

**Aportes difusos de fósforo en sistemas pastoriles para
producción lechera: zonas buffer y propuestas de
manejo integral para la reducción de su aporte al
embalse de Paso Severino**

Bach. Soledad Costa Mollá

Tesis Final de Grado

Gestión Sostenible de Sistemas Agrarios

Licenciatura en Gestión Ambiental

Tutores: Gastón de León - Lorena Rodríguez-Gallego

CURE Rocha

Año 2022



Tabla de contenido

1. RESUMEN	2
2. INTRODUCCIÓN	4
3. ÁREA DE ESTUDIO Y ANTECEDENTES GENERALES	7
4. OBJETIVOS	8
4.1 Objetivo general	8
4.2 Objetivos específicos.....	8
5. METODOLOGÍA	9
5.1 Selección y características de los sitios de estudio	9
5.2 Caracterización y manejo productivo de los predios, percepciones de la zona buffer	10
5.3 Muestreo y análisis de suelo	11
5.4 Taller con expertos para discutir alternativas de manejo de la ZB	13
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	14
6.1 Descripción de los sitios de estudio y manejo productivo.....	14
6.2 Percepciones de los productores acerca de las ZB	16
6.3 Descripción de los suelos.....	18
6.4 Manejo de zona buffer.....	27
7. CONSIDERACIONES FINALES	32
8. CONCLUSIONES	34
9. REFERENCIAS	36

1. RESUMEN

Las actividades humanas tienen una gran influencia en el clima y los ecosistemas. A partir de la intensificación productiva, los aportes difusos de fósforo desde predios agrícolas-ganaderos, entre ellos los que derivan de la producción lechera, amenazan la calidad del agua en cuencas relevantes del país.

Ante este panorama de degradación de aguas superficiales, Uruguay enfrenta una serie de desafíos vinculados a la mitigación de estos problemas en ecosistemas acuáticos relevantes, entre los que se encuentra el Embalse de Paso Severino: principal reserva de agua dulce, que proporciona agua potable al 58% de la población nacional y área de estudio para este trabajo. Este embalse, a partir de las actividades que se asientan en la cuenca, presenta cierto grado de deterioro ambiental y se estima que el 80% de los aportes de nutrientes de la cuenca se deben a fuentes difusas provenientes de la agricultura y la actividad lechera.

Ante esta problemática y la relevancia del embalse, se establecieron en la cuenca una serie de medidas propuestas por el MVOTMA que llevaron a delimitar una franja de exclusión agrícola y ganadera en todo el perímetro del embalse. Esta medida fue implementada con el propósito de reducir las cargas externas de nutrientes, ya que las zonas con vegetación ribereña funcionan como zonas de amortiguación o *buffer*, protegiendo la margen de los cuerpos de agua de la erosión y capturando contaminantes mediante procesos físicos, químicos y biológicos.

Este trabajo se enmarca en el Convenio de cooperación técnica y científica entre el Ministerio de Ambiente y la Udelar para evaluar el potencial de la zona buffer (ZB) de Paso Severino en la retención y reducción de la llegada al embalse de nutrientes provenientes de la agricultura; así como su relación con el estado y la calidad del suelo. El trabajo incorpora parte de la información de campo y laboratorio generada en el convenio, así como la percepción de los productores del área a través de entrevistas y la opinión experta a partir de un taller con especialistas sobre alternativas de manejo de la zona buffer.

En base a los resultados obtenidos en suelos de sitios bajo cultivo y ZB con tres coberturas de vegetación diferente (pastizal, arbustal y bosque), las ZB Bosque mostró mejores condiciones respecto al resto de las coberturas analizadas. Particularmente, se constató una menor Densidad aparente, una mayor Porosidad total, una mayor Conductividad hidráulica y una estratificación de Fósforo y Nitrógeno acumulada en los primeros centímetros del suelo, que se observó en todas las coberturas. A través de las entrevistas y las salidas realizadas a los sitios de estudio, se percibe preocupación en cuanto al estado de la ZB, por el riesgo de incendio debido a la "suciedad" y por la dificultad en cuanto a la disponibilidad de agua para el ganado en el predio. A su vez, se observó que en la ZB hay dispersión acelerada de especies invasoras y acumulación de necromasa, que ante a la ausencia de algún manejo, con el tiempo podría derivar en la

exportación de nutrientes. Frente a estas problemáticas, especialistas de diferentes disciplinas proponen como alternativas de manejo: generar diferentes protocolos de manejo en ZB, según arreglos con productores y OSE; considerar la cosecha mecánica de la vegetación herbácea y el pastoreo como medidas para evitar acumulación de necromasa y remover nutrientes del sistema; y gestionar esta zona como espacio turístico y cultural compatible con la producción existente en el área.

Palabras clave: exportación de nutrientes, producción agrícola-ganadera, zonas de amortiguación.

2. INTRODUCCIÓN

Las actividades humanas, sustentadas en los paradigmas predominantes sobre el desarrollo social y económico, tienen una gran influencia en el clima y los ecosistemas, produciendo cambios ambientales que pueden tornarse destructivos y hasta catastróficos (Rockstrom *et al.*, 2009). A nivel de los ecosistemas acuáticos, el principal problema que altera la calidad de las aguas superficiales en zonas rurales es la eutrofización (Sharpley, 2010). La eutrofización deriva de un incremento en el suministro y disponibilidad de nutrientes, principalmente Nitrógeno (N) y Fósforo (P), que promueve la proliferación de floraciones algales, plantas acuáticas y macroalgas, así como una disminución del oxígeno disponible causada por la muerte y descomposición de estas (Sharpley *et al.* 2003; Carpenter, 2005). La degradación de la calidad del agua causada por la eutrofización restringe su uso para la recreación, la industria y como fuente de agua potable, a lo que se suma la pérdida de hábitat y biodiversidad (Sharpley, 2010; Díaz, 2013). Como indicador de eutrofización en aguas superficiales más robusto y estudiado se destaca el fósforo total (Schindler, 1977), seguido del nitrógeno total. La concentración de estos mide la magnitud de P y N disponible en forma orgánica e inorgánica, soluble y particulada, en los sistemas acuáticos (Joosse & Baker, 2011).

La fuente principal de nutrientes que causan la eutrofización cultural está asociada a las actividades humanas, como la agricultura y los aportes industriales y urbanos (Carpenter, 2005; Menéndez & Tarela 2010; Horta, 2015). Las descargas cloacales o industriales, las cuales tienen vertidos directos, principalmente efluentes, y cuyos puntos de entrada se encuentran perfectamente definidos, son denominadas fuentes puntuales. Mientras que el transporte de nutrientes u otros contaminantes por escurrimiento superficial desde suelos bajo actividades agropecuarias se considera de carácter difuso (URSEA, 2017). Los aportes difusos varían con las estaciones y el clima, y son difíciles de cuantificar debido a su origen disperso (Carpenter, 2005; McDowell *et al.*, 2015); pueden producirse por arrastre de material particulado con nutrientes asociados o por disolución de estos en el agua de escorrentía. La erosión del suelo, en este caso, se incluye como un factor de movilización (Joosse & Baker, 2011; URSEA, 2017).

En Uruguay, la expansión e intensificación en las actividades agropecuarias ha generado que, en los sectores con mayor intensidad de uso productivo, el ambiente en general presente cierto estado de deterioro (Mazzilli *et al.*, 2015). La mayor contribución de nutrientes se da desde la producción agropecuaria y el origen de esta es difuso; esto genera que las concentraciones elevadas de nutrientes en el agua sean más localizadas (Goyenola *et al.*, 2021).

Dentro de las actividades agropecuarias, la producción lechera (PL) es una de las que más afecta la calidad del agua de ríos y arroyos (Chalar *et al.*, 2017), a la vez que contribuye al deterioro de los ecosistemas por la combinación de las actividades agrícolas y ganaderas (Bewsell *et al.*,

2007). La PL se basa en la cría intensiva de ganado cuya alimentación incluye cultivos forrajeros (Arocena *et al.*, 2012); la producción de leche es el rubro principal, pero se puede producir también carne, queso y otros subproductos (Portal INIA).

La intensificación productiva en las actividades agropecuarias, con la adopción de tecnologías como la siembra directa (SD), en la que se utilizan fertilizantes solubles que se acumulan en los primeros centímetros del suelo, determina una sobrecarga y estratificación de nutrientes en este horizonte, aumentando así su disponibilidad (Giuffre & Esquerdo 1999; Kleinman *et al.*, 2011; Rowe *et al.*, 2015). La sobrecarga de nutrientes asociada a la fertilización fosfatada a largo plazo, “P Legacy” (legado de Fósforo), deja una “herencia” por períodos muy prolongados en el tiempo, lo que impide que los cambios de manejo del suelo se traduzcan, a corto y mediano plazo, en cambios relevantes de la concentración de P en agua (Carpenter, 1998; Perdomo *et al.*, 2015).

La figura 1 esquematiza los principales procesos que ocurren vinculados al aporte difuso de P y sus consecuencias en la degradación de la calidad del agua. Se indican las causas más profundas e inmediatas de la problemática de la calidad del agua, así como sus consecuencias socioambientales.

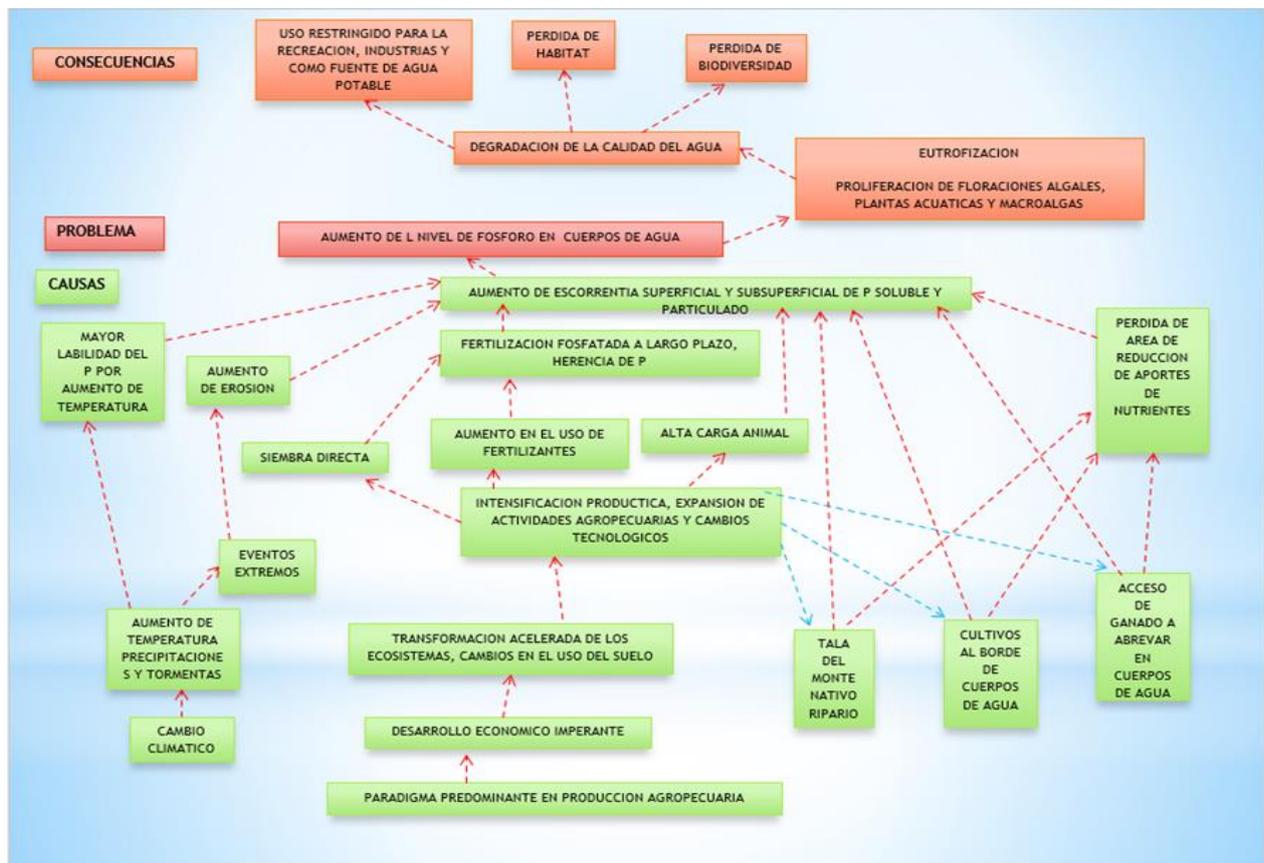


Figura 1. Árbol de problema que esquematiza cómo ocurre el aporte de fósforo a los cuerpos de agua. Se indica en verde las causas, en rojo el problema principal y en naranja las consecuencias (Elaboración propia).

Para reducir los aportes de nutrientes, una de las estrategias más frecuentes de restauración de ecosistemas acuáticos es la conservación y/o recuperación de la vegetación ribereña (VR). La misma se encuentra en la franja contigua a los bordes de arroyos, ríos, embalses y lagos; y oficia de interfase entre el ecosistema acuático y su cuenca de drenaje (Möller, 2011).

Las zonas con VR funcionan como zonas de amortiguación o *buffer* (por su nombre en inglés), protegiendo la margen de los cuerpos de agua de la erosión y capturando contaminantes mediante procesos físicos, químicos y biológicos (Aguiar *et al.*, 2015). Además de la VR existen ciertos cultivos, llamados “cultivos trampa”, que son considerados como ZB por la función que desempeñan en los sitios donde son implantados (establecidos para reducir y remover nutrientes) (Young *et al.*, 1980). En Uruguay, los humedales, arbustales y el campo natural son también ejemplos de ZB (Rodríguez-Gallego *et al.*, 2020a). Los estudios que contemplan esta problemática en Uruguay son pocos e incipientes; aun así, los mismos indican que las coberturas vegetales, que también incluyen al bosque nativo, cumplen una potencial función reguladora en la retención de nutrientes desde áreas agrícolas-ganaderas (Rodríguez-Gallego *et al.*, 2020b).

Estudios recientes evidencian la función de los pastizales naturales en la remoción de nutrientes en la Laguna de Rocha (Lescano y colaboradores en 2017), así como un elevado potencial de retención de P por la ZB próxima a cultivos forrajeros en el Embalse de Paso Severino (Rodríguez-Gallego *et al.*, 2020a). En este sentido, se indica el rol potencial del bosque nativo (en diferentes estados de conservación) (Rodríguez-Gallego *et al.*, 2020b).

Ante este panorama de degradación de aguas superficiales (Bonilla *et al.*, 2015; Goyenola *et al.*, 2015; Rodríguez-Gallego *et al.*, 2017), Uruguay enfrenta una serie de desafíos vinculados a la mitigación de estos problemas en ecosistemas acuáticos relevantes, entre los que se encuentra el Embalse de Paso Severino.

El presente trabajo se enmarca en un Convenio de Cooperación Técnica y Científica llevado a cabo en 2018 y 2019 entre el Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio ambiente (MVOTMA, ahora Ministerio de Ambiente) a través de la Dirección Nacional de Medio Ambiente (DINAMA, ahora DINACEA) y la Universidad de la República (UdelaR) mediante el Centro Universitario Regional del Este (CURE). En virtud del mencionado convenio, se realizaron mediciones en campo para evaluar el potencial de la ZB de Paso Severino para retener y reducir la llegada al embalse de nutrientes provenientes de la agricultura; así como para establecer su relación con el estado y la calidad del suelo. El trabajo pretende integrar parte de la información de campo y de la generada en laboratorio con el conocimiento y la percepción de los propietarios de los predios, así como con la opinión experta, a partir de un taller de discusión con especialistas para generar alternativas de manejo y decisión.

3. ÁREA DE ESTUDIO Y ANTECEDENTES GENERALES

El área de estudio corresponde al embalse de Paso Severino en el río Santa Lucía Chico, subcuenca del río Santa Lucía, en el departamento de Florida (figura 2). Este embalse es la principal reserva de agua dulce que proporciona agua potable al 58% de la población nacional (área metropolitana de Montevideo y 14 ciudades en Canelones), además de proveer de agua para riego a las actividades que se asientan en la zona (Arocena, 2008). Presenta un importante grado de deterioro ambiental resultado del reemplazo del monte indígena y el campo natural por agricultura, de la pesca sin manejo y del vertido de los efluentes industriales y urbanos provenientes de la ciudad capital de Florida (con un nivel variable de tratamiento previo), así como de los efluentes orgánicos de los tambos que circundan casi todo el espejo de agua. A esto se suma el aporte difuso de la agricultura y la actividad lechera. Se estima que el 80% de los aportes de nutrientes en la cuenca se debe a fuentes difusas provenientes de actividades agrícolas (JICA/DINAMA, 2011; Manta *et al.*, 2013; Aubriot *et al.*, 2017).

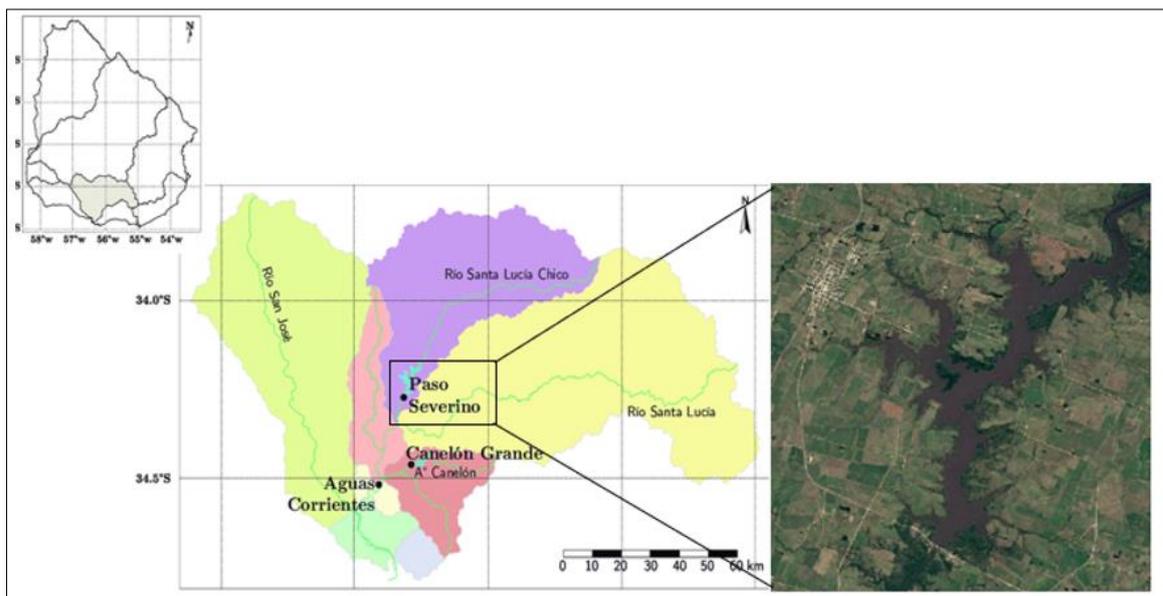


Figura 2. Mapa de la Cuenca del río Santa Lucía con los principales tributarios y grandes embalses (puntos), ubicación del embalse de Paso Severino. Imagen modificada de Somma *et al.* 2021.

Con el propósito de formular y ejecutar acciones que permitan controlar, detener y revertir el proceso de deterioro de la calidad del agua de la Cuenca del río Santa Lucía, se estableció el “Plan de Acción para la Protección de la Calidad Ambiental y la Disponibilidad de las Fuentes de Agua Potable en la Cuenca del Río Santa Lucía”, que consta de once medidas (MVOTMA, 2013). Estas medidas establecen un marco de acción para reducir los vertidos industriales y domésticos en toda la CRSL. Se exige de forma obligatoria el control de la aplicación de nutrientes y

plaguicidas, se establece el control en la extracción de agua, se restringe el acceso del ganado a abreviar en cursos de la zona A (fuente de agua potable) y se establece la instauración de una zona de amortiguación o *buffer* en todo el margen del embalse de Paso Severino. A su vez, en 2018, se aprobó el “Plan de Acción para la Protección de la Calidad Ambiental de la Cuenca del Río Santa Lucía, Medidas de Segunda Generación”, que integró ajustes a las medidas del Plan del año 2013, además de medidas y proyectos adicionales dirigidos a profundizar algunos aspectos como disminuir el aporte de la carga de nutrientes desde la cuenca, en particular el proveniente de tambos y fuentes difusas, así como a mejorar el grado de involucramiento de los productores de la cuenca (URSEA, 2017; MVOTMA, 2018).

A partir de estos planes, la zona perteneciente a OSE, entre los cultivos y el cuerpo de agua del embalse de Paso Severino, fue alambrada perimetralmente a una distancia de 100 metros aprox. hasta la margen de este, lo que permitió el crecimiento y la regeneración de la vegetación.

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

Realizar recomendaciones de manejo para reducir la carga de nutrientes exportada desde predios agropecuarios linderos al Embalse de Paso Severino, integrando las características y manejo de dichos predios, las condiciones en cuanto a la calidad fisicoquímica de suelos de diferentes coberturas vegetales en zonas *buffer* y cultivos linderos, y el conocimiento de la percepción de los productores agropecuarios y técnicos calificados.

4.2 Objetivos específicos

- Relevar información del manejo productivo actual y pasado de los predios linderos al embalse; conocer la opinión de los productores sobre las medidas tomadas en torno al embalse (particularmente la instalación de la ZB) y sobre la calidad de agua de este.
- Describir y comparar las características fisicoquímicas del suelo con cultivos y las ZB aledañas.
- Establecer posibles estrategias de manejo, tanto de las áreas productivas como de las ZB, para reducir la exportación de nutrientes.
- Realizar recomendaciones de manejo de las ZB, integradas al sistema productivo de la

zona, que incorporen los resultados obtenidos en objetivos anteriores, así como resultados obtenidos por otros autores.

5. METODOLOGÍA

5.1 Selección y características de los sitios de estudio

El diseño espacial requería seleccionar tres sitios dentro de la ZB de Paso Severino que tuvieran diferentes coberturas del suelo (campo natural, arbustal y bosque) y que cada uno de estos tuviera, aguas arriba, predios linderos con pasturas implantadas y/o cultivos (figura 3). En la tabla 1 se describen las principales características de dichos sitios.



Figura 3. Localización de los sitios experimentales en el entorno del Embalse Paso Severino: Cultivo S1 Nuevo (Cultivo S1N) con Zona *Buffer* de campo natural restablecido (ZB CN), Cultivo Sitio 2 (S2) con Zona *Buffer* arbustal (ZB Arbustal) y Zona *Buffer* bosque nativo (ZB Bosque). Imagen: Google Earth.

Tabla 1. Características de los predios seleccionados inicialmente: Cultivo Sitio 1 Nuevo (S1N), ZB Campo natural restablecido y Cultivo S 2, ZB Arbustal y ZB Bosque nativo; uso principal en zona de cultivos, localización, y tenencia de la tierra (Adaptada de Rodríguez- Gallego *et al.*, 2020a)

Zona de cultivos	Uso del suelo en zona de cultivo	Tipo de vegetación en zona buffer	Coordenadas	Tenencia
Cultivo S 1N	Avena hasta diciembre y posterior barbecho	Campo natural restablecido	34°12'12" S 56°18'10" O	Propietario
Cultivo S 2	Pastura sembrada (Lotus, trébol y festuca). 1er año	Arbustal	34°12'28.03"S56°18'8.14"O	Arrendatario
		Bosque nativo	34°12'28.03"S56°18'8.14"O	

Los **sitios bajo cultivo** (predios privados) tuvieron un predominio de pasturas implantadas con una larga historia de cultivos. El área agrícola aguas arriba de las ZB Arbustal y Bosque corresponde a la misma chacra (tabla 1 y figura 3).

En la **ZB**, se identificaron tres sitios diferentes en cuanto a su vegetación, un sitio dominado por gramíneas: campo natural restablecido = CAMPO NATURAL; otro dominado por arbustos: ARBUSTAL; y, por último, un sitio dominado por árboles nativos: bosque nativo establecido = BOSQUE. El campo natural restablecido estuvo dominado principalmente por una gramínea exótica invasora (*Cynodon dactylon*), con algunas especies nativas. Esta zona presentó un proceso de arbustización hacia el final del estudio. El arbustal estuvo principalmente dominado por chircas y espinillos en crecimiento. El bosque no solo corresponde a bosque establecido (árboles nativos de gran tamaño, presentes en imágenes antiguas), sino que también existen zonas de bosque en proceso de recuperación, tanto por sucesión natural como por la restauración ecológica promovida por DINAMA en 2017-2018 (DINAMA, 2017). Los tres tipos de vegetación de la ZB presentaron diferente estado de conservación; a su vez, se registraron especies invasoras como *Fraxinus americana* (fresno) y *Gleditsia triacanthos* (espina de Cristo), con diferente grado de cobertura y en franco avance.

5.2 Caracterización y manejo productivo de los predios, percepciones de la zona buffer

La visita a los productores de los sitios de estudio tuvo el propósito de explicar el proyecto, mostrar resultados preliminares que podrían ser de su interés y realizar una entrevista semiestructurada acerca del manejo histórico y actual en cada predio. Previo al comienzo de cada entrevista, se realizó una breve charla en la que se explicó la relevancia del Embalse de

Paso Severino como reserva de agua para potabilizar, las problemáticas instaladas con respecto al aporte difuso de P, la importancia de proteger el bosque ribereño y la puesta en marcha, a partir de 2014, de las medidas tomadas en la cuenca por parte del Estado con el fin de proteger su calidad.

Las preguntas estuvieron dirigidas al productor y a la caracterización del predio para conocer el vínculo con la actividad, el tiempo de residencia en la zona, el tipo de tenencia y el tamaño del predio. Seguido a ello, se abordaron aspectos de la producción: se realizaron preguntas acerca del manejo de la chacra donde se realizaron los análisis para conocer el plan de secuencia de cultivos, los fertilizantes fosfatados y nitrogenados utilizados, el acceso a asistencia técnica, el tipo de maquinaria utilizada, el tipo de laboreo y la realización o no de análisis de suelo para cuantificar los valores de fósforo. Luego, las preguntas fueron dirigidas a la percepción del productor respecto a la exclusión ganadera y su potencial interés en relación con el manejo de esa zona. Se consultó sobre la provisión de agua en sus predio, los cambios ocurridos a partir de la delimitación de la ZB y sobre sus perspectivas a futuro con respecto al sistema de producción de cultivos y pasturas. Por último, se les consultó su opinión sobre la calidad del agua del embalse, teniendo en cuenta el tipo de producción existente en la zona y los centros poblados cercanos.

5.3 Muestreo y análisis de suelo

Para evaluar y comparar las condiciones del suelo, desde el punto de vista de la calidad de estos, se realizaron análisis físicos-químicos de suelo (ver tabla 2) en los dos sitios bajo cultivo y las ZB asociadas. Por lo cual los relevamientos en suelo corresponden a dos sitios para cultivos: S1N y S2 y 3 sitios para las zonas *buffer* CN, Arbustal y Bosque. Uno de los sitios de agricultura tuvo que ser descartado debido a prácticas agrícolas que afectaron sustancialmente la calidad del suelo y no permitieron la realización de otros ensayos de campo establecidos en el Convenio entre el MVOTMA y el CURE. Por este motivo se presentan resultados de dos sitios de cultivo y tres sitios de zona *buffer* (cada uno con una coberturas del suelo diferente: CN, Arbustal y Bosque). A su vez, para cada variable se tomaron muestras en diferentes profundidades, para Densidad aparente (Dap), Carbono orgánico (Corg) y Conductividad hidráulica (K) las profundidades analizadas fueron entre 0.0-5.0 y 5.0-10.0 cm, mientras que para Fósforo Bray I (P Bray I) y Nitrógeno total (NT) fueron entre 0.0-2.5, 2.5-7.5 y 7.5-15.0 cm. Estos análisis fueron realizados sobre los datos obtenidos en un muestreo puntual, realizado en otoño de 2019.

Para las diferentes variables analizadas el criterio de colecta de réplicas fue diferente, según los costos de colecta y análisis de las muestras. Para Dap (y porosidad total) y K se colectaron cuatro réplicas para cada profundidad, en cada cobertura del suelo (n= 4) y para Corg, P Bray I y NT se

tomó una única muestra por cobertura del suelo, para cada una de las profundidades (agricultura contó con dos sitios) El criterio de muestreo fue el mismo para todas las profundidades.

La determinación del color, como carácter asociado a la calidad del suelo, se hizo por clasificación visual mediante la tabla Munsell. Los análisis Dap y K fueron realizados en laboratorio del CURE Rocha. Los análisis de Corg, P Bray I y NT fueron realizados en un laboratorio externo (Laboratorio Oriental del Este).

Tabla 2. Variables del suelo evaluadas (indicadores de calidad), unidades, metodologías aplicadas para su análisis, profundidad de análisis y finalidad de estos.

Indicadores	Unidades	Metodología	Profundidad (cm)	Finalidad del análisis
Densidad Aparente (Dap)	gr/cm ³	Burke	0.0 – 5.0	Caracterización y cuantificación del sistema poroso del suelo
			5.0 – 10.0	
Carbono Orgánico (Corg)	% masa	Walkey-Black	0.0 – 5.0	Determinación del contenido total de carbono orgánico del suelo.
			5.0 – 10.0	
Conductividad hidráulica en flujo saturado(K)	cm/h	Klute & Dirksen	0.0 – 5.0	Caracterización de las propiedades hídricas del suelo.
			5.0 – 10.0	
Análisis de nutrientes en suelos: P Bray I y Nitrógeno Total	ppm y % masa	Espectrofotométrico y Kjeldahl	0.0- 2.5	Determinar contenido de fósforo y nitrógeno en suelo.
			2.5 - 7.5	
			7.5 – 15.0	

Para realizar el análisis de Dap, se tomaron cuatro muestras por cada profundidad (0.0-5.0 cm y 5.0-10.0 cm) en zonas representativas para cada cobertura, mediante el método del cilindro descrito por Burke *et al.* 1986. La Dap (gr/cm³) se calculó como:

$$Dap = \frac{\text{Masa del suelo seco (gr)}}{\text{Volumen del cilindro (cm}^3\text{)}}$$

La Porosidad Total (%) se calculó como: PoT = 1 –(Dap/dreal) x 100.

Para determinar el contenido de Corg, se tomó una muestra compuesta de seis puntos para cada una de las coberturas. La determinación de Corg en laboratorio se realizó con la metodología de Walkey-Black.

Para la determinación de la K (la movilidad del agua en el suelo), se extrajeron muestras en anillos, en dos estratos de suelo (al igual que para densidad aparente, de 0-5 cm y 5.0-10 cm de

profundidad). Dichas muestras fueron analizadas en un permeámetro (o infiltrómetro) de carga constante en el laboratorio del CURE, para lo cual se diseñó un dispositivo experimental. Los parámetros medidos fueron: volumen total de agua que traspasa el cilindro de suelo (en cm³) y tiempo (en segundos). Se determinó la conductividad hidráulica del suelo, a través de la ecuación:

Siendo K: Conductividad hidráulica del suelo (cm/h), Q: volumen de agua colectado en probeta

$$K = \frac{Q \cdot L}{t \cdot A \cdot h}$$

(mL), L: longitud de la sección del suelo, t: tiempo (s), A: área de la sección del cilindro (cm²) y h: carga hidráulica (cm).

Para la determinación de P Bray I y NT, se tomaron muestras compuestas de 10 a 12 puntos en cada sitio, extraídas con calador a tres profundidades (0.0-2.5 cm; 2.5-7.5 cm y 7.5-15.0 cm). De cada muestra, se tomaron alrededor de 100 gr para el envío al laboratorio para determinación de P Bray I y NT.

Para las características del suelo los análisis estadísticos correspondieron a ANOVA de dos vías, factores: coberturas del suelo y profundidad. Para Dap, PoT y K el factor cobertura del suelo estuvo integrado por cinco niveles: Agricultura S1N, Agricultura S2, ZB CN, ZB Arbustal y ZB Bosque, en cambio para Corg, P Bray I y NT el análisis estadístico estuvo integrado por dos niveles: Cultivos y Zona *buffer*, debido a la diferente replicación. El factor profundidad contó en todos los casos con dos niveles: 0.0-5.0 y 5.0-10.0, (p1 y p2); excepto para P Bray I que contó con tres niveles 0.0-2.5 cm; 2.5-7.5 cm y 7.5-15.0 cm (p1, p2 y p3). En todos los casos, los supuestos de distribución normal y homogeneidad de varianzas se comprobaron usando las pruebas de Shapiro y Bartlett, respectivamente. Cuando los requerimientos no se cumplieron, se transformaron los datos (mediante la aplicación de logaritmo en base 10). En caso de diferencias significativas, se aplicó la prueba de Tukey para realizar las comparaciones *post-hoc* por pares.

5.4 Taller con expertos para discutir alternativas de manejo de la ZB

En el marco del convenio, se llevó a cabo un taller con especialistas en el que participaron integrantes del proyecto, especialistas de DINAMA, invitados del CURE y un referente local conocedor de la realidad productiva y social del área.

El taller fue realizado con el fin de encontrar alternativas de manejo de la ZB, de manera de promover recomendaciones sobre posibles medidas viables y de bajo costo que contribuyan a mejorar la eficiencia en la retención de nutrientes. El objetivo que se planteó fue discutir de forma transdisciplinaria propuestas de manejo basadas en intereses comunes, teniendo en cuenta las actividades productivas del área y a los productores.

Se presentaron los resultados del convenio en cuanto a eficiencia de la ZB en retención de nutrientes, condiciones fisicoquímicas del suelo y percepciones de los productores de la ZB; y a partir de esta puesta en común se continuó con lluvia de ideas por parte de los participantes.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Descripción de los sitios de estudio y manejo productivo

A través de imágenes de Google Earth, se observó la delimitación de la ZB en 2016 y el cambio a nivel del tapiz vegetal en los sitios de estudio. La cobertura de herbáceas y arbustivas aumentó, generando un proceso de arbustización relevante, que continúa hasta el presente. Durante el período en el que se realizó el proyecto, el rápido avance y crecimiento de la vegetación en la ZB generó un claro cambio en el paisaje hacia el final del trabajo (figura 4).



Figura 4. Imágenes satelitales de los Cultivos y ZB asociadas desde 2006 hasta 2021, donde se observan los cambios temporales y espaciales ocurridos (antes y después de la delimitación de la ZB). En imágenes de los años 2006 y 2014 se indican los dos sitios bajo cultivos: S1N y S2, en imagen del año 2016 se marca en rojo la delimitación con alambrado que separa cultivos de zonas *buffer*, en imagen del año 2018 se marca en amarillo el área de cultivos posterior a la delimitación con el alambrado y en las imágenes de 2019 y 2021 se indica con flechas blancas los cambios ocurridos en la cobertura vegetal de las zonas *buffer*, donde se observa la arbustización de la ZB CN y el aumento espacial de la cobertura en ZB Arbustal y Bosque . Imagen: Google Earth.

La ZB Campo natural presentó diversidad de especies de gramíneas nativas y arbustos dispersos al inicio del proyecto, aunque *Cynodon dactylon* fue dominante. Según las imágenes de Google Earth, un porcentaje próximo al 50% del área riparia presentó cultivos (figura 4) previo a la instalación del alambrado de OSE. Según datos del productor, el alambrado fue instalado en julio de 2015 y los cultivos nunca llegaron al borde del cuerpo de agua.

En la entrevista, se obtuvo información acerca de la secuencia de cultivos realizada entre 2016 y 2018. Durante ese período, en la chacra de interés para el estudio (Cultivo Sitio 1 Nuevo), se hizo rotación de pradera (2 años), avena (verdeo de invierno) y sorgo (verdeo de verano); y a comienzos de 2019, al no poder sembrar pradera, se hizo una avena tardía que se mantuvo hasta el final del proyecto. La fertilización se llevó a cabo al momento de la siembra (siembra directa), aplicando 100 kg ha⁻¹ para la última avena, utilizando PO₄ diamónico.

La ZB Arbustal estuvo dominada por arbustos, tales como Chirca (*Baccharis dracunculifolia*) y Espinillo (*Vachellia caven*), mientras que la matriz herbácea estuvo dominada por pasto Bermuda (*Cynodon dactylon*). Previo al alambrado de OSE, este potrero presentó agricultura, o al menos mejoramiento con pasturas artificiales en casi toda el área (figura 4). Al momento del inicio del proyecto se observó claramente vegetación de porte arbustal cubriendo todo el sitio.

La ZB Bosque presentó un bosque nativo, donde se vio la predominancia de Coronilla (*Scutia buxifolia*), Chal-chal (*Allophylus edulis*) y Molle (*Schinus longifolius*). Se observaron también especies arbóreas invasoras como Espina de Cristo (*Gleditsia triacanthos*) y Fresno (*Fraxinus americana*). En las imágenes satelitales, se observa la extensión del área de cultivos antes y después del alambrado (figura 4).

La zona de cultivos asociada a las ZB Arbustal y Bosque, (Cultivos S2) presentó una pradera plurianual sembrada en otoño de 2018. En esta chacra, se realizaron rotaciones de 4 años, 3 años de pradera, verdeos de invierno (rastreo de invierno) y verdeos de verano para pastoreo (rastreo de verano). La pradera se fertilizó con 100 kg/ha de 7-40/40-7 y los verdeos con DAP 18-46/46-0 (fertilización fosfatada). Se realizó análisis de P en suelo para el verdeo de invierno (avena). La fertilización nitrogenada se realizó “al voleo” con urea. Los tratamientos fueron realizados con siembra directa.

6.2 Percepciones de los productores acerca de las ZB

El productor del sitio 1 Nuevo (Cultivo S1N), vive allí desde que nació y es el propietario; la superficie total es de 92 ha y siempre se dedicó a la producción lechera. Antes de que se hiciera el embalse, tenía campo enfrente, 250 ha más. Siempre estuvo en el marco de la producción familiar, aunque anteriormente (durante 30 años) arrendaba un campo de 500 ha en la cercanía y tenía gente que lo ayudaba en determinadas actividades. Dice que desde que OSE alambró se tuvo que achicar; tenía más de 100 vacas y ahora tiene 30. Participó de un grupo lechero de más de 20 productores que remitían leche a CONAPROLE (Cooperativa Nacional de Productores de Leche), pero se disolvió. Considera que la ZB está muy sucia y juró no volver más a pescar al embalse, pero en la última crecida fue y le impresionó mucho (de forma negativa) como está ahora esa zona. Dice que, en ausencia de crecientes, el agua es clara; no ve al ganado como un factor perjudicial y considera que los aportes de las industrias, el saneamiento, la basura, los asentamientos y la aplicación de herbicidas son considerablemente negativos y perjudiciales. Le impresiona la suciedad que presenta la ZB y ve como un problema el riesgo de incendio que presenta; también, el hecho de que sea una zona de libre acceso le genera inseguridad en su predio. Opina que antes de la delimitación *buffer* “se estaba mejor”, no considera hacer pastoreo en la zona por no existir alambrados linderos y, aunque se cerrara, ve como un problema el hecho de que pueda entrar gente que rompa los alambrados (ver resumen de percepción de ZB en Tabla 3). Con respecto al agua en su predio, tiene una cantera, el tajamar y un pozo; los animales van a la cantera. El resto de su predio no tiene acceso al agua, no ha tenido problema de falta de agua debido a que tiene pocas vacas, aunque considera que en un futuro próximo podría solicitar la realización de un pozo nuevo. Lo que cambió a partir del *buffer* fue el acceso directo que tenían los animales a tomar agua; dice que se había generado como una playa y estaba todo limpio, y que “tenía a los animales ahí” en esa chacra, cosa que ya no puede hacer. Ve al bosque nativo como positivo, ya que evita que haya erosión, pero sabe que ha disminuido debido a la tala, “muchas gente mantiene a la familia con la venta de leña”. Tiene el predio a la venta y su visión del futuro “es negro”; su objetivo es irse. Con respecto a la calidad de agua del embalse, considera que el agua es un cristal, pero sabe que los nutrientes están ahí y para saber realmente como está tendrían que hacerse análisis.

El Cultivo S2 corresponde a una chacra dentro de un área de 110 ha que pertenece a 3 dueños diferentes y está arrendada. El arrendatario y actual productor trabaja en ese predio hace 10 años, nació en el pueblo 25 de mayo y actualmente vive en la ciudad de Florida. Anteriormente hacía lechería y a partir de la delimitación con el alambrado (a partir del año 2017, según datos del productor) abandonó la actividad que realizaba y se dedicó de ahí en más a la cría en ese predio. También produce forraje ya que posee dos tambos cerca de allí. Trabaja con su familia y

tiene empleados. Pertenece al grupo CREA (Consortios Regionales de Experimentación Agrícola): Palo y Palo, y es miembro de AUSID (Asociación Uruguaya Pro-Siembra Directa). Considera que la ZB está muy sucia, por lo cual no cree conveniente hacer pastoreo; le preocupa que esa zona corra riesgo de incendio. No está de acuerdo con la exclusión ganadera; considera que un tambo pequeño no es un problema y sí ve como problema los aportes provenientes de las ciudades.

Cree que estaría bien “hacer una festuca” para “mantener limpia esa zona”. Considera muy relevante el tema del acceso al agua; a partir de la delimitación de la ZB no tiene acceso a ella para el ganado. Tiene un pozo de agua, para proveer de agua al ganado, lo cual le significa acarrear agua una vez al día y hasta dos veces en verano, por lo cual el suministro de agua le genera un gasto extra que tiene que cubrir. Actualmente el campo le da más trabajo y cree que perdió valor debido a no tener acceso al agua del embalse como antes, dice que esta preocupación fue general en la zona y que hubo protestas al respecto, pero él no estuvo involucrado. Llegó a oídos suyos que OSE pondría bombas de agua en los predios que quedaban sin acceso al agua pero que finalmente no se concretó (ver resumen de percepción de ZB de productores en tabla 3). No tiene pensado hacer cambios a futuro con respecto al sistema de producción de cultivos y pasturas. Tiene una buena percepción de la calidad del agua del embalse, dice que “ahí en la vuelta es buena”.

Tabla 3. Tabla resumen de la información principal obtenida de las entrevistas con relación a las percepciones de los productores sobre la ZB.

Preguntas	Productor Cultivo S1 N	Productor Cultivo S2
20. ¿Considera que habría que hacer pastoreo en la zona buffer?, ¿Cree que funcionaría mejor, podría ser una medida para prevenir o reducir riesgo de incendio, por ejemplo?	“¡Qué mugre!”, “ni los perros van”, “hay un colchón de gramilla, plantaron árboles y si alambraron es porque no quieren que vaya el ganado, es un peligro para los ladrones que van a andar, el problema es el incendio”.	“Lo que está ahora es mugre, no sé si se gana algo con eso, hay riesgo de incendio por supuesto, habría que por lo menos limpiarlo, si se hace una festuca y la mantienes bien se mantendría limpio”.
21. ¿A usted le interesaría gestionar algún acuerdo con OSE para hacer pastoreo en algunos momentos del año? SI, ¿en qué época del año, (¿en invierno?), con qué frecuencia?, o ¿cuántas veces al año?, ¿qué categorías? (edad, sexo) / NO	“El problema es que no hay alambrados linderos, si pongo a las vacas, ¿a dónde van a ir a parar”? “Cuando existía el alambrado el lugar estaba mucho mejor”, “nunca tuvimos cultivos hasta el borde, los carteles que se pusieron marcaban hasta donde se podía sembrar”. “Para hacer pastoreo habría que cerrar, el problema es que entra gente y rompe todo”. “Cuando el productor explotaba estaba mucho mejor”.	“Lo principal es dar agua”, “estoy rodeado de agua y está alambrado, los animales tomaban en una entrada antes”.

22. ¿Qué opinión tiene con respecto a la protección del bosque nativo?	El bosque nativo hace que no haya erosión, casi no queda, la gente mantiene a la familia con la venta de leña y la gente que entra a pescar rompe los arbolitos”.	“Que es bueno”.
23. ¿Cómo maneja el tema del agua en su predio a partir de la exclusión ganadera?	“La cantera, el tajamar y el pozo, el resto del campo no tiene más agua, como son pocas vacas toman agua de la cantera, en verano tampoco no hubo problema, se previó hacer un pozo nuevo, bebederos y todo eso para las vacas, no sé en qué quedó en noviembre si lo queremos tenemos que pedir nuevamente”.	“Tengo un pozo, y una persona tiene que ir una vez al día y en verano 2 veces, el problema lo arreglo con plata”.
24. ¿Qué cosas cambiaron para usted a partir de la delimitación de la zona buffer, con respecto al manejo del predio u otras?	“La aguada, las vacas iban directo a tomar agua, hasta una playa se hizo y que estaba todo limpio y tenía a los animales ahí”.	“100%, el campo me da más trabajo, es más, esos campos perdieron valor, hay un campo lindero que no tiene agua, sé que hubo protestas, hicieron reuniones y querían poner bombas de agua, yo no estuve en eso, OSE en un momento dijeron hubo una promesa que iban a poner una bomba a cada productor, pero después quedó trunco”.

En resumen, los productores muestran preocupación por el estado de la ZB y consideran el riesgo de incendio por la “suciedad” (vegetación que crece sin pastoreo). Uno de ellos propone plantar festuca, de manera de mantener limpia la zona; no demuestran interés en hacer pastoreo en algún período. El alambrado los perjudicó en cuanto a la disponibilidad de agua en el predio y, consideran afecta a los productores en general. Aseguran que el embalse se ve afectado por las actividades que ocurren más arriba, en la ciudad de Florida. A lo largo de las entrevistas es notorio el reconocimiento del problema en cuanto a la calidad del agua, pero no se visualiza que las causas se originen en actividades del sector al que ellos pertenecen. Aun así, tienen una buena percepción del agua próxima a sus predios.

6.3 Descripción de los suelos

Los análisis físico-químicos del suelo permitieron entender y relacionar entre sí el uso y las prácticas de manejo con las condiciones de este; y comparar los sitios bajo cultivo con las ZB. Todos los sitios pertenecen a la unidad Isla Mala de la carta 1:1.000.000 (Altamirano *et al.*, 1976), siendo Argiudoles típicos (Brunosoles). En cuanto a la clase textural, los mismos fueron entre franco y franco limoso, clasificación que les atribuye buenas características físicas en su

condición natural, según la carta de reconocimiento de suelos del Uruguay (Rodríguez Gallego *et al.*, 2020a).

En la tabla 4 se presentan los valores de las diferentes variables del suelo analizadas, para las diferentes coberturas y profundidades del suelo. Es importante destacar que para Carbono orgánico (Corg), Fósforo Bray I (P Bray I) y Nitrógeno Total (NT) la replicación fue menor, colectando únicamente una muestra por tipo de zona *buffer* y cultivo, por lo que la comparación estadística fue únicamente entre cultivo y zona *buffer*, sin discriminar tipos de vegetación o cobertura del suelo en la zona *buffer*.

Tabla 4. Tabla resumen. Valores de Densidad aparente (Dap), Porosidad total (PoT), contenido de Carbono orgánico (% masa) y Conductividad hidráulica (K), Fósforo Bray I (P Bray I) y Nitrógeno total (NT) para todos los cultivos (S1N y S2) y zonas *buffer* (CN, Arbustal y Bosque), para profundidades de 0.0-5.0 y 5.0-10.0 cm, para Dap, PoT, Corg, K y de 0.0-2.5, 2.5-7.5 y 7.5-15.0 para P Bray I y NT. Para las variables Corg, P Bray I y NT la replicación fue menor, colectando únicamente una muestra por tipo de zona *buffer* y cultivo, por lo que no se presenta desviación estándar. (modificado de Rodríguez Gallego *et al.*, 2020a).

VARIABLES	PROFUNDIDAD (cm)	CULTIVOS		ZONAS BUFFER		
		S1N	S2	CN	Arbustal	Bosque
Dap (g/cm³)	0.0 – 5.0	1.54 ± 0.02	1.41 ± 0.08	1.46 ± 0.05	1.52 ± 0.07	1.27 ± 0.05
	5.0- 10.0	1.50 ± 0.03	1.39 ± 0.09	1.56 ± 0.10	1.31 ± 0.05	1.26 ± 0.02
PoT (%)	0.0- 5.0	42.00 ± 0.82	47.00 ± 2.83	45.25 ± 1.89	42.5 ± 2.38	52.00 ± 1.83
	5.0- 10.0	43.75 ± 1.26	47.5 ± 3.42	41.25 ± 3.86	50.50 ± 1.73	52.50 ± 1.00
Corg (%)	0.0 – 5.0	3.34	3.47	4.18	3.59	4.66
	5.0 – 10.0	1.90	2.62	2.28	3.06	3.44
K (cm/h)	0.0- 5.0	0.81 ± 0.45	1.75 ± 0.30	1.32 ± 0.98	1.83 ± 2.23	21.32 ± 18.42
	5.0 – 10.0	1.62 ± 2.37	0.25 ± 0.30	0.78 ± 0.98	2.68 ± 4.52	17.23 ± 6.71
P Bray I (ppm)	0.0 - 2.5	34	17	18	25	13
	2.5 - 7.5	8	9	7	12	7
	7.5 – 15.0	4	7	3	5	4
N total (%)	0.0 - 2.5	0.5	0.34	0.4	0.39	0.57
	2.5 - 7.5	0.22	0.33	0.19	0.3	0.35
	7.5 – 15.0	0.15	0.26	0.14	0.21	0.24

El análisis de varianza aplicado a todas las variables asociadas a los suelos para este trabajo reportó que el factor profundidad (que refiere a las diferentes profundidades analizadas) fue significativo para Carbono orgánico (Corg), Conductividad (K), Fósforo Bray I (P Bray I) y Nitrógeno total (NT). En cambio, el factor cobertura, donde están representadas las diferentes coberturas analizadas, (Cultivos: Cultivo Sitio 1 Nuevo y Cultivo Sitio 2 y Zonas Buffer: ZB CN, ZB Arbustal y ZB Bosque), solo fue significativo para Densidad aparente (Dap), Porosidad Total (PoT) y Conductividad (K). También se observó para estas variables una interacción significativa al combinar los dos factores: cobertura y profundidad en todas las variables (Tabla 5). Cabe aclarar que para Corg, P Bray I y NT la comparación estadística en cuanto a cobertura fue entre cultivo y zona *buffer*, sin discriminar tipos de vegetación o cobertura del suelo. A continuación, se detallan los resultados para cada variable del suelo.

Tabla 5. Resultados de análisis estadísticos (AE) para las variables (V) analizadas en suelo, las transformaciones requeridas (TR) los factores: Cobertura del suelo y Profundidad del suelo y la interacción (I) entre ellos. Las variables Corg, P Bray I y NT no presentaron replicación para los tipos de vegetación en la zona buffer, por lo que la comparación se realizó entre la zona con cultivos y la zona buffer (sin discriminar entre CN, arbustal y BN).

V	AE	TF	COBERTURA	PROFUNDIDAD	INTERACCION
Dap(g/cm3)	ANOVA	-	F= 12.98 g.l.= 4 p<0.001	NS	F= 6.63 g.l.= 4 p<0.001
PoT (%)	ANOVA	-	F= 12.60 g.l.= 4 p<0.001	NS	F= 6.97 g.l.= 4 p<0.001
Corg (%)	ANOVA	-	F= 4.61 g.l.= 1 p= 0.075	F=15.99 g.l.=1 p<0.01	NS
K (cm/h)	ANOVA	Log ₁₀	F= 7.42 g.l.= 4 p<0.001	F= 3.28 g.l.= 2 p=0.081	NS
P Bray I(ppm)	ANOVA	-	NS	F= 15.52 g.l.= 2 p<0.001	NS
NT (%)	ANOVA	Log ₁₀	NS	F= 11.65 g.l.=2 p<0.01	NS

Los valores para Densidad aparente (Dap), (tabla 4) que describe el nivel de porosidad del suelo, fueron significativamente diferentes para las diferentes coberturas. Se observó una diferencia significativa en ZB Bosque, siendo menor que para todas las demás coberturas, además se registró diferencias significativas entre sí entre los cultivos, siendo el S1N ampliamente mayor que S2 (tabla 6). Si bien la profundidad no fue significativa para los valores medidos de Dap, la misma tuvo una interacción significativa en relación con la cobertura, por lo cual se infiere que el efecto de la cobertura no fue el mismo para todas ellas (tabla 5 y figura 5).

Tabla 6. Resultado de la prueba de Tukey para comparaciones múltiples de medias (P-Valor: significancia), para las variables Densidad aparente, Porosidad total y Conductividad hidráulica, comparación de coberturas (Zonas *buffer* Campo natural (CN), Arbustal (A) y Bosque (B); Cultivos: S1N y S2).

FACTOR	COMPARACION	P - VALOR		
		Dap	PoT	K
Cobertura	B-A	0.0056433	0.0046838	0.0077282
	CN-A	ns	ns	ns
	S1N-A	ns	ns	ns
	S2-A	ns	ns	ns
	CN-B	0.000070	0.0000090	0.011768
	S1N-B	0.0000033	0.0000043	0.0008925
	S2-B	0.0163661	0.0173478	0.0011041
	S1N-CN	ns	ns	ns
	S2-CN	ns	0.0829126	ns
	S2-S1N	0.0409984	0.0474974	ns



Figura 5. Valores de Densidad aparente (Dap) y desvío estándar de las dos profundidades analizadas (0.0-5.0 y 5.0-10.0 cm) para Cultivos de los sitios S1N y S2 y zonas *buffer* (ZB) Campo natural, ZB Arbustal y ZB Bosque (de izquierda a derecha).

La Porosidad total (PoT) tuvo el patrón inverso a la Dap, como era de esperar (tabla 4). Al igual que para Dap, para la PoT no se observaron diferencias significativas en cuanto al factor profundidad mientras que sí fueron significativas cuando se trató de las coberturas (tabla 5). La diferencia más marcada se observó en ZB Bosque donde la PoT fue significativamente mayor con relación a todas las demás coberturas (tabla 6 y figura 6). Si bien para esta variable tampoco la profundidad fue significativa, al igual que para Dap, la misma tuvo una interacción significativa en relación con la cobertura.

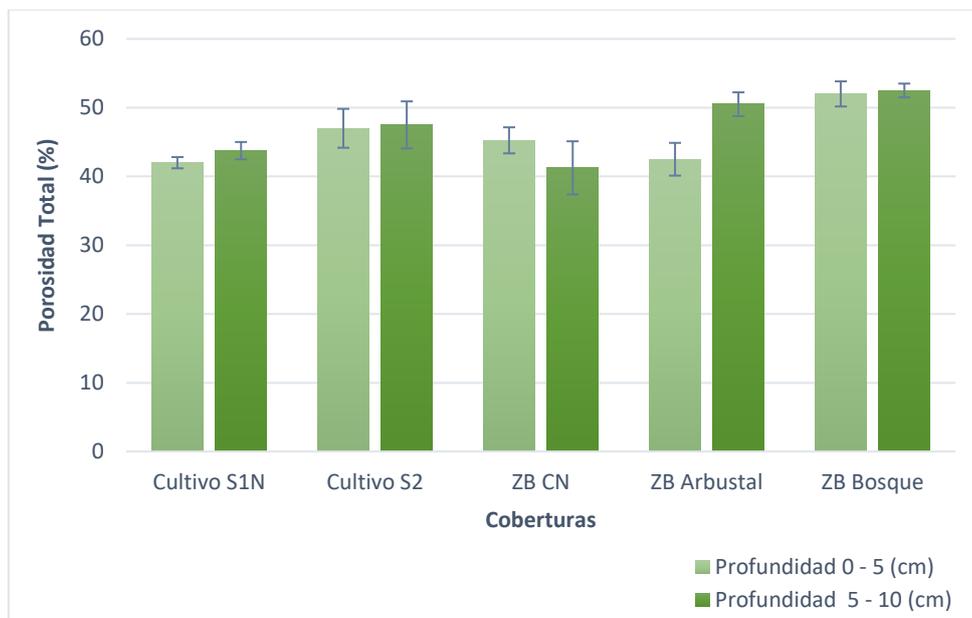


Figura 6. Valores de Porosidad total (PoT) y desvío estándar de las dos profundidades analizadas (0.0-5.0 y 5.0-10.0 cm) para Cultivos de los sitios S1N y S2 y zonas *buffer* (ZB) Campo natural, Arbustal y Bosque (de izquierda a derecha).

En cuanto al Carbono orgánico (Corg) (tabla 4), se encontraron diferencias significativas a nivel de profundidad (tabla 5) su contenido fue mayor en el estrato más superficial (figura 7). En cuanto a la cobertura el Corg presentó una diferencia significativa, aunque marginal, en donde los valores en ZB fueron superiores al de los Cultivos (tabla 7).

Tabla 7. Resultado de la prueba de Tukey para comparaciones múltiples de medias (P- Valor: significancia), para las variables Carbono orgánico (Corg), Fósforo Bray I (P Bray I) y Nitrógeno total (NT); comparación de profundidades (p1= 0.0-5.0 cm y p2= 5.0-10.0 cm para Corg y p1= 0.0-2.5 cm, p2= 2.5-7.5 cm y p3=7.5-15.0 cm para P Bray I y NT).

FACTOR	VARIABLE	COMPARACION	P- VALOR
Profundidad	Corg	p2-p1	0.0051985
	P Bray I	p2-p1	0.0048833
		p3-p1	0.0006435
		p3-p2	ns
	NT	p2-p1	0.0412934
		p3-p1	0.0014583
		p3-p2	ns

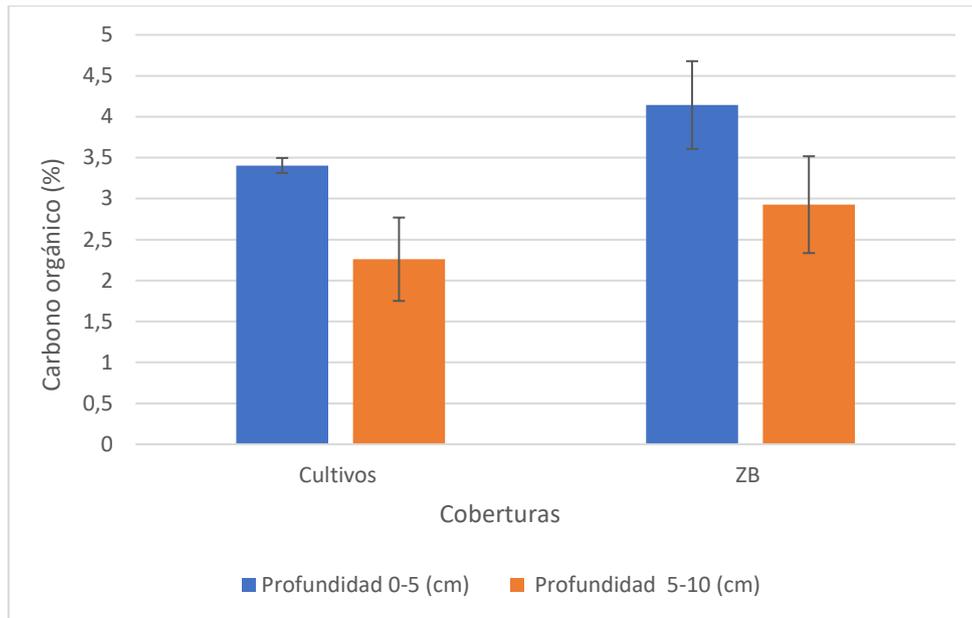


Figura 7. Contenido (%) de Carbono orgánico (Corg) de las dos profundidades analizadas (0.0-5.0 y 5.0-10.0 cm), para Cultivos y zonas *buffer* (ZB) .

Para los valores de Conductividad hidráulica (K) (tabla 4), se observaron diferencias significativas en las diferentes coberturas analizadas (tabla 5).

La K en la ZB Bosque presentó valores significativos ampliamente mayores con relación al resto de las coberturas del suelo (tabla 6 y figura 8). Esto se debió a que el Bosque presentó valores de porosidad del suelo significativamente mayores sumado al mayor valor de Corg registrado, lo que determina la capacidad del suelo de infiltrar agua proveniente de precipitaciones (Rodríguez-Gallego et al. 2020b). En cuanto a las dos profundidades analizadas, la K presentó una diferencia significativa, aunque marginal, debido a que su valor fue superior para el estrato más superficial, pero no se cumplió para todas las coberturas del suelo. En los estratos más superficiales del suelo es donde en general predomina la infiltración, ya que es donde suele tener más desarrollados los macroporos (Yinglan et al. 2018). Aunque, para el cultivo S1N y la ZB arbustal, ocurrió el caso contrario, en donde los estratos inferiores superaron los valores de los estratos superficiales.

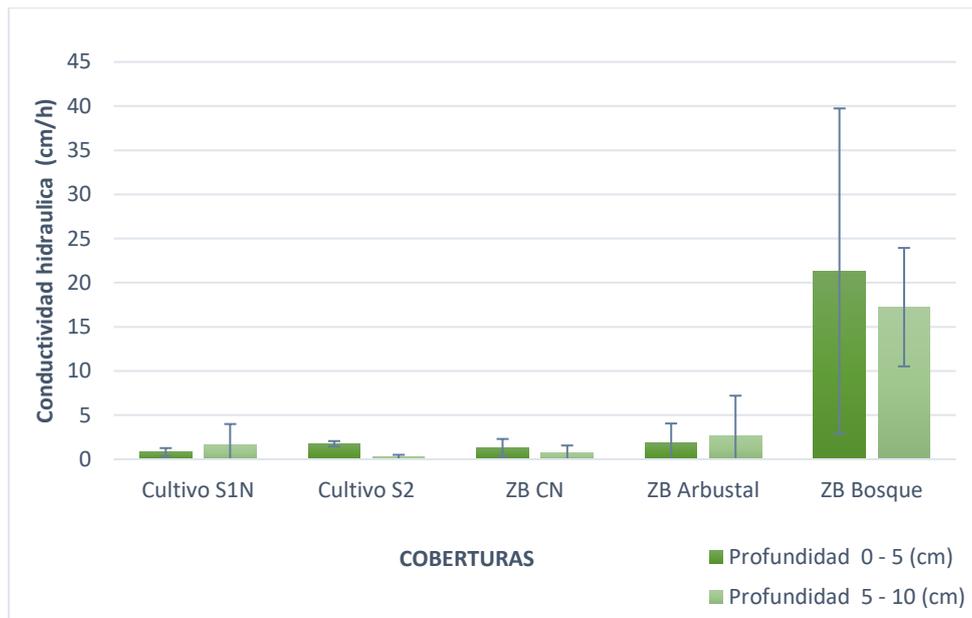


Figura 8. Valores de conductividad hidráulica (K) en flujo saturado de las dos profundidades analizadas (0.0-5.0 y 5.0-10.0 cm) para Cultivos de los sitios S1N y S2 y zonas buffer ZB Campo natural, Arbustal y Bosque (de izquierda a derecha).

En cuanto a la concentración de Fosforo Bray I (Pbray I), las diferencias significativas se vieron para las diferentes profundidades analizadas (tabla 4 y 5), y no hubo diferencias significativas para las diferentes coberturas. Es importante destacar que para ésta variable no se colectaron réplicas por cobertura del suelo, por lo que es posible que la menor replicación esté impidiendo detectar diferencias entre cultivos y zonas buffer.

Los valores de P Bray I fueron significativamente superiores en los primeros centímetros del suelo, con relación al resto de las profundidades (tabla 7 y figura 9). La estratificación vertical de nutrientes en el suelo hace que las primeras capas sean las que influyen mayoritariamente en la composición del agua de escorrentía (Baker *et al.*, 2017), siendo este resultado fundamental para entender el riesgo de exportación de P en agua superficial al Embalse de Paso Severino.

A su vez, en este trabajo, según las entrevistas a los productores, las fertilizaciones se hicieron al voleo, por lo cual no se incorporaron en profundidad. La práctica extendida de aplicar fertilizante en superficie sin incorporar predomina en predios lecheros y agrícolas de todo el país debido a la adopción de la siembra directa (Piñeiro & Perdomo, 2019). Similares resultados fueron reportados en otros trabajos realizados en la CRSL, en sitios bajo producción lechera, donde se observaron altas concentraciones de P Bray I en la capa de suelo de 0.0- 2.5 cm (Barreto *et al.*, 2017; Perdomo *et al.*, 2015).

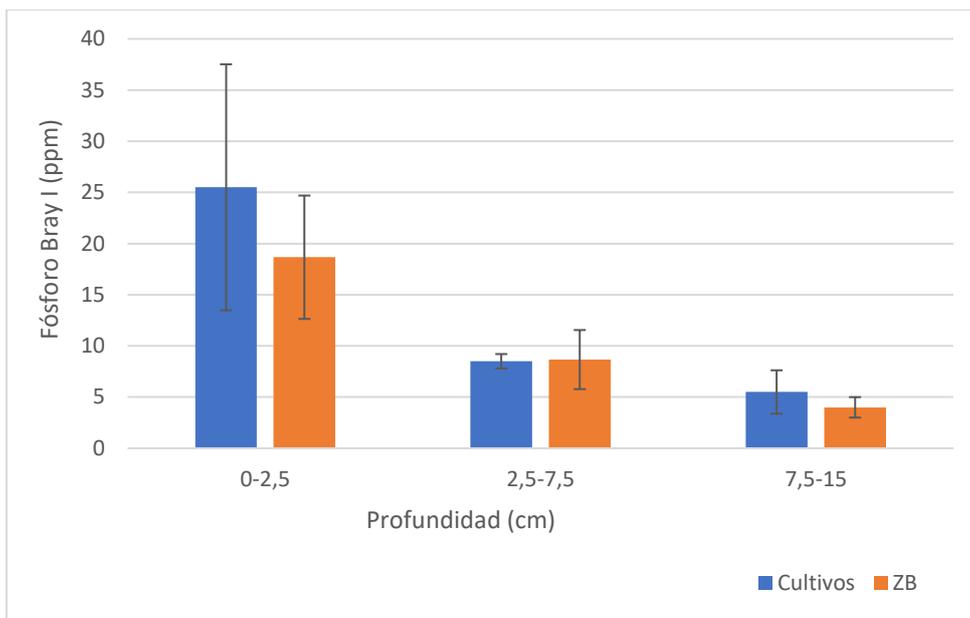


Figura 9. Concentración de Fósforo Bray I (ppm) en las distintas profundidades (0.0-2.5, 2.5-7.5, 7.5-15.0 cm), para Cultivos de los sitios S1N y S2 y zonas *buffer* (ZB) Campo natural, Arbustal y Bosque (de izquierda a derecha). Se colectó una única muestra por cultivo y para cada cobertura de la ZB, por lo que no se cuenta con medida de dispersión para cada cobertura del suelo.

Al igual que para el Fósforo, el Nitrógeno Total (NT), mostró diferencias significativas en el primer horizonte con relación a los otros (tabla 4 y figura 10), en donde el contenido fue significativamente superior con relación al resto de las profundidades (tablas 5 y 7). Asimismo, no se evidenciaron diferencias significativas entre cultivos y zonas buffer.

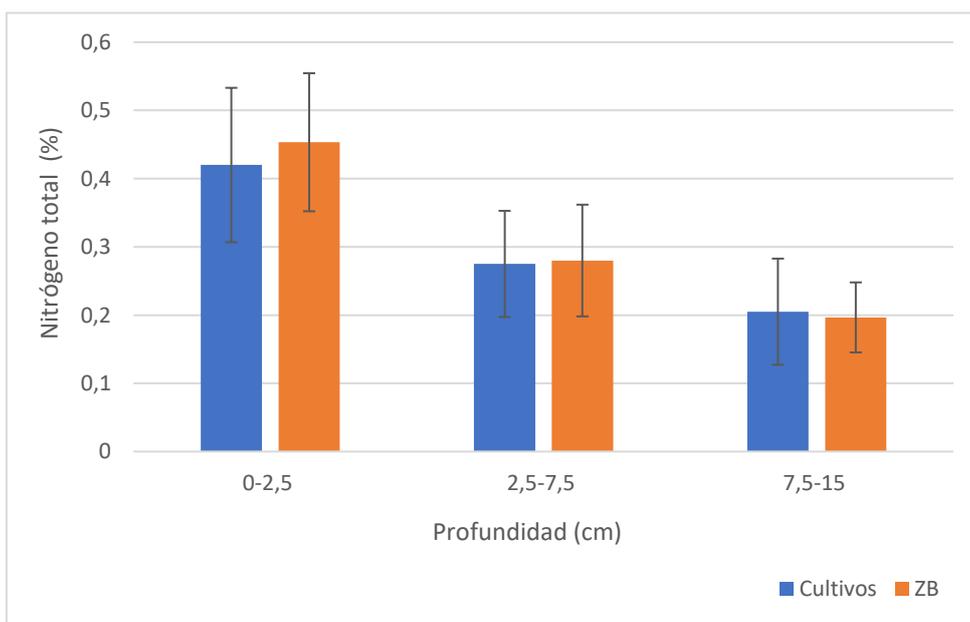


Figura 10. Contenido de Nitrógeno Total (en %) en las distintas profundidades (0.0-2.5, 2.5-7.5, 7.5-15.0 cm) para Cultivos y zonas *buffer* (ZB). Se colectó una única muestra por cultivo y para cada cobertura de la ZB, por lo que no se cuenta con medida de dispersión para cada cobertura del suelo.

Desde el punto de vista de la calidad de los suelos, los mismos tuvieron comportamientos diferentes frente a las variables analizadas. En cuanto a las zonas *buffer* el bosque se destacó como la cobertura con mejores condiciones en relación con las variables: Densidad aparente (Dap), Porosidad total (PoT) y Conductividad hidráulica (K). Mientras que el cultivo del S1N, presentó los valores significativos más contrastantes con relación a la ZB Bosque, para Dap, PoT y K. Con respecto a las variables mencionadas, las demás coberturas no compartieron el mismo patrón. Por lo cual para Dap y PoT, el orden establecido fue (p-valor de la prueba de Tukey de mayor a menor significancia): ZB Bosque/ Cultivo S2/ZB Arbustal/ ZB CN/ Cultivo S1N, mientras que para K fue el siguiente (p-valor de la prueba de Tukey de mayor a menor significancia): ZB Bosque/ ZB Arbustal /ZB CN/ Cultivo S2/ Cultivo S1N.

Similares resultados fueron encontrados en Aguiar *et al.* (2015) en distintos sitios en el estado de Paraná (Brasil), donde la mayor infiltración se dio en ZB de bosque, seguida de ZB de arbustal y por último en ZB con gramíneas (vegetación herbácea). Estos resultados indican la capacidad del bosque de infiltrar agua debido a la mayor exploración radicular y mayor acumulación de Carbono orgánico (Corg), y por consiguiente su eficiencia en disminuir la escorrentía y retener sedimentos y nutrientes. A su vez, también coinciden con los relevamientos en bosque reportados por Rodríguez-Gallego *et al.* (2020b) donde la Dap fue menor, asociada a una mejor estructura general en los primeros 10 cm del suelo, promoviendo un aumento de la macroporosidad del mismo. Condición del suelo que define la aireación, la exploración radicular, el volumen de agua retenida y la permeabilidad (García, 1980).

Respecto a la concentración de P Bray I, al igual que para el NT (%) en todas las coberturas, se observó que los estratos superficiales tuvieron valores por encima de los estratos más profundos, sin embargo, no se evidenciaron diferencias significativas entre cultivos y ZB. Condición que, aunque marginal, si ocurrió para Carbono orgánico donde se observó que los cultivos obtuvieron valores menores que las ZB, en general, sin discriminar entre sitios puntuales.

Para estas coberturas en torno al embalse de Paso Severino, Rodríguez-Gallego *et al.* (2020a) reportó que las cargas exportadas de PO₄ fueron menores en las ZB, alcanzando valores del entorno del 50% en el agua superficial (simulador de lluvia) y del 75% en el agua subsuperficial (colectores), (Rodríguez-Gallego *et al.*, 2020a). Estos valores son similares a los hallados por Lescano y colaboradores (2017), en donde se estudió el servicio ecosistémico que provee el pastizal natural en la retención de nutrientes proveniente de la escorrentía de un campo bajo agricultura, obteniendo un valor promedio de las parcelas del 50% para el PO₄. A su vez, otros

trabajos en suelos con agricultura obtuvieron resultados que muestran que tanto el agua, los sólidos en suspensión y los nutrientes se exportan fácilmente fuera del sistema (Barreto *et al.*, 2014; Piñeiro & Perdomo, 2019); mientras que las otras coberturas del suelo, como bosque nativo con diferente estado de conservación y campo natural con diferentes intensidades de uso, presentan mayor capacidad de retención. A su vez, el bosque de alta densidad de árboles representaría extremos contrarios, mostrando procesos de retención o que minimizan la exportación (Rodríguez-Gallego *et al.*, 2020b).

Estos resultados coinciden con trabajos reportados a nivel internacional en donde se utilizaron simulador de lluvia artificial (o simulador de escorrentía), o condiciones de lluvia natural y colectores (piezómetros). Los cuales obtuvieron evidencias robustas acerca de la eficiencia de las zonas buffer en la retención de nutrientes, con diferentes tipos de vegetación. Lowrance *et al.* (1984), entre otros, determinaron que la mayor retención en la zona riparia se daba para el N (68%). A su vez, en los trabajos de Peterjohn & Correll (1984) el 89% del N (proveniente de campos con cultivo de maíz) fue retenido por el bosque ripario. Osborne & Kovacic (1993) compararon el efecto de las ZB de pastizal y bosque ripario en la retención de nutrientes en agua subsuperficial y estimaron una mayor retención de NO₃ por parte del bosque ripario, mientras que los pastizales serían mejores para la retención de P. Daniels & Gilliam (1996) describieron una alta variabilidad en la reducción de nutrientes mediante el uso de ZB de pastizal y vegetación riparia, con mayor retención de nutrientes totales que disueltos. Sin embargo, la retención de NO₃ fue del 50 al 90%, también en agua subsuperficial. Por su parte, Abu-Zreig y colaboradores (2003) estudiaron la eficiencia de diferentes pasturas en atrapar P, mediante parcelas con simulación de lluvia, y encontraron mayor eficiencia del pastizal respecto a una mezcla de gramínea y leguminosa, lo que se atribuye a un mayor porcentaje de cobertura del pastizal. White y colaboradores (2007) realizaron un estudio que evaluó el comportamiento de cinco bosques riparios, en los cuales se observó la capacidad de estos en actuar como filtros reteniendo los sedimentos que se transportan en el agua de escorrentía.

Estos trabajos, que se han llevado a cabo para otras condiciones climáticas y de uso, reportan suficiente evidencia científica que asegura la eficiencia de las ZB como medida a implementar para controlar y mitigar los aportes difusos de nutrientes provenientes de suelos agrícolas y ganaderos, lo que refuerza aún más la necesidad de generar más información al respecto para los distintos usos del suelo en Uruguay (Rodríguez-Gallego *et al.*, 2017).

6.4 Manejo de zona buffer

Las observaciones en las salidas a los sitios de estudio coinciden con las entrevistas realizadas a los productores sobre las ZB, de las cuales se desprende que hay percepción de riesgo de incendio y de dispersión acelerada de especies invasoras (herbáceas y arbóreas); se estima

asimismo que la acumulación de necromasa debido al avance de la vegetación sin manejo pueda derivar con el tiempo en una mayor exportación de P y N. Esto fue evaluado por Cabrera (2020), registrando que la exportación de nutrientes por la necromasa en descomposición puede potencialmente superar la exportación de los cultivos

Ante estas problemáticas planteadas, en el marco del Convenio de cooperación entre DINAMA y CURE se discutieron, en un taller con especialistas de diferentes instituciones y disciplinas, alternativas de manejo de la zona buffer, específicamente de la zona de exclusión que se hizo en el embalse de Paso Severino en el predio de OSE, aunque también se manejaron algunas alternativas de manejo que involucran a los predios privados bajo cultivo.

En tal sentido, una de las propuestas surgidas del taller fue establecer cultivos en predios privados y en la ZB, más específicamente cultivos trampa, los cuales tienen la función de reducir y remover nutrientes de los suelos (Young 1980). Específicamente, se comentó en el taller que, de acuerdo con una experiencia previa desarrollada en otro sitio de similares características, estos cultivos podrían ser de la gramínea forrajera nativa *Paspalum notatum*, que tiene la ventaja de extraer fósforo, aunque agregan que “sería adecuado que existieran ciertas condiciones como trabajar sin fertilizantes y sería una buena propuesta para que ejecuten los productores del área”. También se podría considerar plantar alguna otra especie que remueva P del suelo, especialmente en sitios con historia agrícola y con niveles elevados de P en suelo como el arbustal del S2.

Teniendo en cuenta el manejo que ya realiza OSE (el corte de una franja de 4 m inmediata al alambrado del lado de la ZB una vez al año), se podría incorporar un cambio de este manejo y proponer, a modo de ensayo, la plantación y cosecha de ciertas especies en ambos lados del alambrado. A su vez, dentro de la ZB, se podrían hacer fardos en cierta época del año, lo que podría ser una oportunidad, “ya que los lecheros trabajan mucho con suplementación”, indican los especialistas. Sumado a esto, para que la ZB sea eficiente en la extracción de nutrientes del suelo, sería necesario hacer una o dos remociones por año en el pico máximo de crecimiento de la vegetación. Para esta zona, Cabrera (2020) sugiere realizar extracción de biomasa debido a la acumulación de ésta a causa de la exclusión ganadera. La biomasa cosechada debe ser removida de la ZB para evitar que se descomponga, que el P se libere al ambiente y sea transportado por escorrentía al agua del embalse. La época del año sería primavera/verano y previo a las heladas de otoño, dado que es el momento de mayor acumulación de biomasa y nutrientes en las plantas (momento óptimo) o cuando la vegetación tiene mayor riesgo de descomponerse. Igualmente, esto debería ser evaluado específicamente.

Respecto a los fardos generados, habría cuestiones logísticas para resolver: posibles usos o destinos, transporte, etc.

Tanto para la instalación de cultivos, como para la intervención con maquinaria, sería necesario definir bien los objetivos a los cuales se quiere llegar. Se podría comenzar con una experiencia demostrativa en un área pequeña, con diferentes ensayos de manejo y con sitios de monitoreo continuo de variables relevantes.

También, se podría identificar zonas en las cuales el aporte de nutrientes sea mayor y/o cuyo valor ecológico sea destacable (maximizar ciertos estados deseados según esas características), mediante la caracterización de ambientes según los atributos deseados.

Con todo esto, se estaría analizando cómo se comporta la comunidad vegetal para luego poder estimar la cosecha en masa y de esta manera poder hacer planteos sólidos a los productores.

En cuanto a la propuesta del ingreso de ganado a pastorear, los especialistas consideran que deben manejarse varios aspectos relacionados con la categoría ideal, el período, el objetivo al que se apunta y el vínculo con los productores, ya que se trata de un tema de complejidad dada las normativas en el área y la situación de “sentimiento de pérdida” que quedó establecido a partir del alambrado.

A tales efectos, las propuestas a los ganaderos deberían considerar escalas razonables (áreas que no sean muy chicas) que resulten útiles desde el punto de vista de la gestión, y que, a su vez, se ajusten a los productores.

La categoría ideal sería vaca de recría para producción de carne, ya que el ganado lechero necesita alimento de mucha calidad.

Otra alternativa es incluir caballos, debido al tipo de pastoreo que hacen al ser estos más selectivos.

En cuanto al período de pastoreo, esta actividad dependerá del objetivo, ya sea la extracción de P o el manejo de la sucesión ecológica. Se podría pensar un manejo con estrategias distintas según las características del predio.

La mayor crítica al uso del pastoreo como manejo, libre de insumo externo y más fácil de manejar por productores, es el aporte por sus deyecciones. Por lo tanto, el manejo que se realice debe considerar este aspecto. Un estudio llevado a cabo recientemente en Uruguay que cuantificó las pérdidas de P por escorrentía en suelos bajo pastoreo intensivo indicó que, del total de P exportado, el 3% fue aportado por el estiércol vacuno (De Lucca, 2020). Por lo que manejar cargas elevadas de ganado en períodos cortos de tiempo, donde el riesgo de transporte de los nutrientes al agua sea menor, podría minimizar este impacto (tal vez durante los meses cálidos con menor riesgo de escorrentía).

Asimismo, contar con lugares estratégicos alejados del embalse, donde proveer de sombra y agua (bebederos) al ganado, minimizaría el tiempo que estos animales permanecen en zonas cercanas al agua y promovería que las deyecciones se acumulen preferentemente en zonas

alejadas del agua, como en los sitios de sombra y abrigo. Proveer agua a través de bebederos, está demostrado reduce el tiempo del ganado en cuerpos de agua cercanos, en Sheffield et al. 1997 se reportó una reducción del 43 % en cuanto al tiempo destinado a beber agua en aguadas cercanas en presencia de bebederos.

Más allá del manejo que se elija, es importante que ante una situación de sequía extrema se habilite alguna zona para pastoreo mediante un protocolo de emergencia, como el que ya existe para el pastoreo en las banquinas de los caminos y rutas nacionales.

Otro aspecto positivo del pastoreo es que se estaría promoviendo que el ganado pastoree sobre especies exóticas invasoras manteniendo controladas las poblaciones, como en el caso del ligustro, fresnos, pasto bermuda, entre otros. Trabajos nacionales, como el reportado por De Santiago *et al.* (2019), sostienen que, si la presión de pastoreo de bovinos se mantiene durante períodos prolongados de tiempo, esta podría ser una herramienta efectiva en el control del ligustro. Sin embargo, “es posible que también pastoreen especies (nativas) de interés como los árboles nativos plantados en la zona”, lo que “no quisiéramos que ocurra”.

Lo que quedó claramente evidenciado es que debería haber un manejo en la ZB de OSE, para lo cual existen una cantidad de impedimentos jurídicos y logísticos/administrativos.

Muchas medidas podrían ser implementadas por los productores, pero igualmente requieren de una estrecha supervisión y colaboración de OSE y del Ministerio de Ambiente con dichos productores.

La ZB es un área propiedad de OSE que tiene un estatus de protección impuesto por DINAMA, por el Plan de Acción para esta cuenca, en el que se explicita la prohibición de algunas acciones, como el acceso del ganado, por ejemplo.

Por otra parte, OSE tiene un cometido institucional completamente ajeno al manejo de una zona rural, lo que dificulta mucho la gestión desde esta institución. Por ese motivo, cede en parte dicha competencia al Ministerio de Ambiente, el cual no cuenta con recursos humanos (se manifiesta que la presencia en el lugar la ejecuta DINAMA, debido “a la falta de apoyo por parte de OSE” y que existen “problemas por la falta de personal para trabajar en el territorio”).

En cuanto al planteo de manejo desde el punto de vista social, cultural y turístico, la ZB es un sitio estratégico, cuyo manejo permitiría transmitir el mensaje de que, en zonas de alta productividad, se puede hacer conservación y recuperación ambiental. También es necesario generar espacios donde las personas puedan estar en contacto con la naturaleza, espacios que la agricultura reemplazó. Esto sería también una forma de permitir el acceso de la población rural y urbana de la zona a sitios de esparcimiento de buena calidad ambiental y paisajística con biodiversidad, lo cual requiere de planificación y control.

Durante los estudios de campo realizados (2019), existía una apropiación de la ZB del embalse por parte de las escuelas y de centros locales que comenzó con las plantaciones de árboles nativos en la zona. Luego de que estas actividades cesaron, por lo cual se comenta que es necesario considerar que estos “son procesos en los cuales la continuidad es de suma importancia y cuando se interrumpe, retroceden los procesos y cuesta más”.

Sin embargo, pese a lo incipiente de algunas acciones, quedó en evidencia que se puede considerar realizar ciertas actividades, así como el desarrollo de ecoturismo en la zona.

En cuanto a la protección de la ZB, desde la mirada de especialistas, se considera como una posibilidad darle estatus de protección y exigir ciertas medidas de gestión, “lo cual deriva en explorar la idea de considerar esta zona como área protegida de alguna manera”; ya que hay ciertos procesos que son similares a los de un área protegida y actualmente están comenzando los sistemas de áreas protegidas departamentales, como es el caso de Canelones.

En suma, como alternativas de manejo, se sugirió establecer ciertos cultivos con estrictos protocolos de buenas prácticas; permitir el ingreso de ganado a pastorear en la ZB durante períodos breves y bajo ciertas particularidades; y gestionar la ZB como espacio turístico y cultural compatible con la producción existente en el área (figura 14).

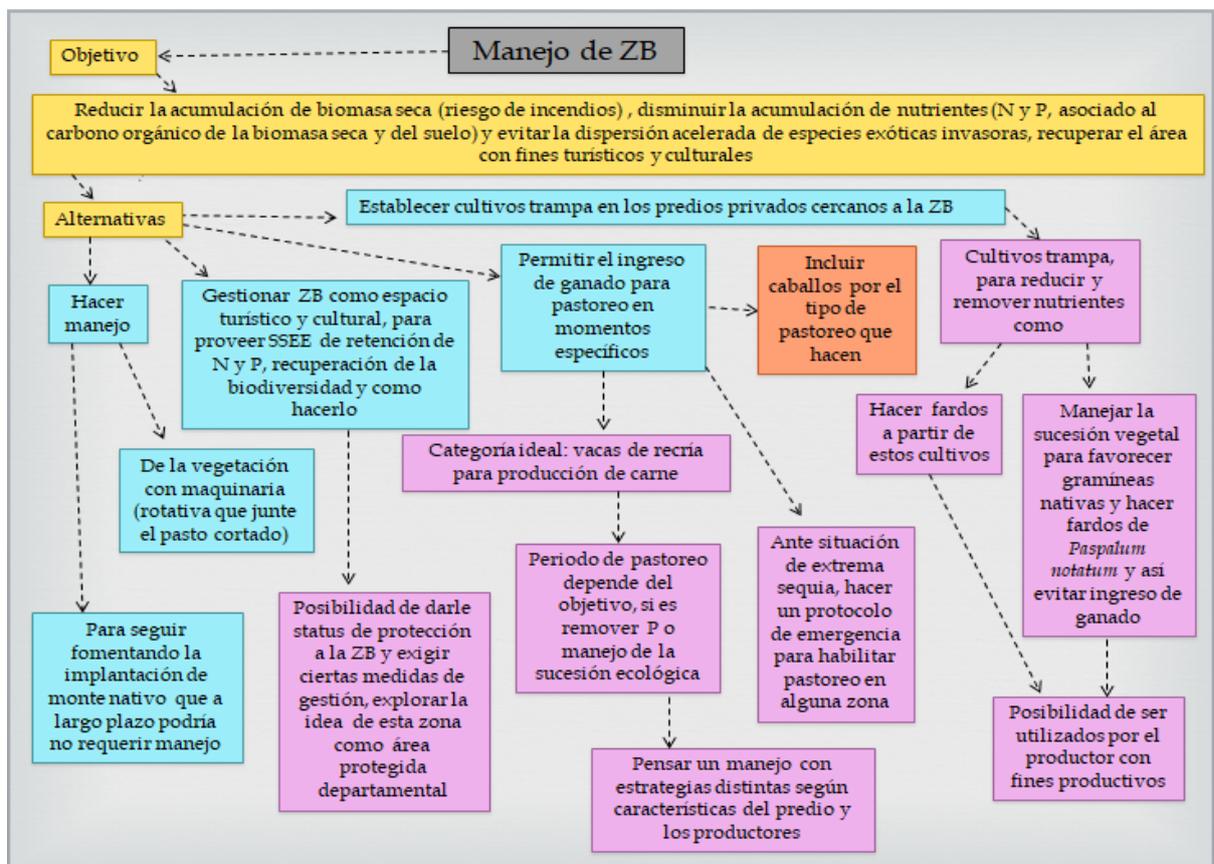


Figura 11. Manejo de zona buffer. En amarillo el objetivo de manejo de la ZB, en celeste y rosa alternativas de manejo y derivaciones de estas en violeta. (Elaboración propia a partir del taller con especialistas)

7. CONSIDERACIONES FINALES

A partir de la intensificación productiva, los aportes difusos de P desde predios agrícolas-ganaderos amenazan la calidad del agua en todos los cuerpos de agua que drenan al embalse de Paso Severino y en el propio embalse (JICA/DINAMA, 2011; Manta *et al.*, 2013; Aubriot *et al.*, 2017).

Según estudios realizados en Uruguay, el uso de ZB como medida de control del aporte difuso de P, es alentador en todas las coberturas vegetales analizadas hasta el momento: campo natural, campo restablecido, bosque nativo y arbustales (Lescano *et al.*, 2017; Rodríguez-Gallego *et al.*, 2020a; Rodríguez-Gallego *et al.*, 2020b). Si bien estos estudios son incipientes, los resultados obtenidos hasta el momento están alineados con una profusa experiencia a nivel internacional (Peterjohn & Correll, 1984; Osborne & Kovacic, 1993; Daniels & Gilliam, 1996; Schmitt *et al.*, 1999; Lee *et al.*, 2000; Abu-Zreig *et al.*, 2003; White *et al.*, 2007; Otto *et al.*, 2012; Al-wadaey *et al.*, 2012; Aguiar *et al.*, 2015).

Las medidas tomadas en el Embalse de Paso Severino a través de la delimitación de una ZB con exclusión ganadera y agrícola, y el control de los usos del suelo son medidas adecuadas para atenuar los aportes difusos de P. A partir de los datos obtenidos en los análisis fisicoquímicos de suelo para diferentes coberturas en ZB del embalse, se observa que particularmente la ZB Bosque genera buenas condiciones físicas y que con relación a las demás coberturas analizadas podría tener un mejor desempeño en la retención de nutrientes, ya que estos factores medidos son los que promueven o limitan el movimiento de agua en superficie. Al mismo tiempo, dada la complejidad del tema y la dificultad inherente al problema de reducción de los aportes difusos de nutrientes, será necesario implementar medidas adicionales, dentro y fuera de los predios agropecuarios. Lo cual requiere de mejoras en el manejo, implementación, control y seguimiento de estas.

La implementación de medidas para reducir el aporte difuso de nutrientes es aún escasa en el país; por lo tanto, es necesario generar y estimular la investigación mediante ensayos de diferentes medidas de manejo; promover actividades de coordinación de prácticas de manejo predial entre los usuarios de los predios y las instituciones de investigación y gestión; a la vez que aumentar la presencia del Estado en la promoción de buenas prácticas productivas y en el desarrollo de prácticas alternativas de producción, así como de manejo de ZB.

Pese a que las ZB pueden ser eficientes en la retención del aporte de nutrientes a los cursos de agua, las pérdidas de P que derivan de grandes tormentas (eventos de muy alta escorrentía superficial) serán difícilmente evitables, a la vez que la eficiencia de estas zonas dependerá siempre de las cargas exportadas por las cuencas. Por lo tanto, nos vemos obligados a

enfocarnos además en las medidas de prevención de la exportación, las que deben estar integradas a las prácticas de manejo en los sistemas productivos.

Para ello, el control de la aplicación de fertilizantes (la planificación del manejo de los mismos), la regulación de los niveles de P y de la estratificación de P en suelo, las prácticas de laboreo conservacionista, el manejo de residuos de los cultivos, los cultivos de cobertura son medidas que contribuyen en este sentido a reducir el impacto de la lluvia sobre la superficie del suelo, a reducir el volumen y la velocidad de escurrimiento y a aumentar la resistencia del suelo a la erosión (Sharpley, 2015). Por estos motivos es necesaria la integración al manejo productivo del predio de medidas de prevención de la exportación de P adaptadas a cada predio en particular que, a su vez, deben mantener los niveles de productividad necesarios de los mismos. En la tabla 8, se esquematizan particularmente los problemas que afectan a la subcuenca de interés para este trabajo y al propio embalse de Paso Severino, las fuentes de aportes difusos de P, las posibles medidas de control y reducción de P en cultivos, la zona buffer, la función que cumple, los problemas que enfrenta y las posibles medidas de manejo.

Tabla 8. Síntesis de la problemática instalada en el embalse de Paso Severino respecto a los aportes difusos de P.

APORTES DIFUSOS DE FOSFORO

Los aportes difusos de fósforo desde predios agrícolas-ganaderos amenazan la calidad del agua en todos los cuerpos de agua que drenan al embalse de Paso Severino y en el propio embalse

Para reducir los aportes de nutrientes una de las estrategias mas frecuentes es la conservación y/o recuperación de la vegetación ribereña, estas zonas funcionan como zonas de amortiguación o zonas buffer.

Las funciones que desempeñan son remoción de sedimentos y nutrientes del agua de escorrentía, reducción de velocidad de flujo, promoción de infiltración en suelo, protección de línea de costa, mitigación de inundación y de erosión, hábitat para biodiversidad, sitio de recreación x valor sociocultural y ecológico.

Entorno al embalse Paso Severino, se delimitó una zona buffer con exclusión agrícola-ganadera y control del uso del suelo como medida (propuesta por el MVOTMA) para mitigar los problemas de aportes difusos de nutrientes.

Las medidas tomadas en el embalse de PS son medidas adecuadas para atenuar los aportes difusos de fósforo, de acuerdo con los incipientes resultados obtenidos a nivel nacional , que cobra más fuerza cuando se contrasta con la profusa investigación que existe internacionalmente.

En este trabajo los resultados obtenidos en los análisis fisicoquímicos de suelo, para diferentes coberturas en ZB del embalse, demuestran que la Zona buffer Bosque en particular, genera buenas condiciones desde el punto de vista de la calidad del suelo y que la menor performance del campo natural y el arbustal , pudo estar condicionada por la historia agrícola reciente en esos sitios.

Medidas de control y reducción del fósforo en cultivos

Mantener nivel de fósforo lábil cerca del optimo, incorporar fósforo por debajo de los 3-4 cm, establecer cultivos trampa para el secuestro de fósforo, realizar laboreo reducido (toda la gama) y cultivos de cobertura.

Aun asi, las prácticas de manejo, requieren de mas investigación, control del estado y coordinación con productores.

Las medidas tendientes a disminuir los aportes de nutrientes desde predios agrícolas a los cuerpos de agua son necesarias y menos costosas que las medidas que intentan reducir el fósforo cuando ya se encuentra en los cuerpos de agua.

En cuanto a la ZB a traves de lo observado y de las entrevistas a productores del area, se percibe riesgo de incendio, y tienen dificultad en cuanto el acceso al agua para el ganado, se observo dispersión acelerada de especies invasoras (herbáceas y arbóreas) y acumulación de necromasa que puede derivar en aporte de nutrientes.

Frente a estas problemáticas especialistas de diferentes disciplinas proponen como alternativas de manejo de ZB generar diferentes protocolos de manejo de ZB según arreglos con productores y OSE, considerar la cosecha mecánica de la vegetación herbácea y el pastoreo como medidas para evitar acumulación de necromasa y remover nutrientes del sistema y gestionar la ZB como espacio turístico y cultural compatible con la producción existente en el área.

Tambien se evidencia la necesidad del control de microcuencas cercanas al embalse mediante la generación de ZB, para respetar las distancias de los cultivos a los cuerpos de agua.

8. Conclusiones

La Zona *buffer* Bosque en particular para este estudio, genera buenas condiciones desde el punto de vista de la calidad del suelo. Particularmente las propiedades físicas, que para este trabajo

reportan mejores aptitudes con relación a las demás coberturas, son factores que condicionan el movimiento del agua en superficie y por tanto el potencial rol amortiguador. Igualmente, estos resultados deben tomarse con precaución, ya que la menor performance del campo natural y el arbustal como zona buffer pudo estar condicionado por la historia agrícola reciente en esos sitios, por lo que su estado puede estar aún degradado y por tanto no representar el potencial que pueden tener estas coberturas en zonas mejor conservadas.

El uso de ZB como potencial regulador de aportes difusos de nutrientes es una medida adecuada de acuerdo con los incipientes resultados obtenidos a nivel nacional y en este trabajo, que cobra más fuerza cuando se contrasta con la profusa investigación que existe internacionalmente. No obstante, las prácticas de manejo tendientes a controlar y reducir el fósforo en actividades agrícolas son fundamentales, a la vez que menos costosas que las medidas que intentan reducirlo cuando ya se encuentra en los cuerpos de agua. Aun así, las prácticas de manejo exigen más investigación y coordinación entre el Estado y los productores.

A su vez, la ZB de Paso Severino requiere de ciertos manejos e intervención por parte del Estado, debido a la situación en la que se encuentra, la cual ha sido observada por productores, especialistas, investigadores y vecinos de la zona, requiriendo manejo de la vegetación sin pastoreo. Para abordar estos problemas, es necesario involucrar a los productores del área y generar una apertura de estos espacios con la población en general.

8. REFERENCIAS

- Abu-Zreig, M., Rudra, R.P., Whiteley, H.R., Lalonde, M.N. & N.K. Kaushik (2003). *Phosphorus Removal in Vegetated Filter Strips*. Journal of Environmental Quality 32(2): 613-619
- Aguiar, Jr. T. R., Rasera, K., Parron, L. M., Brito, A. G. & Ferreira, M. T. (2015). *Nutrient removal effectiveness by riparian buffer zones in rural temperate watersheds: the impact of no-till crops practices*. Agricultural Water Management, 149, 74-80.
- Altamirano, A., Da Silva, H., Durán, A., Echeverría, A., Panario, D. y Puentes, R. (1976). *Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay: Clasificación de Suelos*. Montevideo: Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca.
- Al-wadaey, A., Wortmann, CS., Franti, TG., Shapiro, CA. y Eisenhauer, DE. (2012). *Effectiveness of grass filters in reducing phosphorus and sediment runoff*. Water Air Soil Pollut, 223, pp.5865-5875.
- Arocena, R., Chalar, G., Fabián, D., De León, L., Brugnoli, E., Silva, M., Rodo, E., Machado, I., Pacheco JP., Castiglione, R., Gabito, L. (2008). *Estado trófico de embalses P. Severino y Canelón Grande*. En: Informe final del convenio DINAMA-FAC. Ciencias (Secc. Limnología) evaluación ecológica de cursos de agua y biomonitorio. [En línea]. Disponible en: <http://limno.fcien.edu.uy/>.
- Arocena, R., Chalar, G., Perdomo, C., Fabián, D., Pacheco, J.P., González, M., Olivero, V., Silva, M., García, P., Etchebarne, P. (2012). *Impacto de la producción lechera en la calidad de los cuerpos de agua*. AUGMDOMUS. Volumen 5, Número Especial I: Aguas. ISSN: 1852-2181
- Aubriot, L., Delbene, L., Haakonsson, S., Somma, A., Hirsch, F. & Bonilla, S. (2017). *Evolución de la eutrofización en el Río Santa Lucía: influencia de la intensificación productiva y perspectivas*. INNOTEC, 2017, 14, pp. 7-16.
- Baker, D.B., Johnson, L.T., Confesor, R.B. y Crumrine, J.P. (2017). Vertical stratification of soil phosphorus as a concern for dissolved phosphorus runoff in the Lake Erie Basin. En: *Journal of Environmental Quality*, 46, pp.1287-1295. <https://doi.org/10.2134/jeq2016.09.0337>
- Barreto, P., Ernst, O., Bidegain Pérez, M. y Perdomo, C., (2014). *Cuantificación de las pérdidas de fósforo por escorrentía en diferentes rotaciones de suelos de Uruguay*. En: I Congreso Uruguayo de Suelos y VI Encuentro de la SUCS. Colonia del Sacramento, Uruguay (6-8 de agosto de 2014). Montevideo: SUCS. ISBN 978-9974-99-587-1.
- Barreto, P., Dogliotti, S. y Perdomo, C. (2017). Calidad del agua superficial de áreas de cultivo intensivo dentro de la cuenca del río Santa Lucía de Uruguay. *Investigación de aire, suelo y agua*, 10, 1178622117715446.
- Bewsell, D., Monaghan, R. M. & Kaine, G. (2007). *Adoption of stream fencing among dairy farmers in four New Zealand catchments*. Environmental management, 40(2), 201-9. Doi: 10.1007/s00267-006-0184-z

- Bonilla, S., Haakonsson, S., Somma, A., Gravier, A., Britos, A., Vidal, L., de León, L., Brena, BM., Pirez M., Piccini, C., Martínez de la Escalera, G., Chalar, G., González-Piana, M., Martigani, F. & Aubriot L. (2015). *Cianobacterias y cianotoxinas en ecosistemas límnicos de Uruguay*. INNOTEC, 10, 9-22.
- Bray, R. H. y Kurtz, L. T. (1945). Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. *Soil Science*, 59(1), 39-45.
- Burke, W., Gabriels, D. & Bouma, J. (1986). *Soil structure assessment*. A.A. Balkema Rotterdam/Boston (USA). 92 p.
- Cabrera, L. (2020). Rol amortiguador de la vegetación riparia: Caso del Embalse Paso Severino. Tesina de Maestría en Geociencias PEDECIBA. Centro Universitario Regional del Este. Universidad de la República.
- Carpenter, S., Caraco, N., Correll, D., Howarth, R., Sharpley, A. y Smith, V. (1998). *Nonpoint pollution of surface water with phosphorus and nitrogen*. *Ecological Applications*, 8(3):559-68.
- Carpenter, S.R. (2005). Eutrophication of aquatic ecosystems: bistability and soil phosphorus. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, vol. 102, n. 29, 10002-10005. <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.0503959102>
- Chalar, G., García-Pesenti, P., Silva-Pablo, M., Perdomo, C., Olivero, V. y Arocena, R. (2017). *Weighting the impacts to stream water quality in small basins devoted to forage crops, dairy and beef cow production*. En: *Limnologia - Ecology and Management of Inland Waters*, 65, pp.76-84.
- Daniels, RB. y Gilliam, JW. (1996). *Sediment and chemical load reduction by grass and riparian filters*. En: *Soil Science Society of América*, 60, pp.246-251.
- De Lucca, F. (2020). Pérdidas de fósforo por escorrentía desde el suelo, fertilizante y estiércol: cuantificación y distribución en el tiempo. Tesis MSc. en Ciencias Agrarias. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 61 p.
- De Santiago, M. F., Bresciano, R. D., Castagna, A., Del Pino, L. & Blumetto, O. (2019). *Evaluación del efecto del pastoreo con bovinos como herramienta de control de ligustro (Ligustrum lucidum) en bosque parque*. *Ecosistemas*, 28(2), 109-115. <https://doi.org/10.7818/ECOS.1673>
- Díaz, I. (2013) *Modelación de los aportes de nitrógeno y fósforo en cuencas hidrográficas del departamento de Canelones (Uruguay)* (No. 504.453 (899.53) DIA).
- DINAMA- Dirección Nacional de Medio Ambiente (2017). Proyecto de restauración de ecosistemas naturales y sus servicios ecosistémicos con participación ciudadana, zona suroeste del Embalse de Paso Severino. Florida- Uruguay. Dirección Nacional de Medio Ambiente
- GARCIA, F. 1980. Relaciones agua-planta. Uruguay. Ministerio de Agricultura y Pesca. Dirección de Uso y Manejo de Agua. Boletín no. 5. p. 21.
- Giuffrè, L. & Esquerdo, M. (1999) *Fósforo disuelto y su relación con sistemas de labranza*. *Revista de la Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires*, 19(1), 101-104.

- Goyenola, G., Meerhoff, M., Teixeira de Mello, F., González-Bergonzoni, I., Graeber, D., Fosalba, C., Vidal N., Mazzeo, N., Oversen, NB., Jeppesen, E. & Kronvang, B. (2015). *Phosphorus dynamics in lowland streams as a response to climatic, hydrological and agricultural land use gradients*. *Hydrology Earth System Science Discuss.*, 12, 3349-3390.
- 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 jul-dic), e558. <https://doi.org/10.26461/22.02>
- Herrera Suárez, M., Iglesias Coronel, C. E. & González Cueto, O. (2009). Análisis de los factores que provocan compactación del suelo agrícola. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 18(2),57-63. ISSN: 1010-2760. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93215937011>
- Horta, C. (2015). *Sustentabilidade da fertilização fosfatada: origens e formas do fósforo*. *Revista de Ciências Agrárias*, 38(4), 473-483.
- JICA/DINAMA-Agencia Japonesa de Cooperación Internacional/Dirección Nacional de Medio Ambiente. (2011). *Proyecto sobre control de contaminación y gestión de la calidad de agua en la Cuenca del Río Santa Lucía* (Informe principal)
- Joose, P. J. and Baker, D. B. (2011). *Context for re-evaluating agricultural source phosphorus loadings to the Great Lakes*. *Can. J. Soil Sci.* 91, 317–327. Doi: 10.4141/cjss10005
- Kleinman, P.J.A., Sharpley, A.N., McDowell, R.W., Flaten, D.N., Buda, A.R., Tao, L., Bergstrom, L. and Zhu, Q. (2011). *Managing agricultural phosphorus for water quality protection: principles for progress*. *Plant and Soil*, vol. 349, n.1, p.169–182. <http://dx.doi.org/10.1007/s11104-011-0832-9>
- Lee, K., Isenhardt, T. M., Schultz, R. C. & Mickelson, S. K. (2000). *Multispecies riparian buffers trap sediment and nutrients during rainfall simulations*. *Journal of Environmental Quality*, 29(4), 1200-1205.
- Lescano, C., Ruibal, M., Barreto, P., Piñeiro, V., Lozoya, J.P., Perdomo, C., Rodríguez-Gallego, L. (2017). *Rol de los pastizales naturales en la retención de nutrientes provenientes de la agricultura*. *INNOTEC*, 13, 78-91.
- Lowrance, R., Todd, R., Fail Jr, J., Hendrickson Jr, O., Leonard, R. & Asmussen, L. (1984). Riparian forests as nutrient filters in agricultural watersheds. *BioScience*, 34(6), 374-377.
- Manta, E., Cancela, H., Cristina, J. & García-Préchac, F. (2013). *Informe sobre la calidad del agua en la cuenca del Río Santa Lucía: estado de situación y recomendaciones*.
- Mazzilli, S., Echeverria, J., Kemanian, A., Ernst, O., Ogues, L., Burgarin, G. (2015). *Hacia un sistema de evaluación de la sustentabilidad ambiental de predios agrícola-ganaderos en base a indicadores*. En IV Simposio Nacional de Agricultura, pp 107-120.
- McDowell, R.W., Cox, N., Daughney, C.J., Wheeler, D. and Moreau, M. (2015). *A national assessment of the potential linkage between soil, and surface and groundwater concentrations of phosphorus*. *Journal of the American Water Resources Association*, vol. 51, n. 4, p. 992–1002. <http://dx.doi.org/10.1111/1752-1688.12337>

- Menéndez, A. & Tarela, P. (2010). *Transporte de contaminantes en el medio acuático. Universidad Tecnológica Nacional. Maestría en Ingeniería Ambiental.*
- Möller, P. (2011). *Las franjas de vegetación ribereña y su función de amortiguamiento, una consideración importante para la conservación de humedales. Gestión Ambiental, 21, 96-106.*
- MVOTMA - Ministerio de Vivienda Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente (2013). Plan de acción para la protección del agua en la cuenca del Santa Lucía. Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente.
- MVOTMA - Ministerio de Vivienda Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente (2018). Plan de Acción de la protección de la calidad ambiental de la Cuenca del Río Santa Lucía, Medidas de 2da Generación. Recuperado de: <https://www.mvotma.gub.uy/novedades/noticias/item/10012261-medidas-de-segunda-generacion-para-cuenca-del-santa-lucia>
- Osborne, L.L. & Kovacic, D.A. (1993). *Riparian vegetated buffer strips in water-quality restoration and stream management. Freshwater Biology 29:243-258*
- Otto, S., Cardinali, A., Marotta, E., Paradisi, C. & Zanin, G. (2012) *Effect of vegetative filter strips on herbicide runoff under various types of rainfall. Chemosphere, 88(1), 113-119.*
- Piñeiro, V. & Perdomo, C. (2019). *Phosphorus runoff losses from two land uses in the Santa Lucia River Basin, Uruguay.* En: 21 WCSS: Proceedings of the 21st World Congress of Soil Science; 2018, August 12-17; Rio de Janeiro, Brazil [e-book]. Viçosa, MG: SBCS. p.125.
- Perdomo, C.H., Barreto, P. & Piñeiro, V. (2015). *Pérdida de fósforo desde suelos agrícolas hacia aguas superficiales: resultados preliminares para Uruguay y posibles medidas de manejo para mitigar riesgos.* En IV Simposio Nacional de Agricultura, 77-94
- Peterjohn, W.T. and Correll, D.L. (1984). *Nutrient Dynamics in an Agricultural Watershed: Observations on the Role of a Riparian Forest. Ecology. Vol. 65:5. p.1466-1475. pp. 29.*
- INIA - Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias [Http://www.inia.uy/investigacion-e-innovacion/Sistemas-de-Producción/Sistema-Lechero](http://www.inia.uy/investigacion-e-innovacion/Sistemas-de-Producción/Sistema-Lechero).
- Rockström, J. W., Steffen, K., Noone, Å., Persson, F. S., Chapin, III E., Lambin, T. M., Lenton, M., Scheffer, C., Folke, H., Schellnhuber, B., Nykvist, C. A., De Wit, T., Hughes, S., van der Leeuw, H., Rodhe, S., Sörlin, P. K., Snyder, R., Costanza, U., Svedin, M., Falkenmark, L., Karlberg, R. W., Corell, V. J., Fabry, J., Hansen, B., Walker, D., Liverman, K., Richardson, P. Crutzen and Foley, J. (2009). *Planetary boundaries: exploring the safe operating space for humanity. Ecology and Society 14(2): 32.* [online] URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol14/iss2/art32/>
- Schindler, D. (1977) *Evolution of phosphorus limitation in lakes.* En: Science, 195, pp.260-262.

- Rodríguez-Gallego, L., De León, G., Cardoso, A., Pérez, W., Castagna, A., Guillén, J., Lescano, C., Costa, S., Pasquariello, S., Rodríguez, C., Goyenola, G., Meerhoff, M., Chalar, G., Arocena, R., Texeira de Mello, F. Tesitore, G. **b** (2020). "*Beneficios múltiples del Bosque Nativo*" del Acuerdo de colaboración INIA - Ejecutor (CURE - UdelaR), en el marco del servicio de consultoría INIA – Proyecto REDD + .86 pp.
- Rodríguez-Gallego, L., Calvo, C. G., De León, A., Castagna, L., Cabrera-Lamanna, S., Costa, L., González & Meerhoff, M. **a** (2020). *Evaluación de la dinámica del fósforo en zonas buffer en el Embalse de Paso Severino y propuestas de alternativas de manejo para la reducción de los aportes difusos de este nutriente*. Convenio MVOTMA/DINAMA - UdelaR. CURE, UdelaR. 66 pp
- Rowe, H., Withers, P.J.A., Baas, P., Chan, N.I., Doody, D., Holiman, J., Jacobs, B., Haigang, L., MacDonald, G.K., McDowell, R., Sharpley, A.N., Shen, J., Taheri, W., Wallenstein, M. and Weintraub, M. (2015). Integrating legacy soil phosphorus into sustainable nutrient management strategies for future food, bioenergy and water security. Nutrient Cycling in Agroecosystems, in press. <http://dx.doi.org/10.1007/s10705-015-9726-1>
- Schindler, D. (1977) *Evolution of phosphorus limitation in lakes*. En: Science, 195, pp.260-262
- Sharpley, A. (2010). *Manejo de fósforo en sistemas de producción agrícola ambientalmente sostenibles: desafíos y oportunidades*.
- Sharpley, A., Daniel, T., Sims, T., Lemunyon, J. L., Stevens, R. and Parry, R. (2003). *Agricultural Phosphorus and Eutrophication*. Washington, DC: United States Department of Agriculture.
- Sharpley, AN. (2015). *Agricultural phosphorus and water quality: challenges to science, practice, and policy*. En: Facultad de Agronomía. IV Simposio Nacional de Agricultura. Paysandú, Uruguay (28-29 de octubre de 2015) pp.49-75.
- Sheffield, R. E., S. Mostaghimi, D. Vaughan, E. Collins Jr and V. Allen (1997). "Off-stream water sources for grazing cattle as a stream bank stabilization and water quality BMP." *Transactions of the ASABE* **40**(3): 595-604.
- Somma, A., Nogueira, L., González-Madina, L., Langone, J. (2021). Dinámica larval del mejillón dorado *Limnoperna fortunei* en el embalse de Aguas Corrientes, río Santa Lucía, Uruguay. *INNOTECH*. 21. 132 - 152. 10.12461/21.06.
- URSEA - Unidad Reguladora de Servicios de Energía y Agua (2017). *Informe de situación de las medidas que se están implementando para el aseguramiento de la potabilización del agua del Sistema de abastecimiento de Montevideo y Laguna del Sauce*. Montevideo, Uruguay. 85p.
- White, W. J., Morris, L. A., Pinho, A. P., Jackson, C. R. & West, L. T. (2007). *Sediment retention by forested filter strips in the piedmont of Georgia*. *Journal of Soil and Water Conservation*, 62(6), 453-463.
- Yinglan A., Wang G., Sun W., Xue B., & Kiem A. 2018. Stratification response of soil water content during rainfall events under different rainfall patterns. *Hydrological processes*, 32(20), 3128-3139
- Young, R. A., Huntrods, T. & Waine, A. (1980). *Effectiveness of vegetated buffer strips in controlling pollution from feedlot runoff*. *Journal of Environmental Quality* 9: 483-487

