



Foto: Claudia Simon

Arroyo La Caballada, punto que se muestra en el monitoreo mensual de agua de La Estanzuela.

ZONAS DE AMORTIGUACIÓN: aliadas clave para proteger el agua y el suelo

Lic. Biol. MSc. Claudia Simon, Ing. Agr. Dr. Mario Pérez
Bidegain, Ing. Agr. Dra. Verónica Ciganda

Área de Recursos Naturales, Producción y Ambiente

Las zonas de amortiguación se han consolidado como una práctica de manejo eficaz y de bajo costo para reducir el escurrimiento de sedimentos, nutrientes y agroquímicos desde áreas con uso productivo hacia cuerpos de agua. En Uruguay, la conservación de zonas de amortiguación aledañas a cursos de agua se ha impulsado especialmente en cuencas estratégicas. Este artículo resume el marco normativo actual, evidencia científica disponible y el rol de INIA en proyectos que se proponen evaluar su funcionamiento en condiciones locales.

INTRODUCCIÓN

En Uruguay, el deterioro de la calidad del agua y la pérdida de suelo han impulsado la búsqueda de medidas de mitigación integradas, en particular en cuencas prioritarias, proveedoras de agua para consumo humano. Existen distintas estrategias para mitigar la contaminación de los cursos de agua que pueden centrarse en controlar el origen de los contaminantes,

frenar su movimiento hacia los cuerpos de agua o proteger directamente estos ecosistemas. Dentro de este último enfoque, las zonas de amortiguación se presentan como una opción basada en la naturaleza, de bajo costo y alta efectividad. Estas zonas ayudan a retener sedimentos y nutrientes que de otro modo llegan al agua desde las áreas productivas, especialmente cuando otras prácticas, como un buen manejo del suelo, no han logrado evitarlo.

¿QUÉ SON LAS ZONAS DE AMORTIGUACIÓN?

Las zonas de amortiguación, también conocidas como fajas o franjas de amortiguación, son áreas con cobertura vegetal ubicadas entre sistemas productivos y cuerpos de agua, que actúan como filtros naturales reduciendo la exportación de nutrientes, sedimentos y otros agroquímicos al sistema acuático. Su funcionamiento se basa en la capacidad de la vegetación para ralentizar el escurrimiento superficial, favorecer la sedimentación de partículas y absorber o transformar nutrientes como el fósforo (P), lo que ayuda a mitigar su ingreso a los cursos de agua. Estudios recientes proponen un enfoque tridimensional en su diseño, integrando vegetación herbácea, arbustiva y arbórea para maximizar la captura de nutrientes y otros agroquímicos, mejorar la infiltración y ofrecer servicios ecosistémicos adicionales como hábitat, regulación climática y térmica, conectividad ecológica y secuestro de carbono (Stutter *et al.*, 2020).

Si bien cumplen funciones similares a las de las áreas riparias, las zonas de amortiguación se diferencian por ser implementadas y manejadas específicamente con fines de protección ambiental en paisajes productivos, mientras que las áreas riparias son ecosistemas naturales (bosque ripario) aledaños a cursos de agua que también deben ser conservados.

ZONAS DE AMORTIGUACIÓN Y DINÁMICA DEL FÓSFORO

El fósforo (P) es un nutriente esencial para la producción agropecuaria. Sin embargo, su exportación desde los sistemas productivos hacia los cursos de agua contribuye al enriquecimiento de estos ecosistemas con

nutrientes (eutrofización), favoreciendo la proliferación de algas y el deterioro de la calidad del agua.

En los sistemas productivos, el P puede mobilizarse por dos vías principales. El P disuelto (que puede ser orgánico o inorgánico) está asociado a las fracciones solubles del suelo. Este se transporta principalmente por escorrentía superficial o percolación cuando hay lluvias intensas o suelos saturados. Por otro lado, el P particulado se une a partículas de suelo y es arrastrado durante procesos de erosión hídrica (Figura 1).

La magnitud del transporte de P depende de factores como el tipo de suelo, pendiente, cobertura vegetal, prácticas de manejo y eventos climáticos. En Uruguay se ha avanzado en el desarrollo de un indicador "P-Index" (Perdomo, 2016), el que se propone como una herramienta que puede ser utilizada para estimar la pérdida de P desde suelos agrícolas. Los ensayos de Perdomo *et al.* han mostrado que del P que aplica el productor se pierde aproximadamente un 2 %, lo que es insignificante a nivel productivo, pero tiene un gran impacto en las aguas.

Las zonas de amortiguación, al interceptar y filtrar escorrentías, pueden reducir significativamente tanto las pérdidas de P disuelto como de P particulado. Además, en presencia de vegetación permanente, se promueve la infiltración, se disminuye la velocidad del flujo y se favorece la retención de nutrientes.

Las pérdidas de P pueden clasificarse en fuentes puntuales (como vertidos directos desde instalaciones agroindustriales o efluentes no tratados) y fuentes difusas, que son más difíciles de localizar y provienen de escorrentía sobre la superficie de toda la cuenca.

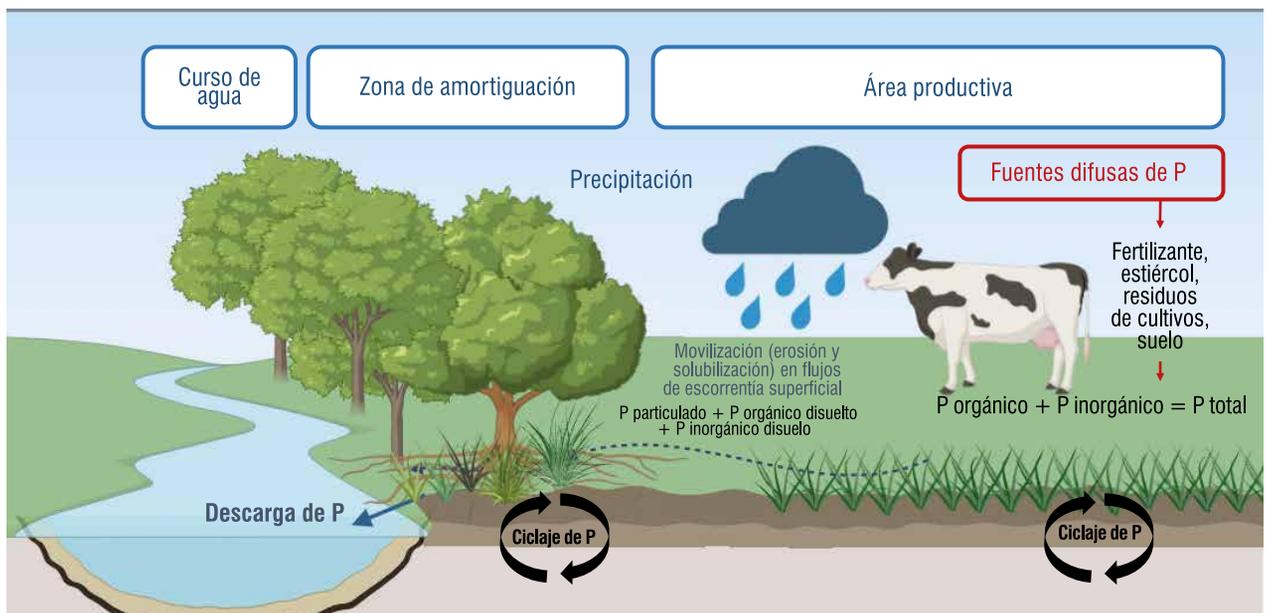


Figura 1 - Dinámica del fósforo (P) en una cuenca desde fuentes difusas.



Foto: Claudia Simon

Arroyo La Caballada. Vegetación herbácea y acuática.

Goyenola *et al.* (2021) identificaron el uso intensivo del suelo como principal determinante del P en cuerpos de agua cuenca abajo. Reducir sus exportaciones mejora la calidad del agua, la eficiencia de uso del fertilizante y la sostenibilidad del sistema. Las pérdidas de P también degradan el agua potable, elevan los costos de tratamiento, reducen la biodiversidad y generan efectos persistentes por la carga interna en sedimentos (Sharpley *et al.*, 2013).

MARCO NORMATIVO VIGENTE EN CUENCAS ESTRATÉGICAS

En Uruguay, las zonas de amortiguación han sido promovidas por normativas específicas en cuencas prioritarias: La Resolución Ministerial (RM) 229/2015 estableció zonas buffer de entre 40 y 80 m en la cuenca del río Santa Lucía. La RM 58/2016 implementó medidas similares en la cuenca de Laguna del Sauce, con franjas de 25 a 150 m y restricciones al laboreo y aplicación de agroquímicos en cercanías de cuerpos de agua. Estas medidas se enmarcan en la Ley N° 18.610 (Política Nacional de Aguas), el Plan Nacional de Aguas

Las zonas de amortiguación actúan como filtros naturales, reduciendo la exportación de nutrientes, sedimentos y agroquímicos.

(Decreto 405/008). Por otro lado, la Ley Forestal N° 15.939 y su decreto reglamentario (330/993) reconocen el interés público del manejo sostenible del monte nativo, que es en gran medida bosque ribereño.

Si bien estas normativas representan avances significativos, su aplicación efectiva requiere monitoreo continuo, adecuación a los distintos sistemas productivos y fortalecimiento de los mecanismos de fiscalización.

EVIDENCIA CIENTÍFICA SOBRE EL FUNCIONAMIENTO DE LAS ZONAS DE AMORTIGUACIÓN

Estudios internacionales estiman que estas zonas pueden reducir hasta un 90 % del arrastre de sedimentos, entre un 30 % y un 85 % de P, y cantidades similares de nitrógeno, dependiendo de sus características físicas y de manejo (Zhang *et al.*, 2010).

Sin embargo, recientes evaluaciones muestran que su eficacia disminuye con el tiempo si no se integran mecanismos de mantenimiento activo como la remoción de biomasa y el rediseño adaptativo según presiones específicas del paisaje. Su efectividad aumenta, por supuesto, cuando estas zonas se integran con otras prácticas de manejo conservacionista, como rotación de cultivos, reducción del laboreo y control de compactación. La aplicación de modelos predictivos y herramientas de diagnóstico espacial puede mejorar el posicionamiento y el diseño sitio-específico de estas zonas.

En Uruguay, investigaciones recientes (Barreto *et al.*, 2022; Calvo *et al.*, 2024) confirman que las zonas de vegetación permanentes disminuyen significativamente las exportaciones de P, sobre todo en eventos de lluvia intensa.



Foto: Claudia Simon

Monte ribereño en establecimiento lechero de Colonia.

Las zonas de amortiguación pueden reducir hasta un 90 % del arrastre de sedimentos y hasta un 85 % del fósforo. Su eficacia depende del mantenimiento activo y del diseño adaptado al paisaje.

Las combinaciones de herbáceas y árboles nativos han mostrado ser particularmente eficaces, al retener nutrientes y liberarlos de forma gradual, promover la biodiversidad y regular los flujos de agua.

PROYECTOS INIA

En INIA, y vinculado a esta temática, se destaca un proyecto que inició el presente año sobre sistemas lecheros, zonas de amortiguación y su efecto en la calidad de agua, en el que se estudiarán estas zonas desde aspectos sociales, territoriales, y experimentales. Así como la continuación de la línea de investigación vinculada a la mejora del cálculo de un buffer vertical para todo el país (Zarza *et al.*, 2022). Asimismo, se encuentran dentro de los catálogos de prácticas para promover las transiciones agroecológicas (Cazzulli *et al.*, en ese mismo número). Estos trabajos forman parte de una estrategia más amplia de INIA, que busca generar evidencia local para respaldar decisiones de política pública y mejorar las recomendaciones técnicas para los productores.

CONCLUSIONES

Las zonas de amortiguación son una herramienta clave para la conservación del agua y el suelo en sistemas agropecuarios, sobre todo en los más intensivos. Para maximizar su potencial, se recomienda avanzar hacia diseños tridimensionales adaptativos, que incorporen vegetación diversa, manejo activo del P acumulado, y herramientas de evaluación del desempeño a mediano y largo plazo. Su aplicación en Uruguay está comenzando a ser respaldada por normas específicas y evidencia científica incipiente pero prometedora. Sin embargo, para alcanzar su verdadero potencial, es necesario avanzar hacia una implementación más sistemática, adaptada a los distintos contextos productivos (teniendo en cuenta los sistemas con aplicación de agua para riego), y articulada con políticas de ordenamiento territorial, extensión y monitoreo ambiental. INIA tiene un rol protagónico en generar y transferir conocimiento que contribuya a una agricultura más sostenible, que cuide los recursos naturales sin comprometer la productividad.

REFERENCIAS

- Barreto, P., Ernst, O., Pérez Bidegain, M., & Perdomo, C. (2022). Effects of grazing, rotation, and tillage on surface runoff in a heavy textured Uruguayan soil. *Soil Science Society of America Journal*, 86(4), 1096-1112.
- Calvo, C., Rodríguez-Gallego, L., de León, G., Cabrera-Lamanna, L., Castagna, A., Costa, S., ... & Meerhoff, M. (2024). Potential of different buffer zones as nature-based solutions to mitigate agricultural runoff nutrients in the subtropics. *Ecological Engineering*, 207, 107354.
- Goyenola, G., Kruk, C., Mazzeo, N., Nario, A., Perdomo, C., Piccini, C., & Meerhoff, M. (2021). Producción, nutrientes, eutrofización y cianobacterias en Uruguay armando el rompecabezas. *Innotec*, 22(2021).
- Perdomo, C. (2016). Pérdidas de fósforo desde suelos agrícolas hacia aguas superficiales: resultados preliminares para Uruguay y posibles medidas de manejo para mitigar los riesgos. *Encuentro Sociedad Uruguaya de Ciencia del Suelo*. Presentación.
- Sharpley, A. N., McDowell, R. W., & Kleinman, P. J. (2001). Phosphorus loss from land to water: integrating agricultural and environmental management. *Plant and soil*, 237, 287-307.
- Stutter, M., Wilkinson, M., & Nisbet, T. 3D buffer strips: Designed to deliver more for the environment. *Environment Agency, UK*. <https://www.gov.uk/government/publications>
- Zarza, R., Cal, A., Formoso, D., Medina, S., Rey, D., & Carrasco-Letelier, L. (2022). First delimitation and land-use assessment of the riparian zones at Uruguayan Pampa. *Ecological Informatics*, 71, 101781.
- Zhang, X., Liu, X., Zhang, M., Dahlgren, R. A., & Eitzel, M. (2010). A review of vegetated buffers and a meta-analysis of their mitigation efficacy in reducing nonpoint source pollution. *Journal of environmental quality*, 39(1), 76-84.

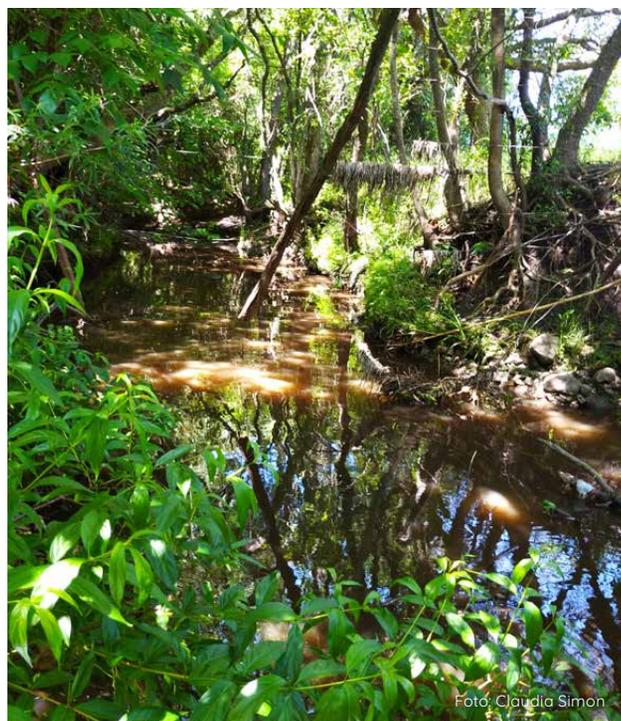


Foto: Claudia Simon

Arroyo El General, Colonia. Monte ribereño.