimiento: sumergidas, flotantes y emergentes según la metodología de Sculthorpe (1967).

Los canales de desagüe se caracterizaron por presentar aguas someras, baja movilidad y aporte continuo de materia orgánica, y fueron clasificados según el tipo de efluentes recibidos (agrícolas, urbanos e industriales) y según su ubicación en canales de desagüe urbanos y rurales. Las macrófitas fueron clasificadas en función del tipo de canal donde se registraron, considerando el tipo de efluentes predominantes en cada categoría (Jocu *et al.*, 2018).

Durante el trabajo de campo se evaluaron las principales características físicas de los canales de desagüe, considerando variables como la profundidad, la disponibilidad de luz, la velocidad y la turbidez del agua, así como la presencia de olores y contaminantes sólidos en los sitios de muestreo.

La vinculación de las comunidades y asociaciones vegetales con el proceso de eutrofización se realizó mediante la identificación de especies características, entendidas como aquellas de mayor fidelidad o dominancia en cada unidad sintaxonómica, y su interpretación ecológica en función de su comportamiento en el sistema. Posteriormente, se evaluó su potencial como bioindicadores mediante el cotejo sistemático con bibliografía científica especializada (Fernández *et al.*, 2018).

4. LA VEGETACIÓN ACUÁTICA COMO INDICADOR BIOLÓGICO

Los estudios permitieron ampliar el área de distribución de ocho (8) especies de macrófitas acuáticas en la provincia de Río Negro. Estos registros fueron inéditos para la jurisdicción, dado que las especies no se encontraban citadas previamente en la base de datos de Flora Argentina. Dentro de este grupo, se registraron plantas adaptadas a las condiciones de los canales de desagüe, tales como *Alternanthera philoxeroides* f. *angustifolia* y la especie hortícola *Apium graveolens*, la cual se naturalizó y presentó un comportamiento feral en la base de los taludes. Además, el catálogo incorporó a *Iris pseudacorus*, una planta ornamental de origen europeo que estableció poblaciones espontáneas en la zona, junto a otros registros como *Mentha* × *piperita* nm. *citrata*, *Typha latifolia*, *Hydrocotyle bonariensis* y *Cyperus odoratus* (Jocou *et al.*, 2018).

La investigación contribuyó al Prodrómulo sintaxonómico argentino en el ordenamiento de la vegetación acuática y se citaron por primera vez cuatro (4) nuevas asociaciones para los ambientes lóticos artificiales de Argentina: *Azolletum filiculoidis*, *Azollo filiculoides-Lemnetum gibbae*, *Elodeetum callitrichoidis* y *Typhetum subulatae* incluidas en las clases *Lemnetea minoris*, *Potametea* y *Magnocarietaliae* – *Phragmitetea australis* de acuerdo al esquema sintaxonómico planteado.

La asociación *Azolla filiculoides* – *Lemnetum gibbae* se vinculó con ambientes enriquecidos en nutrientes, actuando como un indicador de eutrofización cuya abundancia en el sistema de drenaje estuvo directamente proporcionada al estado trófico del agua (Gandullo *et al.*, 2019). Mientras tanto, la asociación *Hydrocotyletum ranunculoidis* fue propia de canales de desagüe urbanos con elevada carga orgánica y aguas de escurrimiento lento. Se destacó su potencial bioindicador de aguas contaminadas con residuos domésticos e industriales. Además, esta asociación representó una zona de transición, ya que pudo colonizar tanto el centro de los canales de desagüe someros como los márgenes con suelos saturados (Gandullo *et al.*, 2019).

Se identificaron catorce (14) comunidades vegetales, de las cuales siete (7) presentaron

potencial bioindicador de eutrofización (Fernández *et al.*, 2018):

- *Myriophyllum aquaticum* (sumergida, de ambiente rural): su cobertura se asoció directamente al contenido de nutrientes de efluentes residuales y agroindustriales, colonizando sitios con alto contenido orgánico.
- *Azolla filiculoides-Lemna gibba* (flotante, de ambiente rural): se observó su dominancia en aguas estancadas con un aporte constante de materia orgánica.
- *Nasturtium officinale* (emergente, de ambiente rural): sus altos porcentajes de cobertura se vincularon con canales de desagüe ricos en nitrógeno inorgánico proveniente del uso de fertilizantes agrícolas.
- *Typha angustifolia* (emergente, de ambiente rural): presentó un crecimiento rápido y alta acumulación de biomasa en sitios con gran carga de nutrientes y salinidad.
- *Phragmites australis* (emergente, de ambiente rural): se registró en canales de desagüe cercanos a centros urbanos y plantas de tratamiento, desarrollándose prolíficamente en hábitats cargados con aguas residuales domésticas o lodos cloacales.
- *Hydrocotyle ranunculoides* (emergente, de ambiente urbano): su presencia se destacó frente a empaques e industrias tomateras con aporte continuo de materia orgánica, donde el agua presentaba turbidez elevada y olor a azufre.
- *Ludwigia grandiflora* ssp. *hexapetala* (emergente, sin preferencia de ambiente): alcanzó su máxima cobertura (75%) en canales de desagüe urbanos con recepción de efluentes no tratados, donde su crecimiento excesivo podría reducir drásticamente el oxígeno del agua.

Los resultados sugirieron que estas comunidades actúan como indicadores biológicos de la calidad del agua, a partir de identificar variaciones en la composición vegetal como signos evidentes de la degradación ambiental en el sistema de drenaje (Fernández *et al.*, 2018).

Además de la disponibilidad de nutrientes, factores físicos como la turbidez, la profundidad y la velocidad de la corriente del agua, junto con variables químicas del medio, influyeron en la distribución y dominancia de las macrófitas acuáticas. En este sentido, cuando las macrófitas

flotantes formaron coberturas densas sobre la superficie del agua (Figura 1), limitaron la disponibilidad de luz y afectaron el desarrollo de las especies sumergidas. Se observó también que las macrófitas sumergidas (Figura 2) presentaron una disminución en su cobertura y diversidad en ambientes con elevada turbidez o baja penetración lumínica, mientras que numerosas macrófitas emergentes (Figura 3) pudieron expandirse y adquirir dominancia en sistemas con alto contenido de nutrientes y escasa movilidad del agua (Fernández *et al.*, 2018).

Los canales de desagüe rurales, recibieron principalmente residuos de actividades agropecuarias y excedentes de riego, mientras que los canales de desagüe urbanos recibían efluentes industriales y domésticos, incluyendo descargas clandestinas. Jocoú *et al.* (2018) señalan que los canales de desagüe de ambientes urbanos presentaron un mayor grado de alteración y signos más evidentes de un proceso de eutrofización intenso en comparación con los rurales.

La presencia de determinadas comunidades y asociaciones vegetales permitió inferir condiciones específicas del ambiente. Estos patrones de distribución y dominancia reflejaron gradientes de perturbación y disponibilidad de nutrientes, evidenciando el potencial de la vegetación acuática como herramienta diagnóstica. La Tabla 1 sintetiza las principales comunidades y asociaciones vegetales bioindicadoras identificadas en el sistema de drenaje del Alto Valle de Río Negro, su forma de vida, ambiente de ocurrencia y la condición ecológica con la que se vinculan según estudios previos.

A partir de los resultados obtenidos en el sistema de drenaje del Alto Valle, Fernández *et al.* (2018) destacaron que la bioindicación mediante macrófitas acuáticas constituye una herramienta accesible y de bajo costo para el monitoreo ambiental. Su principal fortaleza radica en la capacidad de integrar los efectos acumulativos de las condiciones ambientales a lo largo del tiempo, reflejando el impacto de procesos persistentes de contaminación y eutrofización. No obstante, los autores también señalaron que su interpretación debe realizarse



Figura 1. Macrófitas flotantes (*Azolla filiculoides* y *Lemna gibba*) en un canal de desagüe rural del Alto Valle de Río Negro.



Figura 2. Macrófitas sumergidas, comunidad dominada por *Myriophyllum aquaticum* en un canal de desagüe del Alto Valle de Río Negro.

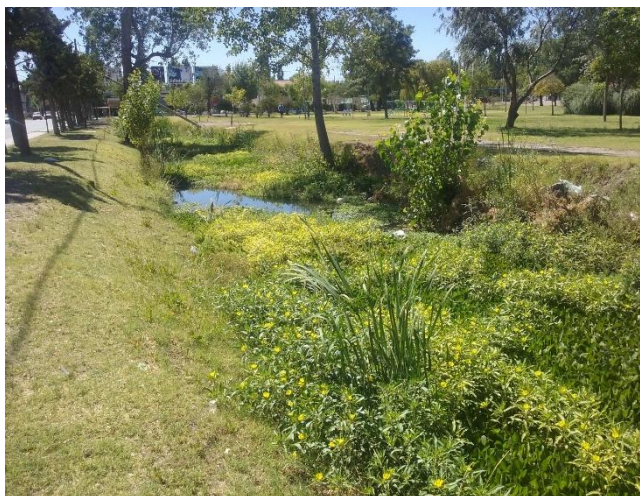


Figura 3. Macrófitas emergentes asociadas a ambientes eutrofizados en un canal de desagüe del Alto Valle de Río Negro.

Tabla 1. Características ecológicas y potencial bioindicador de las principales comunidades y asociaciones vegetales acuáticas del sistema de drenaje del Alto Valle de Río Negro. Fuente: Elaboración propia a partir de Fernández *et al.* (2018) y Gandullo *et al.* (2019).

Comunidad vegetal	Especie dominante	Forma de vida	Ambiente	Indicación ecológica
<i>Myriophyllum aquaticum</i>	<i>Myriophyllum aquaticum</i>	Sumergida	Rural	Ambientes eutrofizados
<i>Nasturtium officinale</i>	<i>Nasturtium officinale</i>	Emergente	Rural	Aguas con elevada carga orgánica
<i>Typha angustifolia</i>	<i>Typha angustifolia</i>	Emergente	Rural	Ambientes eutrofizados
<i>Phragmites australis</i>	<i>Phragmites australis</i>	Emergente	Rural	Ambientes eutrofizados
<i>Ludwigia grandiflora</i> ssp. <i>hexapetala</i>	<i>Ludwigia grandiflora</i> ssp. <i>hexapetala</i>	Emergente	Urbano y rural	Ambientes eutrofizados
Asociación	Especie característica	Forma de vida	Ambiente	Indicación ecológica
<i>Azolla filiculoides</i> - <i>Lemnetum gibbae</i>	<i>Azolla filiculoides</i> y <i>Lemna gibba</i>	Flotante	Rural	Ambientes eutrofizados
<i>Hydrocotyletum ranunculoidis</i>	<i>Hydrocotyle ranunculoides</i>	Emergente	Urbano	Contaminación por efluentes urbanos

de manera complementaria a los análisis físico-químicos tradicionales, ya que factores como la profundidad, la turbidez, la velocidad de la corriente y la disponibilidad de luz también influyen en la distribución y abundancia de las especies. En este sentido, indicaron que las respuestas de la vegetación suelen manifestarse ante perturbaciones sostenidas, por lo que su capacidad indicadora puede resultar limitada frente a disturbios de corta duración. Concluyeron que ambos enfoques aportan información complementaria para una evaluación más integral del estado ecológico de los sistemas acuáticos.

5. INTEGRACIÓN Y RELEVANCIA APLICADA

Los estudios desarrollados en el sistema de drenaje del Alto Valle constituyen un aporte significativo al conocimiento de la flora acuática regional y nacional. La incorporación de nuevos registros florísticos para la provincia de Río Negro y la descripción de asociaciones vegetales no documentadas refuerzan la idea de que estos ambientes han permanecido históricamente subexplorados desde el punto de vista botánico.

Estos avances no solo amplían el conocimiento de la biodiversidad presente en la región, sino que también posicionan al sistema de drenaje del Alto Valle como un área de relevancia científica para el estudio de la vegetación acuática.

En este contexto, la articulación entre el enfoque fitosociológico y la bioindicación permite abordar los sistemas acuáticos desde una perspectiva integradora, vinculando la composición y estructura de las comunidades vegetales con las condiciones ambientales del medio. Este enfoque se fundamenta en el hecho de que las comunidades vegetales reflejan los efectos de múltiples factores ambientales a lo largo del tiempo, lo que permite interpretar la dinámica ecológica de los ambientes acuáticos con mayor profundidad (Fernández *et al.*, 2018; Jocu *et al.*, 2018).

Desde una perspectiva aplicada, la información generada constituye una base relevante para el desarrollo de estrategias de bioindicación orientadas a mitigar los efectos de la contaminación. Asimismo, proporciona un marco conceptual útil para interpretar los procesos ecológicos asociados a la calidad del agua y la disponibilidad de nutrientes (Gandullo *et al.*, 2019).

6. CONCLUSIONES

La revisión realizada pone de manifiesto que la vegetación acuática del sistema de drenaje del Alto Valle de Río Negro representa un componente clave para comprender la dinámica ecológica de estos ambientes y evaluar los efectos de los procesos de eutrofización y otras perturbaciones antrópicas.

Los antecedentes analizados demuestran el potencial de las comunidades de macrófitas como herramientas complementarias para el monitoreo ambiental, especialmente cuando su utilización se integra con indicadores físico-químicos convencionales.

Finalmente, los antecedentes revisados demuestran la importancia de la base de conocimiento generada durante las últimas décadas sobre la vegetación acuática del sistema de drenaje del Alto Valle de Río Negro. La continuidad y profundización de estas líneas de investigación resultan fundamentales para ampliar la comprensión de la dinámica de las comunidades vegetales acuáticas, fortalecer su aplicación como herramientas de monitoreo ambiental y aportar información relevante para la conservación y el manejo sustentable de estos ecosistemas.

7. REFERENCIAS

- Alba Tercedor, J. (1996). Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas. *Revista de la Sociedad Entomológica Aragonesa*, 1, 1–9.
- Arocena, R., Mazzeo, N., & Rodríguez-Gallego, J. (2000). Desarrollo de indicadores biológicos en sistemas acuáticos. *Revista Chilena de Historia Natural*, 73, 23–36.
- Braun-Blanquet, J. (1979). *Fitosociología: Bases para el estudio de las comunidades vegetales*. Blume.
- Fernández, C., Jocou, A. I., & Gandullo, R. (2018). Vegetación acuática bioindicadora de eutrofización del Alto Valle de Río Negro. *Ernstia*, 28, 45–93.
- Gandullo, R., Fernández, C., & Jocou, A. I. (2019). Sintaxonomía de las comunidades de plantas vasculares del sistema de drenaje del Alto Valle de Río Negro. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, 54, 567–587.
- Jocou, A. I., Fernández, C., & Gandullo, R. (2018). Macrófitas acuáticas vasculares del sistema de drenaje del Alto Valle de Río Negro, Patagonia (Argentina). *Revista del Museo de La Plata*, 3(2), 296–308.
- Kollmann, J., & Fischer, M. (2003). Vegetation as indicator. *Basic and Applied Ecology*, 4, 489–491.
- Lozeco, C. (2014). *Sistema de drenaje del Alto Valle de Río Negro* [Informe técnico].
- Sculthorpe, C. D. (1967). *The biology of aquatic vascular plants*. Edward Arnold.