



**INSTRUMENTOS FISCALES PARA EL
CONTROL Y LA REDUCCIÓN DE LA
CONTAMINACIÓN EN CURSOS DE AGUA**
Estudio aplicado a la Cuenca del Río Santa Lucía

Informe Final

Febrero 2015

Alicia Failde
Bibiana Lanzilotta
Carlos Perdomo
Mario Pérez Bidegain
Francisco Rosas

Agradecimientos

Este trabajo fue realizado en el marco del Proyecto de Desarrollo Institucional del Centro de Estudios Fiscales, con financiamiento de la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo, mediante un Convenio entre dicho Centro y la Red Mercosur.

Agradecemos los valiosos comentarios de Rosa Grosskoff y Alberto Sayagués (CEF-MEF), Lizet de León y Pablo Reali (DINAMA-MVOTMA), Mariana Hill (RENARE-MGAP), Ma. Eugenia Silva y Ma. Noel Ackermann (OPYPA-MGAP) a este informe. También queremos agradecer la información brindada por los técnicos de DIEA y de RENARE (MGAP).

Contenido

Resumen Ejecutivo	7
I. Introducción	10
II. Caracterización de la Cuenca del Río Santa Lucía	13
III. Medidas propuestas por MVOTMA.....	38
IV. Instrumentos fiscales para incentivar el cumplimiento de la Medida 3	44
Estimaciones de pérdidas por erosión y exportaciones de P.....	44
Hacia el diseño de instrumentos fiscales para la reducción de exportaciones de P.....	51
Cálculo del costo fiscal de las medidas propuestas y las reducciones de exportación de P...	63
V. Pago por servicios ambientales para instrumentación de Medida 8.....	66
Algunos conceptos preliminares	67
Metodología y datos	67
Estimación de la cantidad de hectáreas afectadas por la zona buffer.....	68
El precio de los arrendamientos	70
Cálculo del PSA.....	71
Medio de pago	73
VI. Síntesis y recomendaciones de política.....	74
Referencias.....	77
Anexo	83
1. Áreas de Enumeración Censales para la Cuenca del Santa Lucía.....	83
2. Estimaciones preliminares de funciones de respuesta de rendimientos por hectárea a nivel de P	84
3. Exportaciones de P en función del nivel de P Bray 1 en el suelo	87
4. Mapas complementarios de la Cuenca de Santa Lucía	92

Índice de Cuadros

Cuadro II.1 Tamaño de las Explotaciones	15
Cuadro II.2 Régimen de Tenencia de la Tierra	15
Cuadro II.3 Mano de Obra según Principal Fuente de Ingreso	17
Cuadro II.4 Trabajadores Permanentes Remunerados y No Remunerados	18
Cuadro II.5 Explotaciones Comerciales según Principal Fuente de Ingreso	19
Cuadro II.6 Stock Animal.....	20
Cuadro II.7 Aprovechamiento de la Tierra.....	21
Cuadro II.8 Coeficientes de Exportación de P	22
Cuadro II.9 Cultivos Cerealeros e Industriales	23
Cuadro II.10 Cultivos Forrajeros Anuales	23
Cuadro II.11 Explotaciones Lecheras según Tamaño del Predio	34
Cuadro II.12 Explotaciones Lecheras según Volumen de Producción	35
Cuadro II.13 Indicadores de Actividad Lechera según Tamaño de las Explotaciones	36
Cuadro IV.1 Rotación de cultivos-pasturas y valores de Factor C empleados en rotaciones de sistemas lecheros	46
Cuadro IV.2 Erosión estimada para las distintas rotaciones en diferentes suelos.....	47
Cuadro IV.3 Fósforo exportado para las distintas rotaciones de sistemas lecheros.....	50

Cuadro IV.4 Costo fiscal de compensaciones y reducción de exportaciones de P de explotaciones lecheras, por nivel de P Bray1 en el suelo y para escenarios de distribución espacial de P en el suelo .65

Cuadro V.1 Superficie del área de amortiguación por departamento. En hectáreas (ha) y porcentaje del total del área buffer (extendida, restringida y restringida sin áreas inundables) 70

Cuadro V.2 Arrendamientos para uso agropecuario en los departamentos afectados por la zona buffer según destino de la tierra. Promedio de los años 2009 a 2013 71

Cuadro V.3 Cálculo del Pago anual por Servicio Ambiental en la zona buffer (extendida) 72

Índice de Figuras

Figura II.1 Cuenca del Río Santa Lucía según Áreas de Enumeración Censales.....	14
Figura II.2 Número de Explotaciones según grandes tramos de tamaño	16
Figura II.3 Superficie según grandes tramos de tamaño	16
Figura II.4 Número de Explotaciones según grupos de actividades.....	19
Figura II.5 Superficie según grupos de actividades	20
Figura II.6 Praderas Artificiales por AE, según rango de hectárea.....	24
Figura II.7 Cultivos Forrajeros Anuales por AE, según rango de hectáreas.....	25
Figura II.8 Cultivos Cerealeros e Industriales por AE, según rango de hectáreas	26
Figura II.9 Tierra de Rastrojo por AE, según rango de hectáreas.....	27
Figura II.10 Tierra preparada con herbicida o laboreos por AE, según rango de hectáreas	28
Figura II.11 Campo Natural Fertilizado por AE, según rango de hectáreas.....	29
Figura II.12 Campo Natural Sembrado en Cobertura por AE, según rango de hectáreas.....	30
Figura III.1. Zonas de aplicación del Plan de Acción sobre la cuenca del Río Santa Lucía	39
Figura III.2. Zona de aplicación del Plan Piloto de Presentación de Planes de Uso de Suelo para Sistemas Lecheros en la Cuenca del Río Santa Lucía.....	42
Figura IV.1 Fósforo exportado (en sedimentos y disuelto) considerando campo natural en toda la cuenca	48

Figura IV.2 Fósforo exportado (en sedimentos y disuelto) considerando en los suelos de aptitud agrícola un factor $C=0.101$ 48

Figura IV.3 Fósforo exportado (en sedimentos y disuelto) considerando en los suelos de aptitud agrícola un factor $C=0.161$ 49

Figura IV.4 Fósforo exportado (en sedimentos y disuelto) considerando en los suelos de aptitud agrícola un factor $C=0.064$ 49

Figura V.1 Ubicación de la Cuenca de Santa Lucía, zonas A y B e hidrografía. Vista general de la zona buffer.....69

Figura V.2 Vista en detalle del área definida, en un punto de la cuenca.....69

Resumen Ejecutivo

En Uruguay, a pesar de que los problemas ambientales son cada vez más objeto de debate público, el estudio de los instrumentos para afrontarlos es aún escaso. Un problema de creciente relevancia en Uruguay refiere a la contaminación de los cursos de agua. La existencia de elevados niveles de nutrientes en aguas de la Cuenca del Santa Lucía ha sido ampliamente documentada, y estos problemas no son recientes. Se encuentran datos que apuntan en este sentido desde 1988. Estudios más recientes han venido contribuyendo a afianzar la idea de que hay problemas en este ámbito.

En ese marco el MVOTMA ha propuesto un “Plan de acción para la protección de la calidad ambiental y las fuentes disponibles para agua potable en la cuenca del Santa Lucía” (MVOTMA, 2013) que comprende 11 medidas centrales y otras complementarias.

El presente estudio, tomando como punto de partida las medidas 3 y 8 del mencionado plan de acción, tiene como objetivo analizar la aplicación de algunos instrumentos fiscales para contribuir a la implementación y cumplimiento de esas medidas y evaluar su efectividad en términos de reducción de la contaminación. Se analiza en particular la aplicación de dos instrumentos: un impuesto (o subsidio) ambiental para incentivar el mantenimiento del contenido de fósforo dentro de los límites admitidos por la DINAMA y un pago por servicio ambiental para compensar los costos de mantener tierra sin laboreo.

El trabajo se ocupa de la protección del recurso hídrico y no de los efectos en otras dimensiones del ambiente (aire, biodiversidad, suelo propiamente dicho) y se concentra en la exportación de fósforo a las fuentes fluviales, dejando para futuras extensiones la consideración de otros contaminantes. La cuantificación de las cantidades físicas de contaminantes vertidos al agua se hace en términos absolutos sin entrar en otros aspectos, como la densidad de contaminación.

Las actividades pecuarias son las predominantes en la cuenca, con el 84% de la superficie y el 68% de las explotaciones. Estas actividades (especialmente lechería) determinan ciertos usos del suelo que se relacionan directamente con la exportación de P hacia las aguas. Los datos del uso del suelo en la zona muestran que un 46% de la superficie total de la cuenca está sujeta a algún tipo de intervención. Desde el punto de vista de la exportación de nutrientes hacia las aguas sin embargo, las actividades no son equivalentes. Los coeficientes más altos de exportación de P se observan en los cultivos cerealeros e industriales, las praderas artificiales y cultivos forrajeros, que se ubican predominantemente en las subcuencas que la DINAMA define como Zona A y donde están la mayoría de tambos y *feed-lots*.

En el año 2011 la producción de leche en la cuenca fue del orden del 40% de la producción total del país, confirmando la importancia de la lechería en la zona, que se caracteriza por tener más de la mitad de los predios con menos de 100 hectáreas pero los mismos concentran menos del 12 % de la superficie dedicada a lechería en la zona.

En lo que refiere a la Medida 3, que menciona “alcanzar y mantener” una concentración de fósforo Bray1 debajo de 31 ppm, en este estudio se busca un enfoque diferente utilizando un umbral equivalente expresado en términos de exportaciones de P desde el padrón. Se propone un ejercicio basado en simulaciones y calibrado para las rotaciones de cultivos en producción de forraje para lechería en los grupos de suelos más típicos de la cuenca del Río Santa Lucía. La idea es que los incentivos tendientes a reducir las exportaciones de P desde el predio son de tipo ganar-ganar (win-win) ya que implican un beneficio ambiental a la vez que los productores no ven afectada su productividad.

En primer lugar, se estima la pérdida de suelos por erosión para cuatro tipos de rotación de cultivos-pastura utilizadas en la lechería de la zona (combinaciones de Silo Grano Húmedo y Silo Planta entera con Pastoreo y Grano) y distintas unidades de la Carta de Reconocimiento de Suelos de Uruguay presentes en la Cuenca. Estos cuatro tipos de rotación permiten establecer las exportaciones de P en función de diversas características de los suelos y de las prácticas de manejo. Un aspecto clave a destacar, es la gran incertidumbre respecto a los valores reales del contenido de P en el suelo para la cuenca del Río Santa Lucía, sin perjuicio de lo cual hay evidencia suficiente de zonas donde los niveles de fósforo son relativamente altos.

Sobre la base de una amplia literatura sobre respuesta de cultivos a fertilización con fósforo, el ejercicio que se encara en este punto parte de la consideración de una función de respuesta de los rendimientos de cultivos al fósforo de tipo *linear-plateau*, esto es, que el rendimiento crece linealmente con el contenido de P en el suelo, pero a partir de un cierto nivel los rendimientos ya no responden. Luego se construye la correspondiente función de respuesta de las exportaciones de fósforo según el contenido de fósforo en el suelo. Se encuentra que el umbral de 31 ppm es consistente con un nivel de exportaciones de prácticamente 5 kg de fósforo por ha por año, para un determinado conjunto de prácticas de manejo, en particular para aplicaciones superficiales de fertilizante.

Una práctica para reducir dichas exportaciones es aplicar el P incorporado al suelo, ya que hacerlo superficialmente deja expuesto al nutriente a ser movido mediante la lluvia, tanto en las partículas de suelo como con el agua. Otra práctica en el mismo sentido, consiste directamente en suspender las aplicaciones de P. En esta segunda opción debe tenerse presente el posible efecto en la calidad de los cultivos, lo cual implicaría, por ejemplo, recurrir a prácticas de suplementación. Se hace un ejercicio de cálculo de costos para el productor del cual surge que fertilizar incorporado, considerando la tecnología disponible y los datos de la Cámara Uruguaya de Servicios Agropecuarios, tiene un costo de 140 USD/ha/año en total (65 en que ya incurre por el costo del fertilizante y 75 extra por el proceso de incorporación). Por otra parte, considerando el precio del suplemento y la dotación de vaca masa en la cuenca, no fertilizar y suplementar el ganado lechero costaría entre 8,30 y 9,90 USD/ha/día, dependiendo de si se proporcionan 5 o 6 grs P/animal/día respectivamente. Puesto en la situación, el productor elegirá aquella opción que le resulte más costo-efectiva.

En este contexto, se pueden diferenciar tres situaciones: i) los padrones que están por debajo del umbral de 31 ppm; ii) los padrones que si bien tienen más de 31 ppm, al no fertilizar o hacerlo incorporado quedan por debajo del umbral de 5 kg P/ha/año de exportaciones; iii) los

que están por encima de ambos umbrales. Para cada una de las tres situaciones, existen prácticas de manejo de tipo conservacionista que son factibles de ser aplicadas por parte de los productores para reducir las exportaciones de P, así como también políticas fiscales tendientes a generar los incentivos correctos para que ellas se lleven adelante, por ejemplo pago de compensaciones.

Se calculó el costo fiscal directo que implica el pago de estas compensaciones a productores lecheros de esta cuenca, así como también la reducción de las exportaciones de P que se logran a raíz de los incentivos. Se trabajó con tres escenarios distintos donde cada una de las situaciones mencionadas (productores con menos de 31ppm, entre 31 y 61 o más de 61 ppm) tiene un peso diferente (diferente proporción del área en cada situación) definiendo así la necesidad de mayores o menores compensaciones. Las estimaciones arrojan que los costos fiscales directos de los pagos por compensaciones son de aproximadamente 3,4 millones de dólares para el escenario que posee una alta proporción de área que no recibe compensación, llegando a los 7,7 millones de dólares cuando hay un 50% del área con la mayor compensación por hectárea. Con respecto a la reducción de las exportaciones de P para el total del área de la cuenca afectada a rotaciones de cultivos y pasturas para lechería, los resultados varían entre 155 y 165 toneladas de P por año, sin demasiada variación entre los escenarios. La importancia de esta reducción puede evaluarse únicamente en relación al umbral de 5 Kg/ha/año dado que no se conoce la composición exacta de los suelos de la cuenca. En estos términos podemos decir que se estaría contribuyendo a bajar la exportación por hectárea al menos un 16%.

Para la Medida 8 se analiza la posibilidad de implementar programas de pago por servicios ambientales para los predios que abandonen la producción agropecuaria; es decir, el mantenimiento -en la zona buffer definida por DINAMA- de tierra sin laboreo ni uso de agroquímicos. Para evaluar el monto de una posible compensación a los productores, por el costo de oportunidad de mantener los predios comprendidos en esa zona sin actividad de laboreo se consideró a) una zona buffer de unas 26 mil hectáreas y b) otra de 5.400, si se restringe el área a los cursos de agua principales. Si además se deducen las áreas inundables y los cauces o alvéolos, el área se reduce a alrededor de 3.700 hectáreas.

La determinación de la renta resignada, sobre la base de los datos del precio por hectárea de los arrendamientos de tierras en la zona, arroja un costo fiscal anual de aproximadamente 2,8 millones de dólares para la opción de máxima (26 mil hectáreas). Si se permitiera la realización de actividades ganaderas, el costo se reduce a menos de la mitad (1,3 millones). Considerando el área restringida a ciertos cursos de agua, el pago se reduce a algo menos de 600 mil dólares anuales y a 400 mil si se deduce del cálculo de superficie a las zonas inundables.

I. Introducción

En Uruguay, a pesar de que los problemas ambientales son cada vez más objeto de debate público, el estudio de los instrumentos para afrontarlos es aún escaso. Un problema de creciente relevancia en Uruguay refiere a la contaminación de los cursos de agua. No solo por la amenaza que representa sobre los sistemas acuáticos sino también directamente sobre la salud humana. Los índices de contaminación del río Santa Lucía, abastecedor de agua de más de la mitad de la población de nuestro país, son prueba de ello.

La existencia de elevados niveles de nutrientes en aguas de la cuenca ha sido ampliamente documentada, y estos problemas no son recientes. Méndez et al. (1988) realizan un relevamiento de calidad de aguas del Río Santa Lucía en cinco estaciones de muestreo de la cuenca y ya detectaban un contenido de fósforo muy superior a los niveles admitidos según la literatura sobre el tema. Resultados similares fueron encontrados en trabajos más recientes que abarcaron un amplia zona de la cuenca (Arocena et al., 2008b) encontrando que la mayoría de las estaciones, excepto las no lecheras del departamento de Florida y las ubicadas en zonas serranas, superaban el estándar nacional de contenido de fósforo total ($25 \mu\text{g P L}^{-1}$) para todo tipo de aguas¹. Otro estudio en el periodo 2008-2010 (JET-DINAMA, 2010) también encontró niveles de concentración de fósforo mayores a $25 \mu\text{g P L}^{-1}$ en los principales cursos y arroyos de los tramos altos y medios de esta cuenca. Un estudio posterior que abarcó solo la Cuenca de la Presa de Paso Severino, que presenta un fuerte desarrollo lechero, fue realizado por investigadores de la Facultad de Ciencias y la de Agronomía de UdelaR (Arocena et al., 2012) encontrando que los niveles promedio de fósforo fueron realmente altos en las microcuencas lecheras y bastante menores en el caso de agrícola -ganadera y ganadera a campo natural.

El estudio JICA-MVOTMA (2011), que se retoma en el informe de la UdelaR (2013) sobre la contaminación en la Cuenca hidrológica del Río Santa Lucía, presenta evidencia sobre las cargas de contaminación de dos tipos de fuentes: puntuales y difusas. Ellos estiman que, en general, el 80% de los aportes de nutrientes que llegan a cursos de agua se debe a fuentes difusas, ligadas tanto a la producción pecuaria (principalmente lecheras²) como agrícola. El restante 20% se atribuye a fuentes puntuales: efluentes de industrias y aguas servidas de ciudades y poblaciones. En términos de la localización geográfica, el informe JICA- MVOTMA (2011) se refiere a la existencia de diferentes áreas según el uso del suelo que se retoman en el informe de la UdelaR:

¹ Decreto 253/79 y sus modificativos.

² En los hechos la lechería contribuye a las dos fuentes: *difusas* debido a las áreas destinadas a praderas o cultivos para forraje y *puntuales* debido a los efluentes de las salas de ordeño y corrales.

“en la parte norte y oeste del cauce principal (San José, Florida y Lavalleja) predominan las fuentes difusas agropecuarias, excepto en los alrededores de la ciudad de Florida, donde predominan las puntuales. En la parte sur y este del cauce principal (Canelones y Lavalleja) las fuentes difusas son en proporciones semejantes de origen pecuario y agrícola (cultivos hortícolas, cerealeros, frutícolas y forrajeros), excepto en los alrededores de la ciudad de Canelones, por razones semejantes a la de Florida”.

La presencia de fósforo (P) y nitrógeno (N) en las aguas proviene principalmente de las prácticas agrícolas de fertilización de suelos y, puntualmente, de otros contaminantes orgánicos. En el caso del N, el estudio JICA-MVOTMA encuentra evidencia de que el aporte de nitrato al río está asociado con la escorrentía desde áreas dedicadas a la agricultura -fuente difusa-, sin embargo los niveles están por debajo del nivel admitido por la legislación. En el caso del P, la evidencia es diferente. La concentración, que aumenta a lo largo del río, llega a ser preocupante en algunas zonas, aunque la llegada del fósforo al río parece estar asociada mayormente a fuentes puntuales.

Estudios recientes en Uruguay, Barreto, Ernst y Perdomo (2014) y Piñeiro y Perdomo (2014), también muestran incrementos importantes de concentración de P por fertilización de pasturas, aún cuando los niveles de P disponible del suelo estaban por encima de los niveles considerados óptimos. Los excesos de P no se pierden sólo en forma de nutriente sino que también se pueden perder “fijados” a las partículas de suelo mediante la erosión³.

Sin embargo, cuando el nivel de P del suelo se eleva, la mayor pérdida de P puede ser en forma disuelta en el agua. Esta pérdida de P soluble es particularmente importante en suelos bajo producción lechera de la cuenca del Santa Lucia que está bajo praderas artificiales. En estas condiciones la erosión es baja debido a que el suelo está cubierto con vegetación, pero el nivel de P lábil es alto, por lo cual el agua que escurre transporta mucho P disuelto.

Una de las recomendaciones fundamentales para el control de las fuentes difusas que surge del informe preparado por UdelaR (2013) es el control de la erosión del suelo promoviendo rotaciones de cultivos y cultivos/pasturas cuyas erosión estimada por un modelo sea menor a un valor considerado como tolerable. Otra de las recomendaciones es el control de la fertilización fosfatada y nitrogenada, así como el establecimiento de áreas de exclusión aledañas a los cursos de agua. En cuanto a la contaminación derivada de fuentes puntuales sugieren mejorar los vertidos de los efluentes de los tambos a través de la aplicación de tecnologías de tratamiento y su correcta gestión, además de controlar los *feed-lots* y otras fuentes puntuales asociadas a confinamientos de animales.

³El término “pérdida” se usa en un sentido laxo. Stricto sensu, deberíamos hablar de exportación y no de pérdida, ya que salen del suelo y van al agua.

En ese marco el MVOTMA ha propuesto un “Plan de acción para la protección de la calidad ambiental y las fuentes disponibles para agua potable en la cuenca del Santa Lucía” (MVOTMA, 2013) que comprende 11 medidas centrales y otras complementarias. Ese plan (que se describe en detalle en la sección III de este Informe) fue presentado y elaborado con una amplia participación de las instituciones clave en la materia.

El presente estudio, tomando como punto de partida algunas de las medidas comprendidas en el mencionado plan de acción, tiene como objetivo analizar la aplicación de algunos instrumentos fiscales que contribuyan a la implementación y cumplimiento de esas medidas y evaluar su efectividad en términos de reducción de la contaminación. En particular, se trata de evaluar los costos de las medidas, los efectos en términos de cambios en la cantidad de contaminantes que se descargan al ambiente y las modificaciones en las prácticas de manejo que los instrumentos fiscales traerían aparejadas.

Se analiza en particular la aplicación de dos instrumentos: un impuesto (o subsidio) ambiental para incentivar el mantenimiento del contenido de fósforo dentro de los límites admitidos por la DINAMA y un pago por servicio ambiental para compensar los costos de mantener tierra sin laboreo. En el primer caso, el ejercicio que se propone se aplicará a las explotaciones lecheras en consideración de que han sido identificadas como las más problemáticas en términos de contaminación. El foco del trabajo está puesto en la protección del recurso hídrico, sin perjuicio de reconocer que las mismas fuentes de contaminación tienen efectos en otras dimensiones del ambiente (aire, biodiversidad, suelo propiamente dicho).

El trabajo también se restringe en cuanto a la definición de las variables de impacto. Por un lado, se concentra en la exportación de fósforo a las fuentes fluviales, dejando para futuras extensiones de este trabajo la consideración de potenciales contaminantes como fertilizantes nitrogenados y otros agroquímicos (herbicidas, fungicidas, insecticidas). Por otro lado, la cuantificación de las cantidades físicas de contaminantes vertidos al agua se hace en términos absolutos dejando mediciones como la densidad de contaminación para futuras extensiones. Esto último requeriría la participación de profesionales de otras disciplinas como la limnología debido a que el grado de contaminación que una determinada fuente fluvial adquiere en última instancia depende de sus propias características hidrológicas (laguna o río, caudal, profundidad, entre otras).

Este documento contiene los resultados primarios alcanzados y se organiza como sigue. En la sección II se presenta una caracterización geográfica y productiva de la Cuenca del Río Santa Lucía, incluyéndose la determinación de los coeficientes de exportación de fósforo (P) de los principales usos y aptitudes productivas de la Cuenca. La sección III revisa las medidas propuestas por DINAMA, poniéndose énfasis en aquellas que refieren a los límites de P tolerables en la Cuenca y a la definición de área buffer. En la cuarta sección se sistematiza la propuesta referida a instrumentos de apoyo a la Medida 3. La quinta sección se dedica a la presentación de los resultados para el caso de la Medida 8. En la última sección se presentan las recomendaciones. El Informe se acompaña de cinco anexos.

II. Caracterización de la Cuenca del Río Santa Lucía

El informe JICA-MVOTMA 2011, que se mencionó, sobre control de la contaminación y gestión de la calidad del agua en la cuenca del Río Santa Lucía, encuentra que el 80% de los aportes de nutrientes se debe a fuentes difusas, ligadas a la producción agropecuaria.

Tanto para analizar la posibilidad y repercusiones de la aplicación de un impuesto (o subsidio) como las de establecer un pago por servicio ambiental, resulta imprescindible la caracterización de los productores agropecuarios de la zona. Esta descripción contribuirá a evaluar mejor los efectos en términos de descarga de contaminantes y los costos de implementación de distintos tipos de medidas, a la vez que definir con mayor precisión los detalles del instrumento a utilizar.

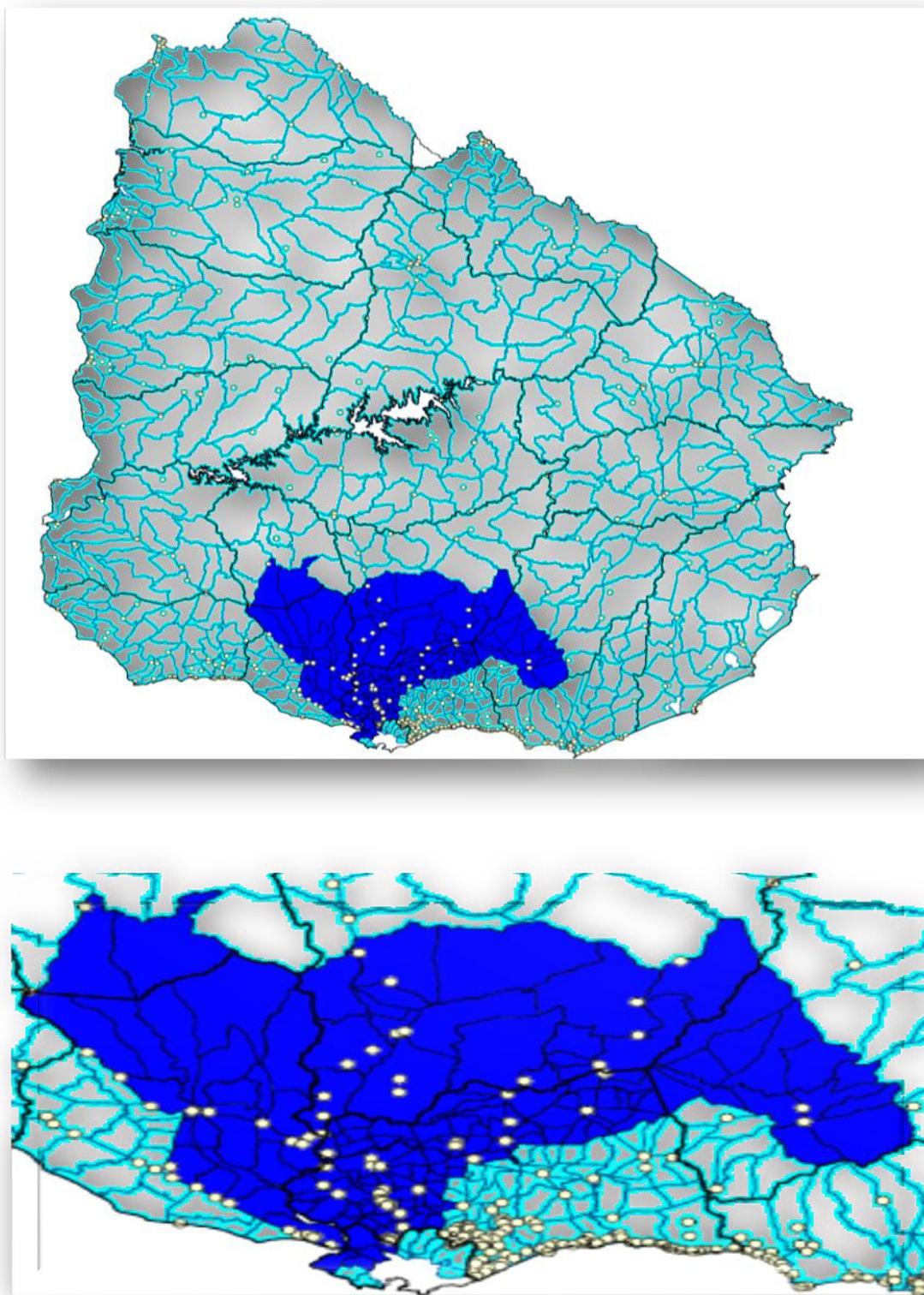
A partir del Sistema de Información del Censo Agropecuario 2000 (SICA), que genera datos georeferenciados, se define el mapa de la cuenca en términos de áreas de enumeración (AE). Si bien existen pequeñas diferencias, debido a que el contorno de las AE en algunos extremos no coincide exactamente con la figura de la cuenca, esta es una representación muy cercana y tiene la ventaja de permitir agregar datos censales a ese nivel. En la figura II.1, se presenta el agregado de las AE que se toman como representación del área de interés⁴.

Usando esa definición de la cuenca se procesan los datos censales para 2000 y 2011. El censo 2011 nos permite un acercamiento a las características actuales de los productores y en particular a la utilización del suelo en la zona de la cuenca.

Partiendo de la definición de DINAGUA-MVOTMA, en general se maneja una superficie aproximada a 1.350.000 hectáreas para toda la cuenca. Los datos 2011 dan cuenta de una superficie de 1.262.443 hectáreas dedicada a algún tipo de actividad agrícola o pecuaria, de las cuales un 99% (1.250.591 ha) es explotada en forma comercial.

⁴ Las AE consideradas se listan en anexo.

Figura II.1 Cuenca del Río Santa Lucía según Áreas de Enumeración Censales⁵



Fuente: DIEA- MGAP, SICA 2000

⁵ Los puntos señalan localidades,

Respecto al tipo de productor que lleva adelante estas actividades, los datos muestran que en su mayoría son productores pequeños. En el año 2011 un 78% de los establecimientos maneja superficies inferiores a 100 hectáreas ocupando algo menos del 14% de la superficie de la cuenca. En el otro extremo el 3% de las explotaciones tienen 1000 hectáreas o más y ocupan casi el 40% de la superficie. Entre los dos extremos se encuentra menos del 20% de los productores que manejan casi la mitad de la superficie de toda la cuenca con predios de 100 a 999 hectáreas. A su vez, alrededor del 63% de la superficie explotada se trabaja en régimen de propiedad, el 28% como arrendamiento y menos del 10% bajo otras formas.

Los cuadros siguientes muestran los detalles que refieren a tamaño y régimen de tenencia de la tierra en la zona de la cuenca.

Cuadro II.1 Tamaño de las Explotaciones

Tamaño de la Explotación	Explotaciones		Superficie	
	Número	Porcent.	Hectáreas	Porcent.
Total	9.711	100	1.262.443	100
<i>Subtotal <100 ha</i>	7.609	78,4	174.634	13,83
1 a 4	1.276	13,1	3.663	0,3
5 a 9	1.611	16,6	10.867	0,9
10 a 19	1.734	17,9	23.829	1,9
20 a 49	1.893	19,5	57.966	4,7
50 a 99	1.095	11,3	76.509	6,1
<i>Subtotal 100 a 999 ha</i>	1.832	18,9	585.573	46,4
100 a 199	768	7,9	107.866	8,5
200 a 499	696	7,2	222.554	17,6
500 a 999	368	3,8	255.153	20,2
<i>Subtotal 1000 y más ha</i>	270	2,8	502.236	39,8
1000 a 2499	229	2,4	347.833	27,6
2500 a 4999	36	0,4	117.055	9,3
5000 a 9999	4	0	26.119	2,1
10.000 y más	1	0	11.229	0,9

Fuente: Elaboración propia en base a datos DIEA-MGAP, Censo Agropecuario 2011

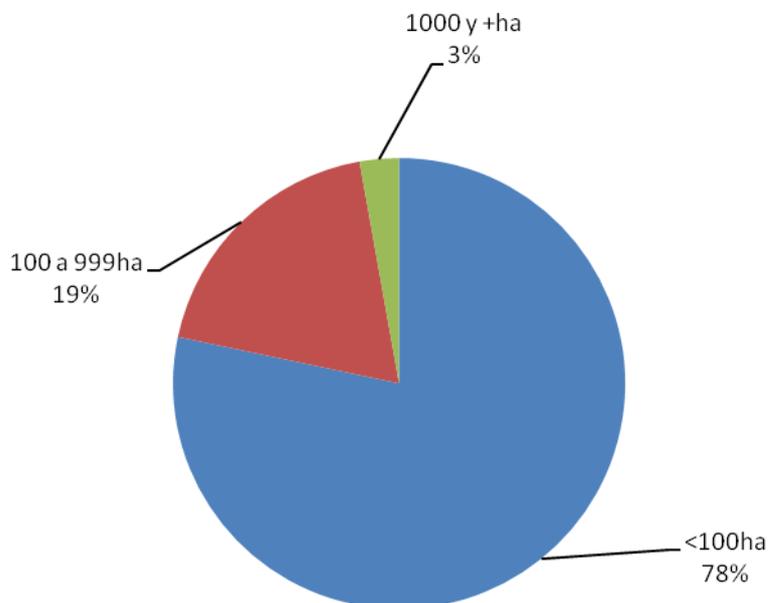
Cuadro II.2 Régimen de Tenencia de la Tierra

Régimen de Tenencia	Superficie	
	Hectáreas	Porcent.
Total	1.262.443	100
Propiedad	800.427	63,4
Arrendamiento	352.900	28,0
Pastoreo	19.568	1,6
Aparcería	5.380	0,4
Ocupante	34.524	2,7
Otros	49.644	3,9

Fuente: Elaboración propia en base a datos DIEA-MGAP, Censo Agropecuario 2011

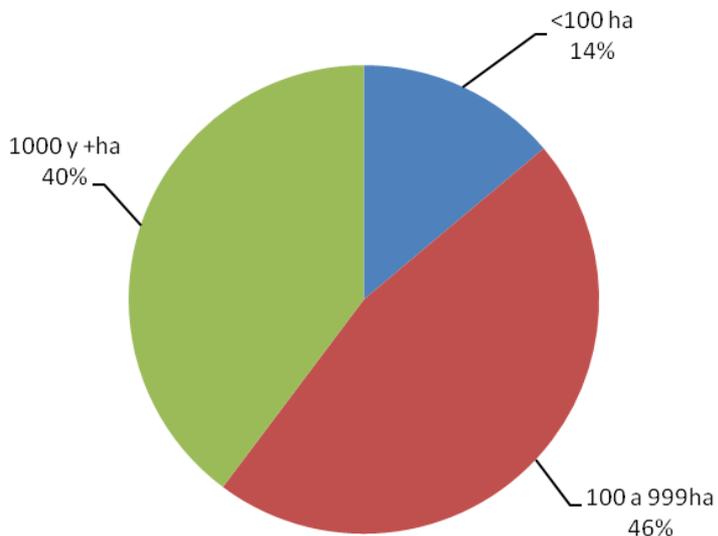
Las figuras siguientes presentan la información de número de explotaciones y superficie en forma resumida.

Figura II.2 Número de Explotaciones según grandes tramos de tamaño



Fuente: Elaboración propia en base a datos DIEA-MGAP, Censo Agropecuario 2011

Figura II.3 Superficie según grandes tramos de tamaño



Fuente: Elaboración propia en base a datos DIEA-MGAP, Censo Agropecuario 2011

Un tercer aspecto relevante para el conocimiento del tipo de productores y actividades de la cuenca se refiere a la mano de obra utilizada⁶. Más adelante se presentan los datos de las

⁶ En forma consistente con el resto de la información presentada, y especialmente porque es la forma de llegar a esta desagregación geográfica, se utilizan acá los datos del Censo Agropecuario 2011. Sin

actividades desarrolladas por estos productores permitiendo apreciar la importancia de la pecuaria frente a la agricultura. En el cuadro II.3 se presentan los datos de trabajadores permanentes y temporarios⁷ para cada actividad o grupo de actividades que definen el ingreso principal del establecimiento.

Cuadro II.3 Mano de Obra según Principal Fuente de Ingreso

Fuentes de Ingreso	Trabajadores		
	Total	Permanentes	Temporarios
Total	22.650	21.747	903
<i>Subtotal Pecuaria</i>	<i>14.869</i>	<i>14.745</i>	<i>124</i>
Vacunos de Carne	7.020	6.960	60
Vacunos de Leche	5.336	5.293	43
Ovinos Carne y Lana	452	449	3
Aves	1.336	1.321	15
Equinos	162	161	1
Cerdos	443	441	2
Otros Animales	121	120	1
<i>Subtotal Agrícola y Forestal</i>	<i>7.376</i>	<i>6.603</i>	<i>773</i>
Cereales y Oleaginosos	492	484	8
Forestación	147	145	2
Frutales y Vid	3.635	2.988	647
Horticultura	2.971	2.862	109
Semilleros, Viveros y Plantines	131	124	7
<i>Otros (Incl. Serv. y Agroturismo)</i>	<i>406</i>	<i>399</i>	<i>7</i>

Fuente: Elaboración propia en base a datos DIEA-MGAP, Censo Agropecuario 2011

Resulta interesante señalar que si tomamos el promedio de trabajadores por explotación, para cada actividad, este es en general menor o igual que el promedio nacional, mientras que si miramos el promedio por hectárea (o cada 1000 hectáreas) aparecen magnitudes iguales o mayores al promedio del país. Este es un indicador más del predominio de explotaciones de menor tamaño en la zona. Sin embargo, para poder avanzar en alguna categorización sobre los productores de la zona debemos considerar los datos de trabajadores no remunerados para tener un indicador de su peso en la mano de obra utilizada, dado que este es uno de los elementos que suelen considerarse (junto a extensión) para definir la presencia de productores de tipo familiar o no.

En el cuadro II.4 se presentan los datos de los trabajadores permanentes según fuente de ingreso distinguiendo entre aquellos que lo son en forma remunerada y quienes no reciben remuneración. Se puede apreciar que en varias de las actividades hay una mayoría de trabajadores no remunerados. En los extremos se encuentran por un lado la horticultura, con más del 80% de trabajadores no remunerados y por otro la lechería, o los cereales y oleaginosos, donde alrededor del 70% del personal es remunerado. Si bien la horticultura se

embargo algunos estudios (Ackermann, Cortelezzi y Duran, 2014) han encontrado que esta fuente tiende a subestimar la cantidad de trabajadores empleados en el sector.

⁷ Se sigue la convención: 200 jornales contratados de trabajadores temporarios computan como 1 equivalente-hombre.

definiría sin dudas, como producción mayoritariamente de tipo familiar, en el caso de la lechería seguramente se encuentren ambos tipos de producción al interior del sector.

Cuadro II.4 Trabajadores Permanentes Remunerados y No Remunerados

Fuentes de Ingreso	Trabajadores Permanentes		
	Total	Porcent. Remun.	Porcent. No Remun.
Total	21.747		
<i>Subtotal Pecuaria</i>	<i>14.745</i>		
Vacunos de Carne	6.960	37,2	62.8
Vacunos de Leche	5.293	71,0	29.0
Ovinos Carne y Lana	449	22,7	77.3
Aves	1.321	55,8	44.2
Equinos	161	55,9	44.1
Cerdos	441	23,8	76.2
Otros Animales	120	38,3	61.7
<i>Subtotal Agrícola y Forestal</i>	<i>6.603</i>		
Cereales y Oleaginosos	484	68,8	31.2
Forestación	145	58,6	41.4
Frutales y Vid	2.988	49,1	50.9
Horticultura	2.862	18,4	81.6
Semilleros, Viveros y Plantines	124	53,2	46.8
<i>Otros (Incl. Serv. y Agroturismo)</i>	<i>399</i>	<i>38,3</i>	<i>61.7</i>

Fuente: Elaboración propia en base a datos DIEA-MGAP, Censo Agropecuario 2011

En relación al tipo de actividades desarrolladas por estos productores, un primer indicador es la principal fuente de ingreso de los establecimientos desde el punto de vista del valor de la producción. En ese sentido, el cuadro II.5 permite apreciar que en 2011, en las explotaciones comerciales, las actividades pecuarias (incluidos tanto vacunos y ovinos como equinos, cerdos y aves) son las predominantes con el 84% de la superficie y el 68% de las explotaciones. Por su parte las actividades agrícolas y forestales ocupan un 14% de la superficie y agrupan un 30% de las explotaciones⁸.

En esta distribución de actividades, la importancia de vacunos y ovinos, que como actividades principales son desarrolladas en la mayor parte de las explotaciones comerciales, resulta relevante a efectos de la calidad del agua, aún cuando no se esté considerando el tema efluentes. Estas actividades determinan ciertos usos del suelo que se relacionan directamente con la exportación de P hacia las aguas, como por ejemplo praderas artificiales y especies forrajeras anuales para la alimentación animal.

⁸ Vale la pena notar que si bien en el año 2000 se verificaba una relación en el mismo sentido, en 2011 las actividades pecuarias han cedido cierto terreno a las agrícolas, lo cual es consistente con el estudio sobre cultivos de verano en la zona de Petraglia C. et al (2013)

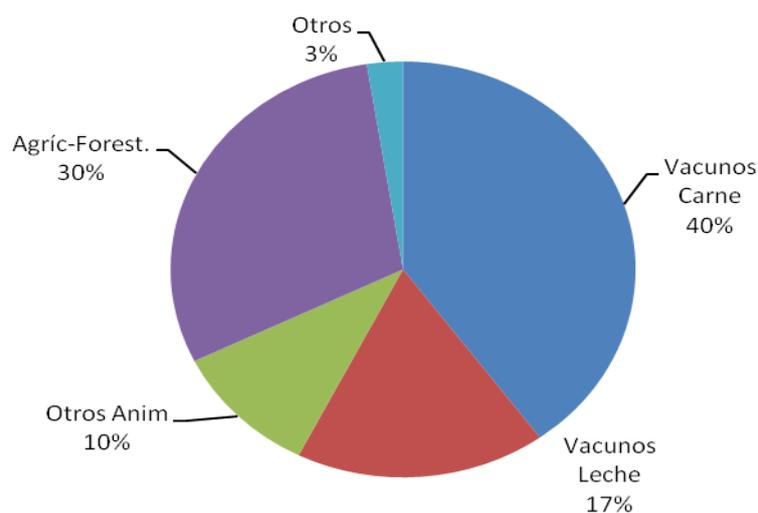
Cuadro II.5 Explotaciones Comerciales según Principal Fuente de Ingreso

Fuentes de ingreso	Explotaciones		Superficie	
	Número	Porcent.	Hectáreas	Porcent.
Total	8.491	100	1.250.591	100
<i>Subtotal Pecuaria</i>	5.745	67,8	1.054.277	84
Vacunos de Carne	3.388	39,9	704.055	56,3
Vacunos de Leche	1.479	17,4	309.854	24,8
Ovinos Carne y Lana	249	2,9	21.576	1,7
Aves	324	3,8	8.811	0,7
Equinos	49	0,6	6.436	0,5
Cerdos	192	2,3	2.545	0,2
Otros Animales	64	0,8	1.000	0,1
<i>Subtotal Agrícola y Forestal</i>	2.534	29,7	179.285	14,4
Cereales y Oleaginosos	196	2,3	94.835	7,6
Forestación	76	0,9	38.283	3,1
Frutales y Vid	972	11,5	21.148	1,7
Horticultura	1.245	14,5	19.081	1,5
Semilleros, Viveros y Plantines	45	0,5	5.938	0,5
<i>Otros (Incl. Serv. y Agroturismo)</i>	212	2,5	17.029	1,4

Fuente: Elaboración propia en base a datos DIEA-MGAP, Censo Agropecuario 2011

Las figuras II.4 y II.5 presentan un resumen de los datos del cuadro donde se aprecia la importancia de la actividad pecuaria que se comentaba más arriba.

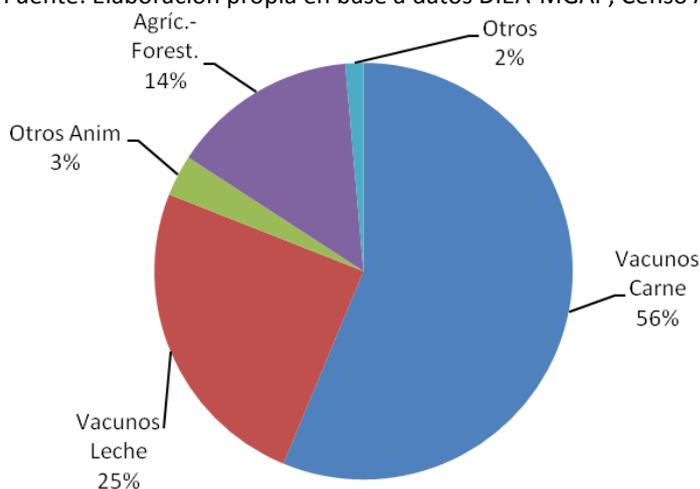
Figura II.4 Número de Explotaciones según grupos de actividades



Fuente: Elaboración propia en base a datos DIEA-MGAP, Censo Agropecuario 2011

Figura II.5 Superficie según grupos de actividades

Fuente: Elaboración propia en base a datos DIEA-MGAP, Censo Agropecuario 2011



El cuadro II.6 contiene los datos sobre el stock animal. Para completar la idea, las explotaciones de la Cuenca tienen algo menos del 10% del stock vacuno del país y casi el 5% de los ovinos. En el caso del ganado lechero encontramos que la Cuenca, en una superficie de 1.262443 ha. (menos del 8% del total nacional), alberga casi el 40% del stock total del país, reforzando la idea de la importancia de la lechería en la zona.

Cuadro II.6 Stock Animal

Tamaño de la Explotación	Cabezas de Ganado		
	Vacuno Carne	Ovino	Lechero
Total	1.010.285	350.785	287.820
<i>Subtotal <100 ha</i>	<i>150.607</i>	<i>45.444</i>	<i>43.493</i>
1 a 4	2.983	1.954	74
5 a 9	8.121	3.178	620
10 a 19	19.436	6.403	2.434
20 a 49	51.596	14.499	14.172
50 a 99	68.471	19.410	26.193
<i>Subtotal 100 a 999 ha</i>	<i>472.776</i>	<i>146.313</i>	<i>170.591</i>
100 a 199	99.963	25.568	42.523
200 a 499	186.057	61.594	67.821
500 a 999	186.756	59.151	60.247
<i>Subtotal 1000 y más ha</i>	<i>386.902</i>	<i>159.028</i>	<i>73.736</i>
1000 a 2499	270.951	115.590	45.389
2500 y más	115.951	43.438	28.347

Fuente: Elaboración propia en base a datos DIEA-MGAP, Censo Agropecuario 2011

Considerando que las causas de la contaminación de las aguas están asociadas a las prácticas agrícolas de fertilización de suelos en sus distintas actividades, parece necesario complementar el análisis con los datos del uso del suelo que se hace en la zona. Una primer idea con respecto al aprovechamiento del suelo, se ofrece en el cuadro II.7. Este cuadro

permite apreciar que aproximadamente un 46% de la superficie total de la Cuenca está sujeto a algún tipo de tipo de intervención y algún grado de tratamiento.

Cuadro II.7 Aprovechamiento de la Tierra

Uso del Suelo	Superficie Explotada	
	Hectáreas	Porcent.
Total	1.262.443	100
<i>Tierras sin intervencion</i>	664.322	53
Campo Natural	635.643	50,4
Bosques Naturales	28.679	2,3
<i>Tierras sujetas a tratamiento</i>	585.675	46
Praderas Artificiales	191.706	15,2
Cultivos Forrajeros Anuales	118.437	9,4
Cultivos Cerealeros e Industriales	89.814	7,1
Campo Natural sembrado en Cobertura	50.096	4,0
Bosques Artificiales	47.809	3,8
Campo Natural Fertilizado	38.410	3,0
Tierra Preparada y Tierra de Rastrojo	32.223	2,6
Frutales y Vid	10.842	0,8
Cultivos de Huerta	6.338	0,5
<i>Tierras Improductivas y Espejos de Agua</i>	12.446	1,0

Fuente: Elaboración propia en base a datos DIEA/MGAP, Censo Agropecuario 2011

A pesar de que un porcentaje importante del suelo no esté sujeto a tratamiento, hay actividad comercial, y por ende implicancias en cuanto al tema que nos ocupa, en el 99% de la superficie.

Desde el punto de vista de la exportación de nutrientes hacia las aguas sin embargo, las actividades no son equivalentes. Dado que nos restringimos al caso del P, es necesario tener alguna medida de la influencia de los distintos usos del suelo en el aporte de P a las aguas. Si bien no hay información local sobre el efecto de las distintas actividades, se presentan a continuación los coeficientes de exportación de P según uso del suelo que se manejan en la literatura internacional, y que han sido en lo posible calibrados al caso uruguayo.

Los coeficientes más altos de exportación de P destacan en los cultivos cerealeros e industriales, las praderas artificiales y cultivos forrajeros, la tierra preparada y de rastrojo y el campo natural sembrado en cobertura o fertilizado.

Cuadro II.8 Coeficientes de Exportación de P

Uso del Suelo	Kg por Ha por Año		
	Mínimo	Más Probable	Máximo
Campo Natural ¹	0,03	0,24	0,62
Bosques Naturales ²	0,01	0,01	0,01
Praderas Artificiales ³	0,14	1,16	3,68
Cultivos Forrajeros Anuales ³	0,14	1,16	3,68
Cultivos Cerealeros e Industriales Promedio (Inv. y Ver al 50%) ⁴	0,23	2,23	9,45
Campo Natural sembrado en Cobertura ⁵	0,085	0,70	2,15
Bosques Artificiales ⁶	0,03	0,29	0,65
Campo Natural Fertilizado ⁵	0,085	0,70	2,15
Tierra Preparada y Tierra de Rastrojo ⁷	0,115	0,975	3,19
Frutales y Vid ⁸	0,22	0,22	0,22
Cultivos de Huerta ⁸	2,70	2,70	2,70
Tierras Improductivas ²	0,01	0,01	0,01

Fuentes: ¹ Adaptado de Drewry et al.,(2006), ² U.S.EPA, (2002), ³ Reckhow et al., (1980), ⁴ Marston et al. (1995), ⁵ Perdomo (estimación para el trabajo en curso), ⁶ Barreto, P. (2008), ⁷ Jones et al., (1985) & Marston et al. (1995), ⁸ Wood, G. (1986) citado por Marston et al. (1995).

En el caso de los cultivos cerealeros e industriales, corresponde señalar que para los cultivos de invierno, como trigo y cebada, los coeficientes mínimo, más probable y máximo son del orden de 0,13; 0,35 y 2,18 kg/ha/año respectivamente. Por su parte estos coeficientes para los cultivos de verano, como soja y girasol, son considerablemente más altos: 0,32; 4,11 y 16,71 kg/ha/año, mínimo, más probable y máximo respectivamente. Los coeficientes del cuadro anterior son un indicador promedio asumiendo que se plantan 50% cada uno.

En relación a los cultivos forrajeros anuales importa destacar que los coeficientes de exportación de P se ven afectados según se planten para pastoreo ovino y bovino o para producción de semilla. En el primer caso, estos cultivos se comportan en forma muy similar a praderas artificiales (y de hecho así se los trata en muchos otros países) por lo cual el coeficiente que conviene considerar es el de praderas como se muestra en el cuadro. Distinto es el caso de aquellos cultivos que tienen como destino producción de semilla, donde podrían asimilarse a los cultivos cerealeros e industriales de verano e invierno según corresponda. Sin embargo, los únicos cultivos forrajeros anuales que a nivel nacional tienen cierta importancia para semilla son Raigras y Moha y con porcentajes muy menores (6 y 4 % respectivamente).

A continuación se presentan datos de uso del suelo para los dos tipos de cultivos mencionados, en la zona de la cuenca en 2011. El cuadro II.9 muestra la importancia de los distintos cultivos cerealeros e industriales asociados al coeficiente de verano o invierno según corresponda. El cuadro II.10 presenta el detalle de los cultivos forrajeros anuales.

Cuadro II.9 Cultivos Cerealeros e Industriales

Uso del Suelo	Explotac. Número	Superficie Hectáreas
Total		103.399
<i>Subtotal Coef. Verano</i>	675	61.283
Soja	218	47.243
Sorgo	216	8.155
Maíz	232	5.843
Girasol	9	591
<i>Subtotal Coef. Invierno</i>	587	41.236
Trigo (trillado)	347	34.572
Avena	178	4.011
Cebada Cervecera	61	2.650
Alpiste		
Colsa ¹	11	250
Arroz ²	3	89
Otros ¹	1	1

Fuente: Elaboración propia en base a datos DIEA/MGAP, Censo Agropecuario 2011

¹ Sin datos de coeficiente de exportación de P;

² Los coef. son 0,5; 0,75 y 1 kg/ha/año, CEPIS (2005) citado por Limpus, A. (2008)

Cuadro II.10 Cultivos Forrajeros Anuales

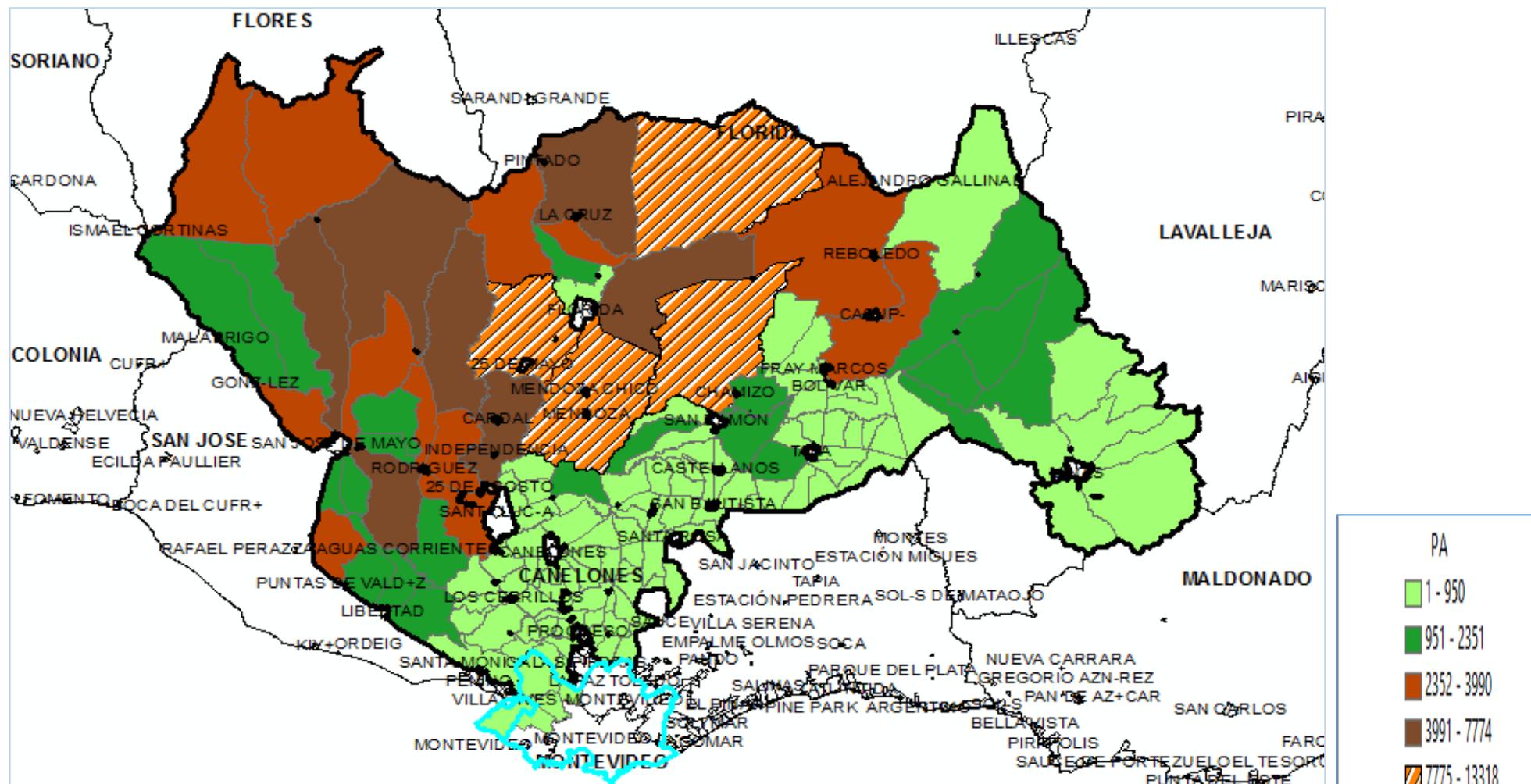
Uso del Suelo	Explotaciones Número	Superficie Hectáreas
Total		133.880
Avena	2.420	46.793
Sorgo	1.295	39.141
Raigras	727	25.896
Maíz	434	6.287
Trigo	364	10.275
Moha	300	3.419
Otros ¹	65	2.079

Fuente: Elaboración propia en base a datos DIEA/MGAP, Censo Agropecuario 2011.

¹ Sin datos de coeficiente de exportación de P.

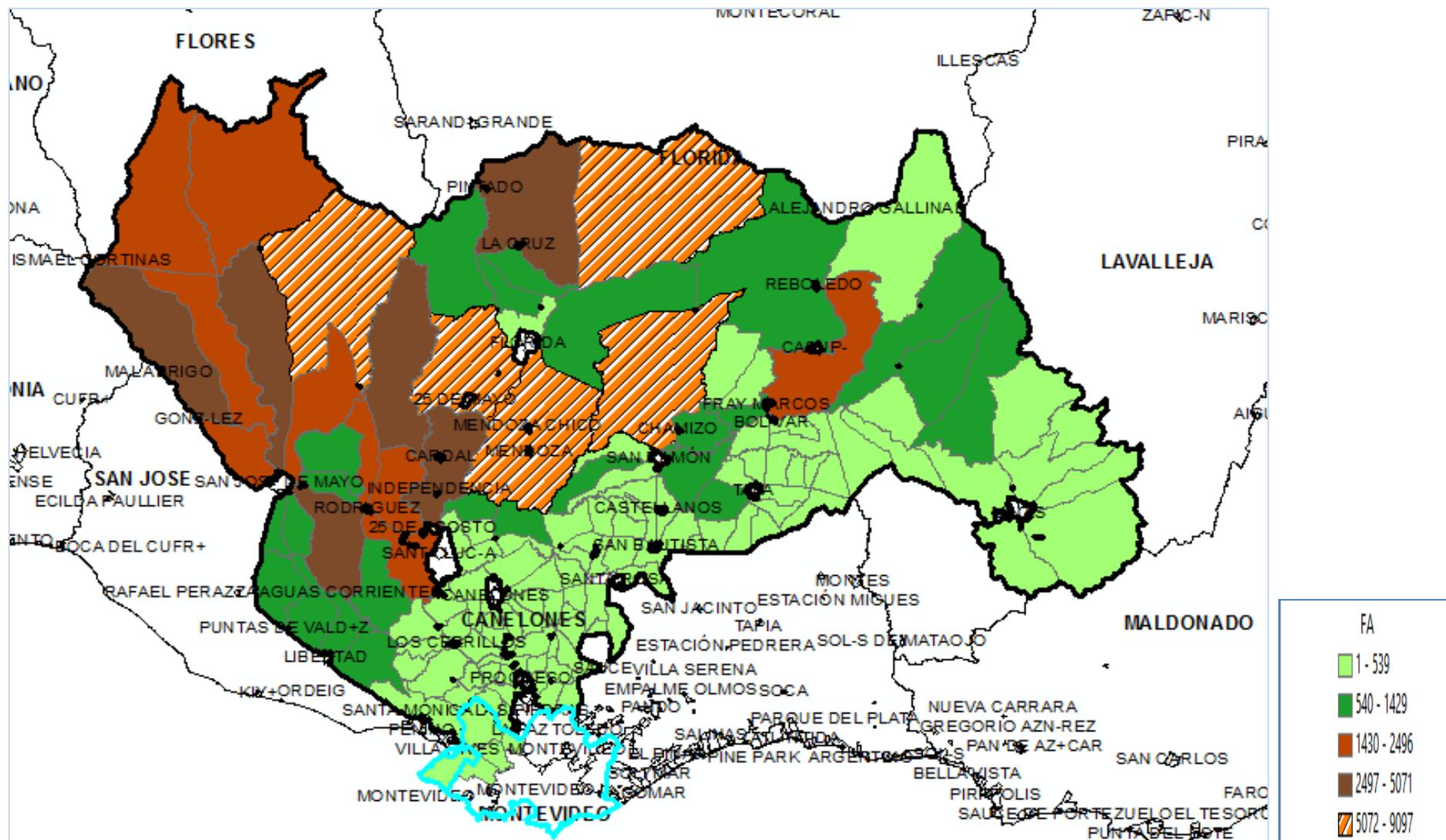
De acuerdo entonces al uso del suelo en la cuenca y la importancia desde el punto de vista de la exportación de P, parece necesario revisar la localización de algunos de estos cultivos: praderas artificiales, cultivos forrajeros, cultivos cerealeros e industriales, tierra preparada y tierra de rastrojo y luego campo natural fertilizado y sembrado en cobertura. Las siguientes figuras (II.6 a II.12) presentan la distribución según mayor o menor intensidad de cada uno de estos usos.

Figura II.6 Praderas Artificiales por AE, según rango de hectárea



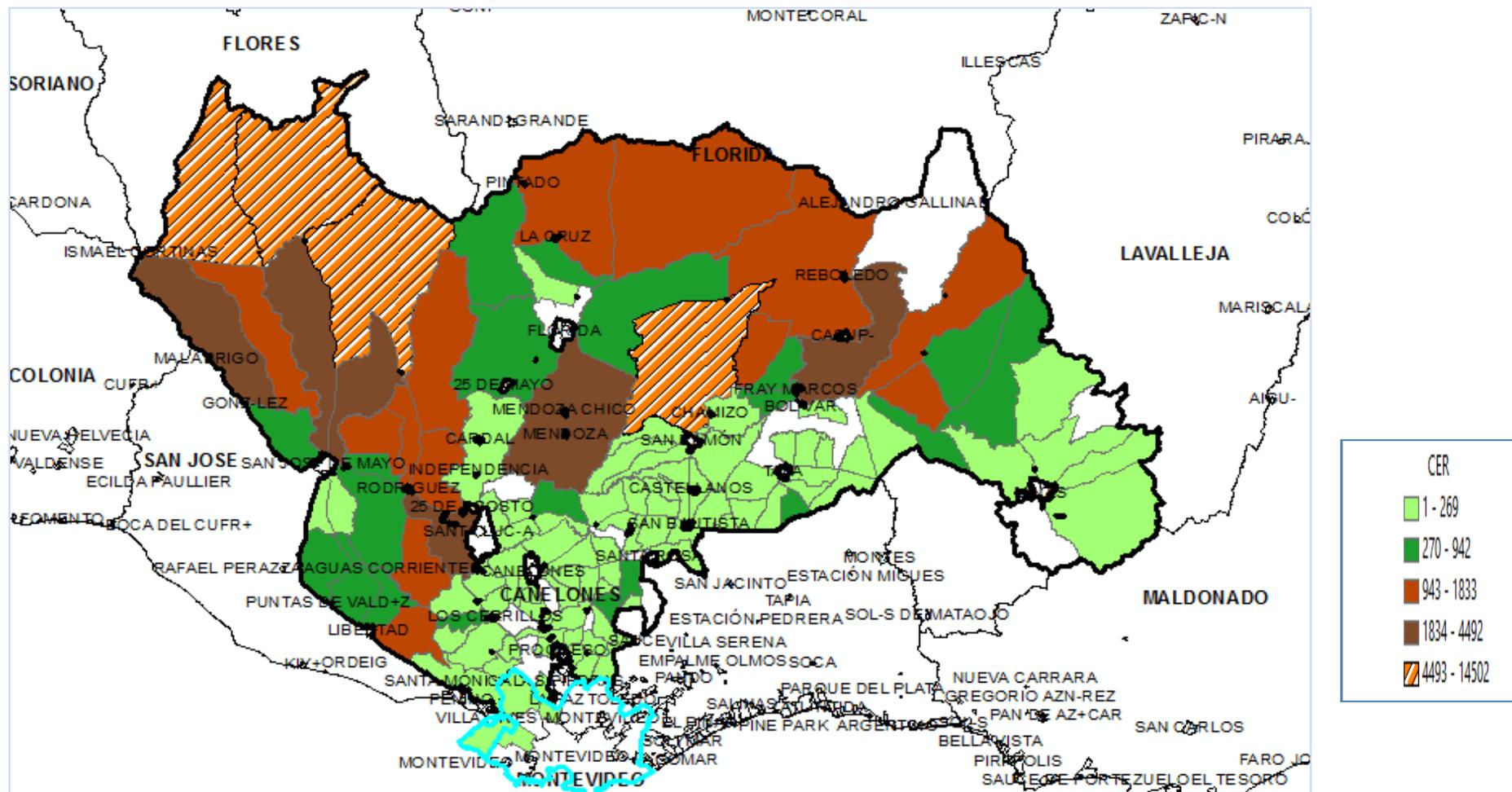
Fuente: DIEA- MGAP, Censo Agropecuario 2011

Figura II.7 Cultivos Forrajeros Anuales por AE, según rango de hectáreas



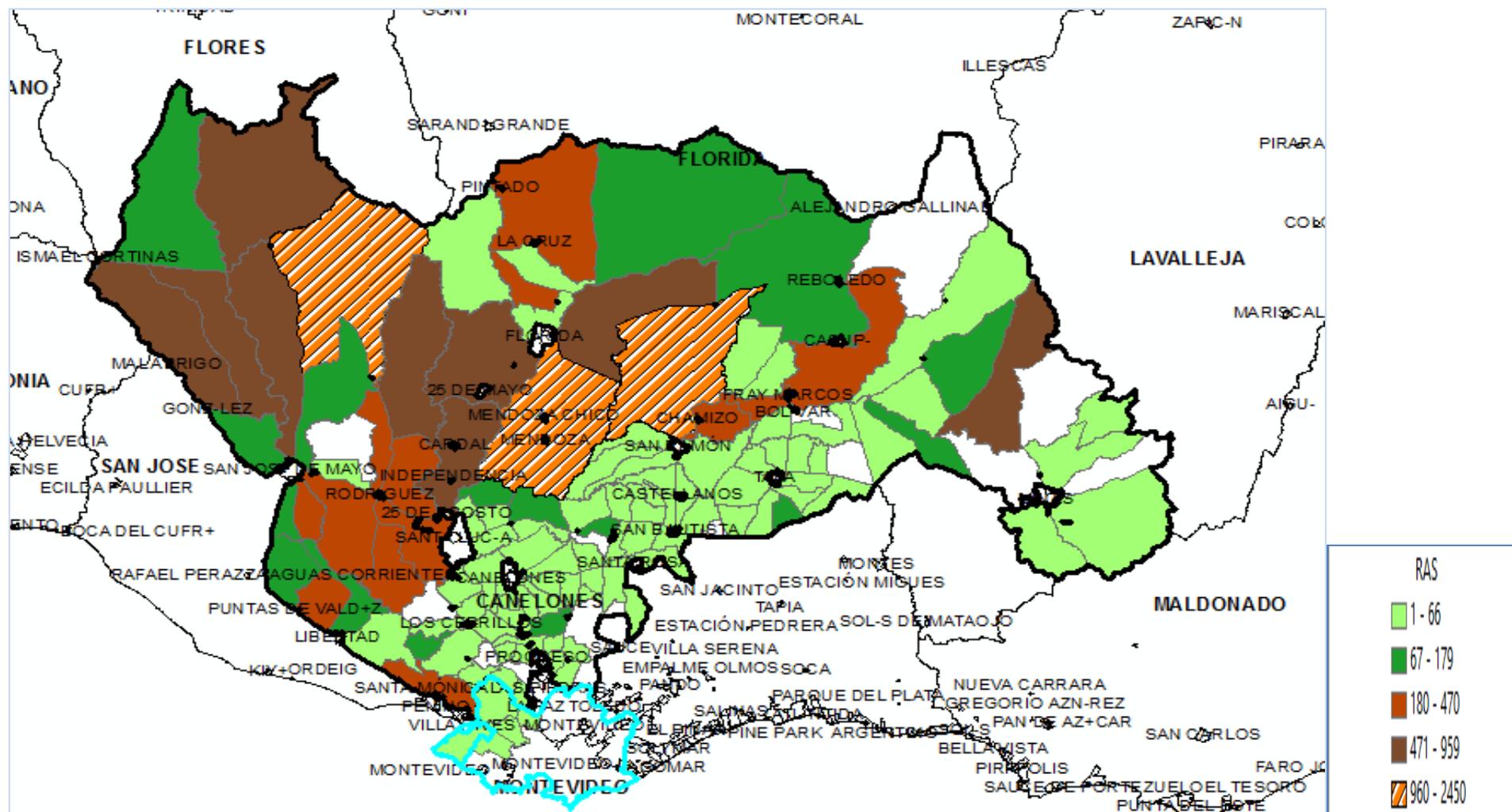
Fuente: DIEA- MGAP, Censo Agropecuario 2011

Figura II.8 Cultivos Cerealeros e Industriales por AE, según rango de hectáreas



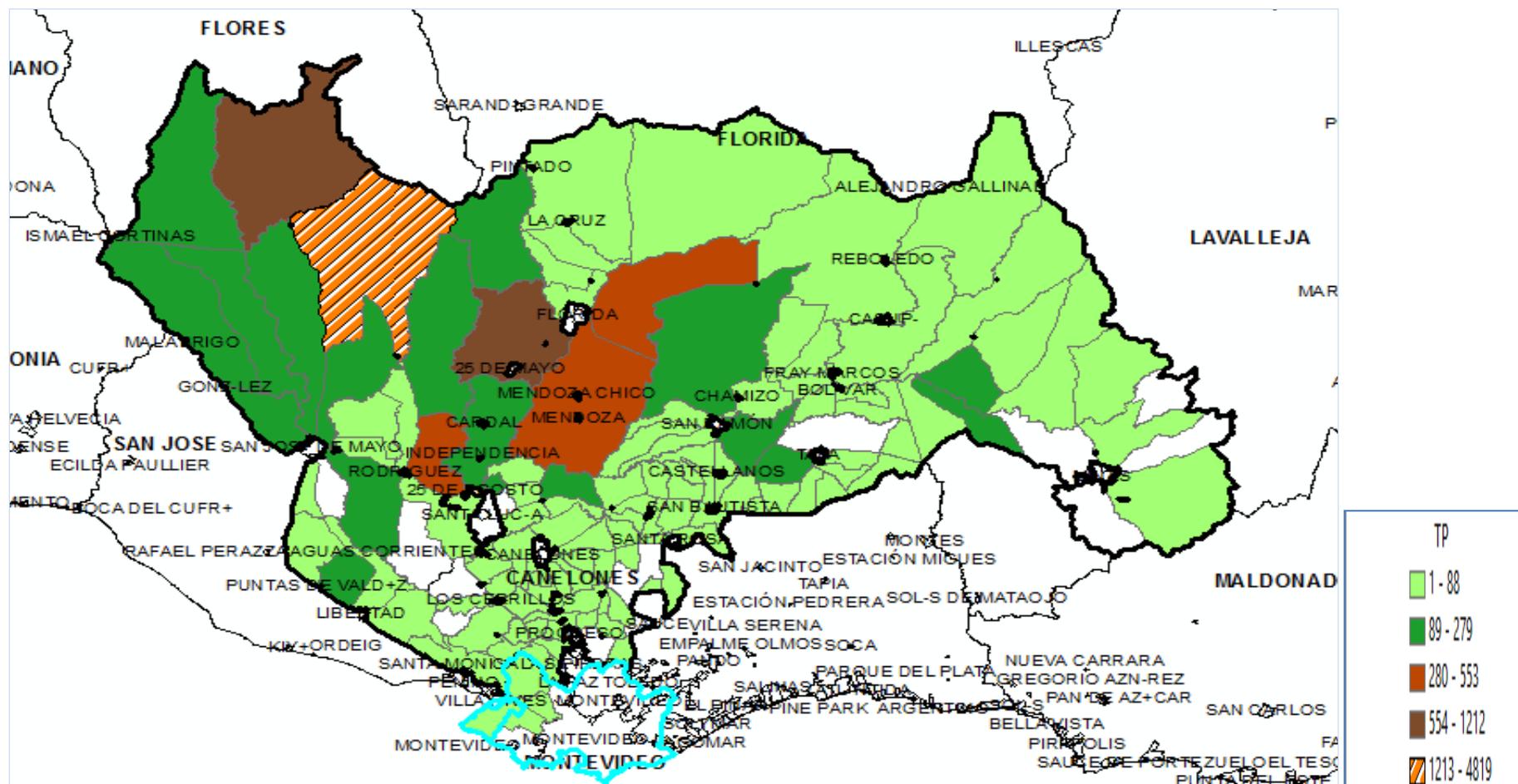
Fuente: DIEA- MGAP, Censo Agropecuario 2011

Figura II.9 Tierra de Rastrojo por AE, según rango de hectáreas



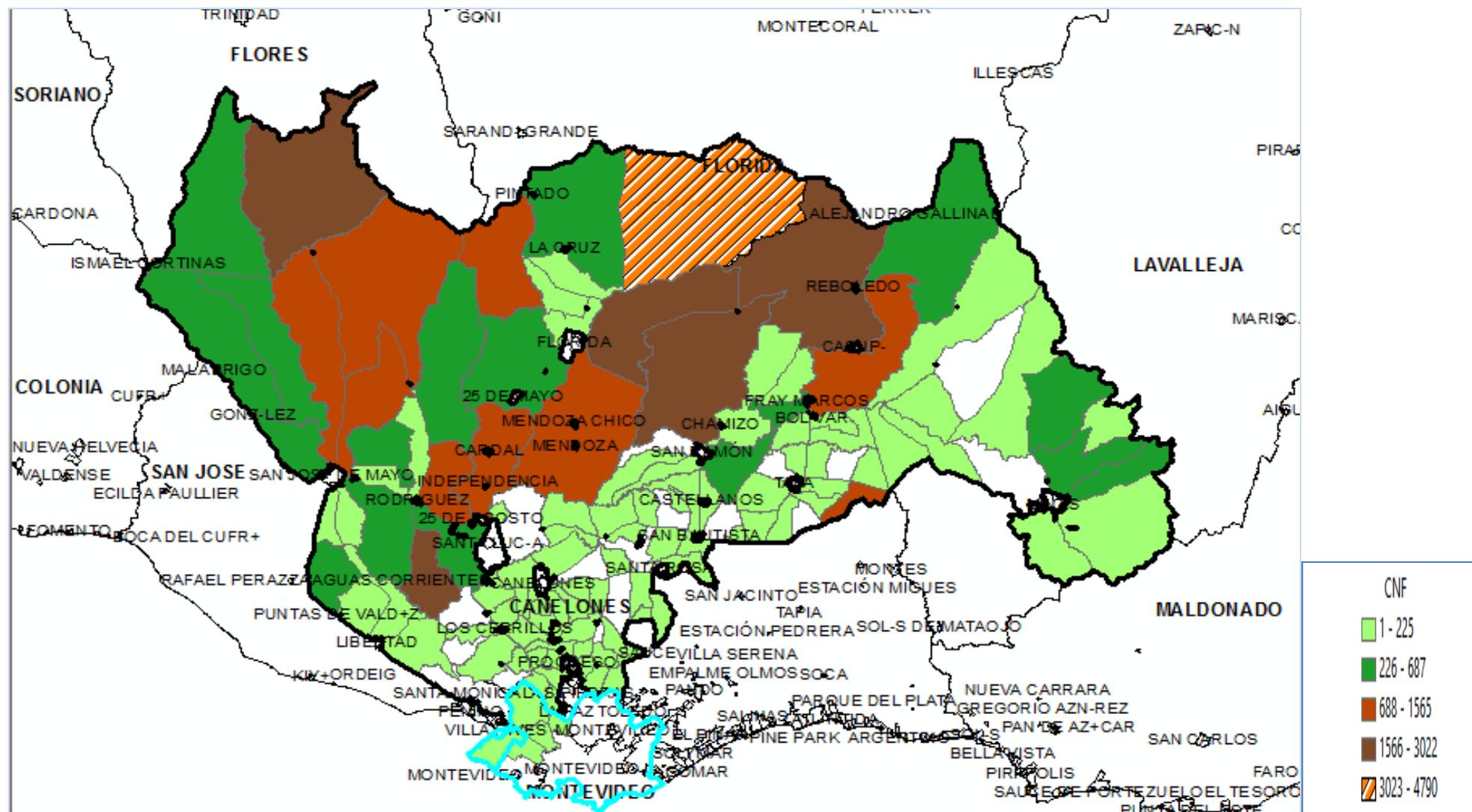
Fuente: DIEA- MGAP, Censo Agropecuario 2011

Figura II.10 Tierra preparada con herbicida o laboreos por AE, según rango de hectáreas



Fuente: DIEA- MGAP, Censo Agropecuario 2011

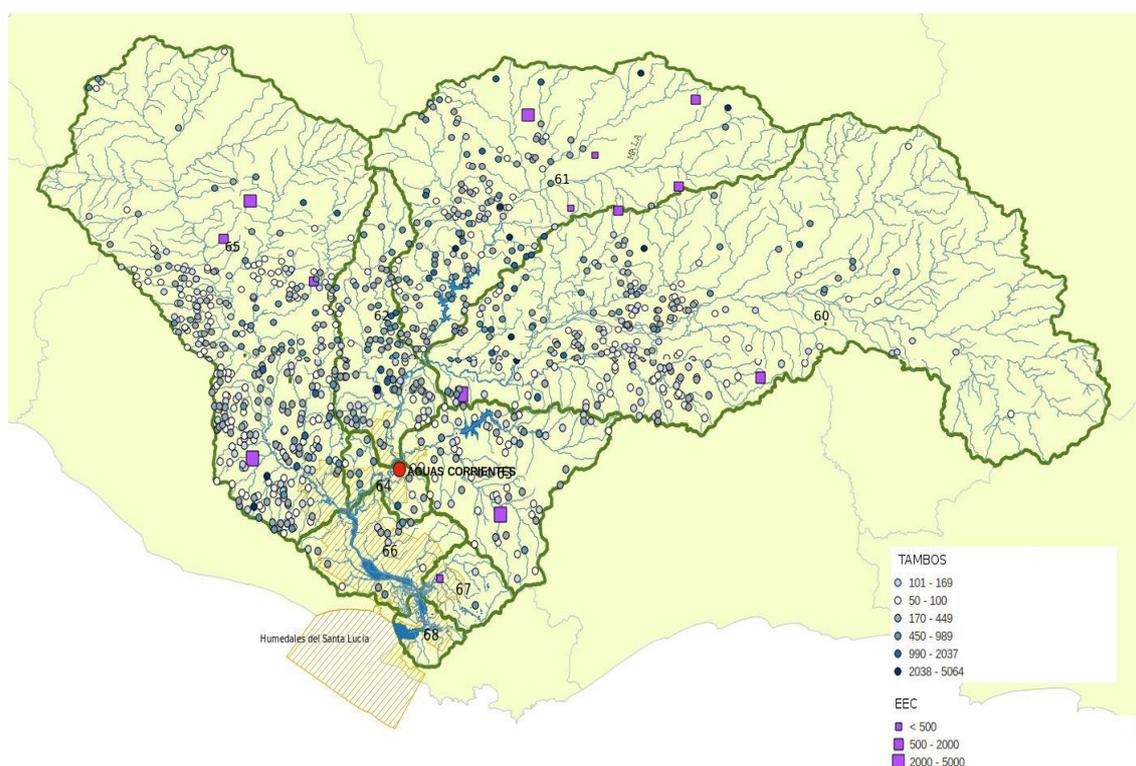
Figura II.11 Campo Natural Fertilizado por AE, según rango de hectáreas



Fuente: DIEA-MGAP, Censo Agropecuario 2011.

Observando la ubicación en 2011 de los cultivos que presentan mayores coeficientes de exportación de fósforo, se aprecia que las zonas más delicadas serían entonces las que corresponden a las subcuencas 60 centro-norte, 61, 62 y 65⁹. Estas subcuencas están incluidas en lo que la DINAMA define como Zona A (ver punto III a continuación) y donde ubica la mayoría de tambos y *feed-lots*

Figura II.13 Presión de Tambos y *Feed-Lots*



Fuente: Tomado de MVOTMA (2013).

Debe notarse que estos suelos se encuentran mayormente en los departamentos de Florida, San José y Flores; mientras que las zonas que han sufrido el grado de erosión más alto son las que corresponden a los departamentos de Canelones y Lavalleja (García Prechac, 2013). Esta aparente inconsistencia en la preocupación por suelos no tan degradados se explica sin embargo por lo que observamos más arriba acerca de que los excesos de P se pierden (exportan) no solo a través de la erosión sino disuelto en el agua. Justamente se observa que esta pérdida de P soluble es particularmente importante en suelos bajo producción lechera que, estando cubiertos de vegetación (por ej. praderas artificiales), están menos expuestos a la erosión pero el nivel de P lábil es alto y por tanto el agua que escurre transporta mucho P. Las rotaciones de cultivos para producción de forraje con destino a alimentación de ganado lechero se caracterizan por el uso de P en dosis importantes por hectárea (Fossatti y

⁹ Dentro de la cuenca del Río Santa Lucía se distinguen las subcuencas 60 a 68.

Juanicotena, 2010)¹⁰, contrariamente a lo que ocurre en producciones que son más frecuentes en otras zonas de la cuenca del Río Santa Lucía donde el P exportado puede ser naturalmente absorbido por el sistema sin generar aumentos de P en las fuentes fluviales.

La mayoría de los estudios mencionados más arriba encuentran altos niveles de P soluble reactivo (PSR) en general. Sin embargo, varios coinciden en que los mayores niveles están en las zonas lecheras. Arocena et al. (2008b) encuentran que la mayoría de las estaciones, excepto las no lecheras del departamento de Florida y las ubicadas en zonas serranas, superaron el estándar nacional de fósforo total (PT) ($25 \mu\text{g P L}^{-1}$) para todo tipo de aguas. Las mayores concentraciones se observaron en la cuenca lechera de Florida, y los autores lo atribuyen a la actividad lechera. En el relevamiento realizado por Arocena et al. (2012) se incluyeron 10 microcuencas que recibían solamente aportes de fuentes agropecuarias. Los niveles promedio de PT en las 8 microcuencas lecheras fueron altos, con concentraciones que variaron entre 380 y 797 $\mu\text{g P L}^{-1}$. En la microcuenca agrícola-ganadera este valor fue de 150 $\mu\text{g P L}^{-1}$, mientras que en la ganadera bajo campo natural fue de 50 $\mu\text{g P L}^{-1}$. El fósforo soluble reactivo (PSR) - la forma de P con mayor biodisponibilidad- constituyó en promedio el 73% del P total. Una posible explicación de la menor concentración observada en la cuenca agrícola-ganadera con respecto a las lecheras, puede estar en la ausencia de aportes de efluentes de tambo. Por otra parte, aunque el nivel observado en la cuenca ganadera fue inferior al resto, de todos modos estuvo por encima del nivel legal actual ($25 \mu\text{g P L}^{-1}$), aunque apenas por encima de los niveles asociados con condiciones prístinas (Stumm, 1973).

En el estudio de Arocena et al. (2012), los niveles del test agronómico de P (Bray1)¹¹ a la profundidad de 15 cm del suelo se relacionaron en general con los niveles de PT y PSR del agua, ya que las dos únicas microcuencas con niveles bajos (menores a 10 ppm) fueron la ganadera y la agrícola-ganadera. En las otras microcuencas los valores de P-Bray 1 oscilaron entre 11 y 104 ppm, estando 5 de ellas por encima de 35 ppm, nivel de no respuesta a la fertilización fosfatada, aún para los cultivos más exigentes (Ministry of Agriculture, Fisheries and Food., 1994). Estos altos niveles pueden ser consecuencia en parte de la aplicación del fertilizante fosfatado en superficie, sin incorporar. Siendo esta una práctica común bajo siembra directa que provoca una estratificación de P en los primeros centímetros del suelo y una mayor disolución de PO_4^{3-} (fosfato o sal de ácido fosfórico) en el agua de escurrimiento (Krieger et al., 2010; Sharpley and Smith, 1994; Tiessen et al. 2010). En Uruguay estudios previos ya habían encontrado niveles elevados de P-Bray1 en suelos lecheros. En el área de Young, se reportaron valores promedios de 20 y máximos de 65 ppm, mientras que en la zona de Libertad, Villa Rodríguez, Tararías, San José y San Ramón estos promedios fueron de 30 y los máximos de 99 ppm (Moron & Baethgen, 1996). Esta última zona está en su mayor parte dentro de la cuenca de interés.

¹⁰ Fossati y Juanicotena (2010) presentan los resultados de un estudio para 28 productores CREA en varios departamentos y encuentran que la fertilización promedio con fósforo es de 47 Kg/ha en verdeos de invierno, 49 en los de verano, 62 en maíz y 66 en praderas.

¹¹ El método conocido como Bray 1 (Bray & Kurtz 1945), es un método para estimar la biodisponibilidad o disponibilidad de fósforo (P) para las plantas. Otros métodos aplicados son Bray II, Olsen, Mehlich I, II, III, que tienen diferentes bondades según el suelo de que se trate.

La información anterior confirma la existencia de un problema de sustentabilidad ambiental relacionado con la actividad agropecuaria y en particular con la lechería¹² ya que indica que la carga anual de P que llega a los ríos y lagos supera la tasa de reciclaje de este nutriente en esos cuerpos hídricos. Por tanto, parece imprescindible implementar medidas de control que logren reducir estos aportes.

Una observación que corresponde a esta altura es que, a nuestros efectos, la importancia del área con lechería en la cuenca, debe ser considerada en relación al área que recibe algún tipo de intervención y no respecto área total. De tal forma estamos considerando más de 300 mil ha en relación a un total de 586 mil que están sujetas a tratamiento (cuadro II.7).

Es importante volver a destacar que el foco de este trabajo en las exportaciones de P de rotaciones de cultivos utilizados para producción de forraje en lechería atiende parcialmente el problema de la concentración de P en fuentes fluviales, ya que no se ocupa directamente de los efluentes de los tambos que contienen altas concentraciones de P y N que, si no son debidamente tratados, implican considerables efectos en los cuerpos de agua.

La Lechería en la Cuenca del Río Santa Lucía

A esta altura resulta de interés mirar con mayor detenimiento los datos sobre explotaciones lecheras en la zona. Los cuadros siguientes muestran la distribución de estos establecimientos y su superficie según dos criterios de corte: tamaño del predio y volumen de producción.

Desde el punto de vista del tamaño del predio, podemos ver que, en la Cuenca y en 2011, los predios con menos de 100 hectáreas son algo más de la mitad y representan menos del 12 % de la superficie dedicada a lechería. En el otro extremo, un 3 % de las explotaciones tienen un tamaño mayor a 1000 hectáreas representando poco menos del 30% de la superficie. El grupo de explotaciones con más de 100 y menos de 1.000 hectáreas (algo más de 40% del total de establecimientos) ocupa casi el 60% de la superficie. Esto se aprecia claramente en las figuras resumen que se muestran a continuación.

¹² Las entrevistas llevadas adelante en el contexto de este trabajo a técnicos y expertos con conocimiento profundo de la cuenca, confirman los elementos vertidos en párrafos anteriores y denotan un consenso de que una de las principales zonas a atender radica en la zona donde hay predominancia de producción lechera.

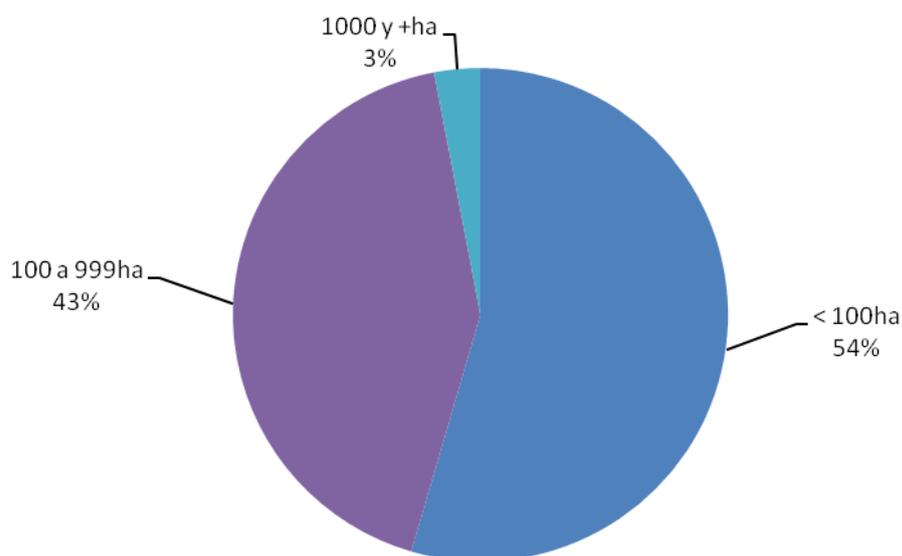
Cuadro II.11 Explotaciones Lecheras según Tamaño del Predio

Tamaño de la Explotación	Explotaciones ¹		Superficie	
	Número	Porcent.	Hectáreas	Porcent.
Total	1.513	100,0	317.727	100,0
<i>Subtotal <100 ha</i>	824	54,5	37.481	11,8
1 a 4	11	0,7	32	0,0
5 a 9	40	2,6	261	0,1
10 a 19	97	6,4	1.419	0,4
20 a 49	340	22,5	11.446	3,6
50 a 99	336	22,2	24.323	7,7
<i>Subtotal 100 a 999 ha</i>	643	42,5	188.912	59,5
100 a 199	296	19,6	41.634	13,1
200 a 499	243	16,1	75.119	23,6
500 a 999	104	6,9	72.159	22,7
<i>Subtotal 1000 y más ha</i>	46	3,0	91.334	28,7
1000 a 2499	38	2,5	55.473	17,5
2500 y más	8	0,5	35.861	11,3

Fuente: Elaboración propia en base a datos DIEA-MGAP, Censo Agropecuario 2011

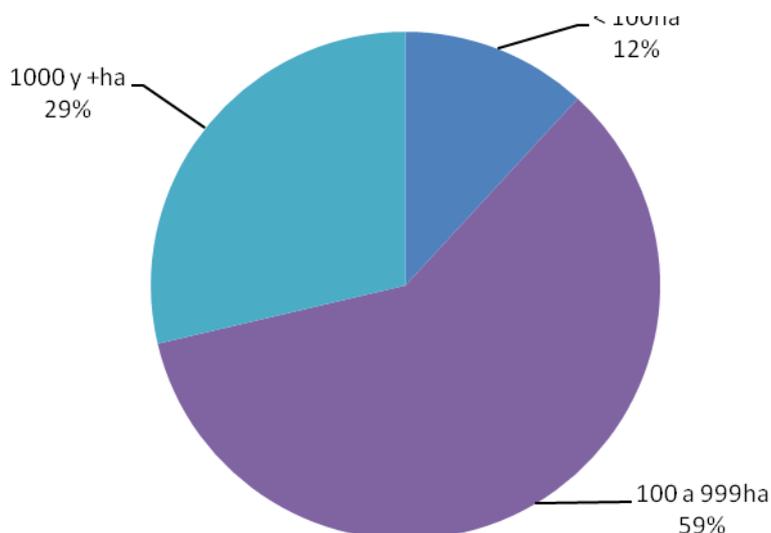
1 Se trata del total de explotaciones con lechería incluso aquellas en que no es ingreso principal.

Figura II.14 Número de Explotaciones Lecheras por grandes tramos de tamaño



Fuente: Elaboración propia en base a datos DIEA-MGAP, Censo Agropecuario 2011

Figura II.15 Superficie de lechería por grandes tramos de tamaño



Fuente: Elaboración propia en base a datos DIEA-MGAP, Censo Agropecuario 2011

Consideradas desde el lado del volumen de producción (cuadro II.12), el número de explotaciones lecheras de la Cuenca del Río Santa Lucía se distribuye en forma similar en los diferentes tramos; sin embargo, el 11% de las explotaciones que se encuentra en el tramo superior (más de 1 millón de litros al año) ocupa la mitad de la superficie.

Cuadro II.12 Explotaciones Lecheras según Volumen de Producción

Volumen de Producción	Explotaciones		Superficie		Producción Año Censal	
	Número	Porcent.	Hectáreas	Porcent.	Miles Lts	Porcent.
Total	1.513	100,0	317.727	100,0	710,095	100,0
Menos de 50.000	265	17,5	8.320	2,6	7,321	1,0
50.000 a 120.000	325	21,5	20.799	6,5	27,084	3,8
120.001 a 250.000	300	19,8	32.920	10,4	53,623	7,6
250.001 a 500.000	270	17,8	45.832	14,4	95,383	13,4
500.001 a 1.000.000	181	12,0	51.459	16,2	128,059	18,0
Más de 1.000.000	172	11,4	158.397	49,9	398,625	56,1

Fuente: Elaboración propia en base a datos DIEA-MGAP, Censo Agropecuario 2011.

Para completar la idea sobre los establecimientos lecheros de la Cuenca, se presentan los datos de ganado lechero y litros producidos en el año censal por tramo de tamaño de las explotaciones.

Cuadro II.13 Indicadores de Actividad Lechera según Tamaño de las Explotaciones

Tamaño de la Explotación	Ganado Lechero			Producción de Leche		
	Total		Vacas Masa	Año Censal		Lts Diarios
	Cabezas	Porcent.	Cabezas	Miles Lts.	Porcent.	p/Exp ¹
Total	287.820	100,0	175.503	710.095	100,0	
<i>Subtotal <100 ha</i>	43.493	15,1	27.034	96.726	13,6	
1 a 4	74	0,0	49	163	0,0	41
5 a 9	620	0,2	391	1.176	0,2	81
10 a 19	2.434	0,8	1.484	4.586	0,6	130
20 a 49	14.172	4,9	8.467	28.798	4,1	232
50 a 99	26.193	9,1	16.643	62.004	8,7	506
<i>Subtotal 100 a 999 ha</i>	170.591	59,3	103.037	427.335	60,2	
100 a 199	42.523	14,8	26.060	105.052	14,8	972
200 a 499	67.821	23,6	40.397	161.019	22,7	1.815
500 a 999	60.247	20,9	36.580	161.265	22,7	4.248
<i>Subtotal 1000 y + ha</i>	73.736	25,6	45.432	186.034	26,2	
1000 a 2499	45.389	15,8	28.756	121.818	17,2	8.783
2500 y más	28.347	9,8	16.676	64.216	9,0	21.992

Fuente: Elaboración propia en base a datos DIEA-MGAP, Censo Agropecuario 2011

¹ Promedio en el tramo

Al presentar el stock animal en la zona se hizo referencia a la importancia del stock de ganado lechero que representa poco menos del 40% del stock de todo el país, la producción de leche en el año censal también es del orden del 40% del total. En el cuadro II.13 se refleja nuevamente la importancia de los establecimientos de más de 100 y menos de 1.000 hectáreas, tanto al considerar el ganado lechero¹³ que mantienen como la producción anual de leche.

En general, la tipificación de productores como familiares, medios o grandes, toma como punto de partida la proporción de mano de obra no remunerada (familiar) dentro del establecimiento. A partir de este dato y buscando una variable de corte vinculada, se construyen los tipos. Según la caracterización de Tommasino y Bruno (2005), que usa la superficie de la explotación, las explotaciones lecheras familiares en el año 2000 eran aquellas de hasta 150 hectáreas, tenían una producción diaria promedio algo superior a los 200 litros, representaban las tres cuartas partes de los productores y proveían un cuarto de la leche producida en total.

Una primera comprobación gruesa que teníamos es que en el caso de la lechería en la zona de la Cuenca, el 70% del personal es remunerado. A partir de la información presentada en los cuadros II.11 a II.13 se pueden apreciar algunas otras características diferenciales para la producción lechera de la Cuenca en 2011. Si tomamos la cantidad de productores hasta 100 ha., tenemos poco más de la mitad y para tener el 75% deberíamos tomar el tramo inmediato

¹³ A partir de los datos se puede comprobar que la estructura por tamaño de las vacas masa (ordeñe + secas) es prácticamente idéntica a la del ganado lechero en general.

superior (hasta 200 ha.). Si en cambio tomamos –siempre para acercarnos al criterio de Tommasino y Bruno (2005)- aquellas explotaciones cuya producción promedio está en el entorno de los 200 litros diarios y menos, se puede ver que están ubicadas en los tramos inferiores a 50 hectáreas y son poco más del 30% (ver cuadro II.11). Es decir que hay explotaciones de tamaño inferior a 200¹⁴ hectáreas que producen una mayor cantidad de litros.

Para cerrar la idea, solo considerando la estructura por intervalos de volumen de producción (cuadro II.12) ya se comprueba que el fenómeno que se registra a nivel nacional se repite a nivel de la cuenca: los establecimientos de menor tamaño pierden peso. Los establecimientos que producían en el año 2000 menos de 250 mil litros eran responsables del 26% de la producción a nivel nacional y en 2011 dan cuenta de algo menos del 15%. Estos establecimientos pasan de 20% a 12% en la Cuenca.

¹⁴ No contamos con el dato hasta 150 hectáreas para seguir el corte de Tommasino y Bruno (2005).

III. Medidas propuestas por MVOTMA

En mayo 2013, ante los problemas de contaminación emergente que presentaba la cuenca, el Ministerio de Vivienda Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente (MVOTMA) propuso un plan de acción (Plan de acción para la protección de la calidad ambiental y la disponibilidad de las fuentes de agua potable en la cuenca hidrográfica del Río Santa Lucía) con el objetivo de garantizar la calidad y cantidad de agua y ordenar el uso de dicho recurso.

De acuerdo a lo que indica la presentación del Plan, el objetivo de este plan de acción es:

“formular y ejecutar las acciones para controlar, detener y revertir el proceso de deterioro de la calidad del agua en la cuenca hidrográfica de la cuenca del Río Santa Lucía y asegurar su calidad y cantidad para el uso sustentable para el abastecimiento de agua potable” (MVOTMA, 2013).

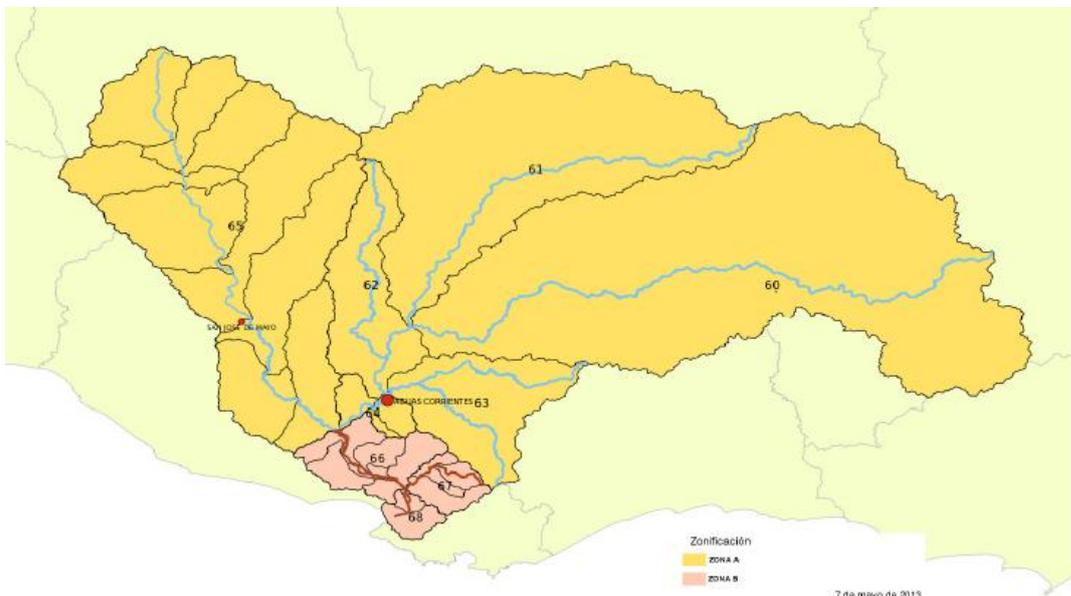
Dicho plan de acción que comprende 11 medidas centrales y otras 5 complementarias, que se exponen más adelante, fue elaborado con amplia participación de las instituciones clave en la materia.

A los efectos de la instrumentación de las medidas, se definen dos zonas diferenciadas (que se representan en la Figura III.1), con objetivos y regulaciones específicas:

Zona A. En esta zona el objetivo es conservar el uso preponderante “Fuente de Agua Potable”. Comprende al Río Santa Lucía aguas arriba de la confluencia con el Río San José, Santa Lucía Chico, Arroyo de la Virgen, Río San José, Arroyo Canelón Grande y Arroyo Canelón Chico.

Zona B. En esta zona el objetivo definido es la conservación de la flora y fauna hídrica. Comprende el Río de Santa Lucía desde la confluencia del Río San José hasta su desembocadura en el Río de la Plata.

Figura III.1. Zonas de aplicación del Plan de Acción sobre la cuenca del Río Santa Lucía



Fuente: Tomado de MVOTMA (2013).

En lo que sigue se detallan las 11 medidas incluidas en el Plan¹⁵:

- 1- Implementar un Programa Sectorial de mejora del cumplimiento ambiental de vertimientos de origen industrial en toda la cuenca hidrográfica del Río Santa Lucía y exigir reducción del nivel de DBO, Nitrógeno y Fósforo.

Esta medida se aplica en toda la cuenca (en ambas zonas) y los plazos estipulados dependen del tipo de industrias categorizadas según el aporte de nutrientes y de materia orgánica (en Prioridad 1 y Prioridad 2). El Plan detalla la rama de la industria, las respectivas cargas, su ubicación en la cuenca y su categorización.

- 2- Implementación de un Programa Sectorial de mejora del cumplimiento ambiental de vertimientos de origen doméstico (saneamiento) en toda la cuenca hidrográfica del Río Santa Lucía y exigir la reducción del nivel de Nitrógeno y Fósforo. Priorizando las ciudades de Fray Marcos, San Ramón y Santa Lucía.

¹⁵ En aquellas medidas donde no se especifica el responsable de la aplicación es el MVOTMA.

Esta medida afecta a toda la cuenca (ambas zonas) y el plazo máximo de implementación es diciembre de 2015. El Plan identifica las localidades y los emprendimientos asociados, así como la población atendida.

- 3- Declarar como zona (A) prioritaria sensible a la cuenca hidrográfica declarada como **ZONA A** (Río Santa Lucía, aguas arriba de la confluencia con el Río San José; Santa Lucía Chico; Arroyo de La Virgen; Río San José; Arroyo Canelón Grande y Arroyo Canelón Chico) y exigir en forma obligatoria a todos los padrones rurales ubicados en dicha cuenca, el control de la aplicación de nutrientes y plaguicidas mediante la presentación en el área de los Planes de Uso, Manejo y Conservación de Suelos (Decreto 405/008 del MGAP). Se exigirá fertilizar en base a análisis de suelos para alcanzar y mantener la concentración de fósforo (debajo de 31ppm de fósforo Bray1).

La aplicación de esta medida será responsabilidad tanto de MVOTMA como del MGAP.

- 4- Suspender en la cuenca hidrográfica declarada **ZONA A**, la instalación de nuevos emprendimientos de engorde de ganado a corral (*feed lots*) u otras prácticas de encierro permanente de ganado en corral a cielo abierto. La suspensión operará hasta que se dicte la nueva reglamentación que regularice la actividad e incluirá también la ampliación de los emprendimientos existentes.

La aplicación de esta medida será responsabilidad tanto de MVOTMA como del MGAP.

- 5- Exigir el tratamiento y manejo obligatorio de efluentes a todos los tambos ubicados en la cuenca. Los plazos son diferenciales según su tamaño (más de 500 vacunos o menos).
- 6- Implementar la solución definitiva al manejo y disposición de lodos de la planta de tratamiento de agua potable de Aguas Corrientes.

La aplicación de esta medida será responsabilidad tanto de OSE como de MVOTMA.

- 7- Restringir el acceso directo del ganado a abreviar en los cursos de la cuenca declarada **ZONA A**. Construir un **perímetro de restricción** en el entorno de los embalses de Paso Severino, Canelón Grande y San Francisco.

La aplicación de esta medida será responsabilidad tanto de MVOTMA como de OSE, MGAP y MTOP.

- 8- Instaurar una **zona de amortiguación o buffer** en la cuenca declarada **ZONA A** sin laboreo de tierra y uso de agroquímicos. El propósito es la conservación y

restitución del monte ribereño como forma de restablecer la condición hidromorfológica del río, con franjas variables según su importancia.

La franja definida¹⁶ es de:

- 40 metros a ambas márgenes de los cursos principales (río Santa Lucía y río San José),
- 20 metros en los afluentes de primer orden (ej. Arroyo Canelón Grande),
- 100 metros en torno a los embalses.

9- Intimar a la solicitud de permisos para las extracciones de agua existentes (superficiales y subterráneas) que carezcan de los mismos, en un plazo máximo de 6 meses. Esta medida es de aplicación en la zona de la cuenca declarada **ZONA A**.

10- Declarar "reserva de agua potable" a la Cuenca hidrológica del Arroyo Casupá.

11- Recabar opinión en el ámbito de la Comisión de Cuenca del Río Santa Lucía respecto a las medidas que conforman este Plan, asegurando la participación efectiva de los distintos actores que la conforman.

Se plantea además un conjunto de medidas adicionales a las anteriores que involucra no sólo al MVOTMA si no que varias de ellas requieren de acciones coordinadas entre OSE, UdelaR, OPP e intendencias departamentales. Las medidas complementarias son:

- i) en el marco del Plan Agua, potenciar el Programa de Monitoreo y Evaluación de la calidad y cantidad de agua (con la participación de OSE, MVOTMA y UdelaR) con énfasis en carga de nutrientes y carga orgánica;
- ii) actualización del relevamiento y determinación de fuentes de contaminación puntuales y fuentes difusas en toda la cuenca;
- iii) propiciar en toda la cuenca la limitación a la aplicación de fitosanitarios mediante vuelo aéreo;
- iv) solicitar y coordinar con OSE la priorización de la cuenca del río Santa Lucía en la definición de obras de saneamiento;
- v) coordinar la prioridad de las inversiones (entre el MVOTMA, las intendencias departamentales y la OPP) para la disposición ambientalmente segura de los residuos sólidos domésticos en la cuenca.

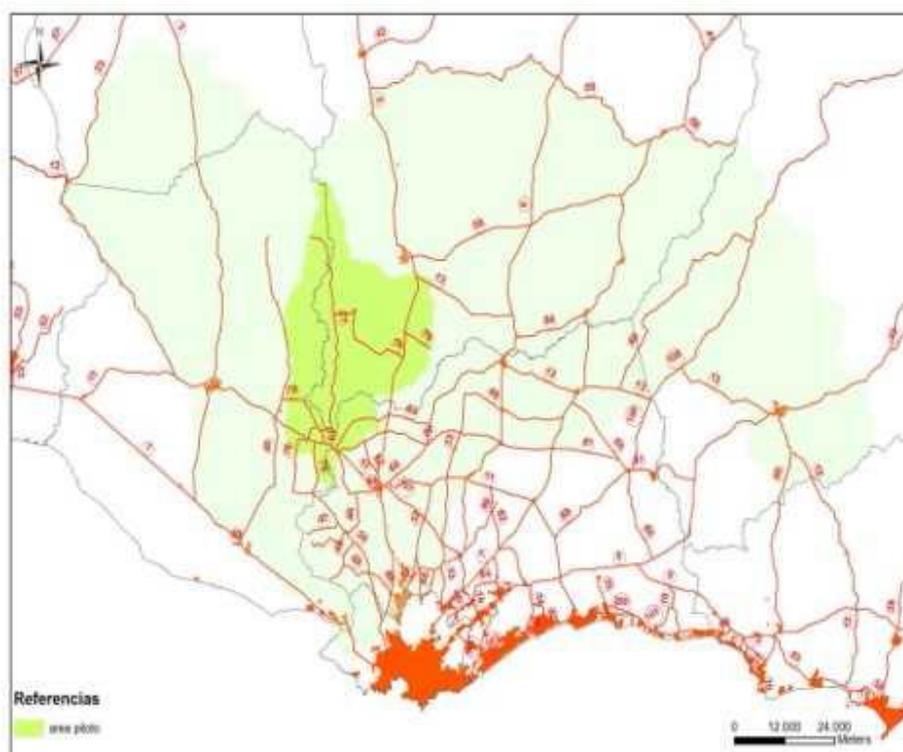
Por su parte, y en consonancia con la medida No 3 del Plan de acción, el MGAP comenzó a implementar la exigencia de presentación de Planes de Uso. Desde 2013 esta exigencia rige

¹⁶ De acuerdo a lo informado por Luis Reolón, de DINAMA, las distancias se han tomado de otras experiencias, Brasil, España.

para los sistemas agrícolas cerealeros y oleaginosos y recientemente, en 2014, comenzó una etapa piloto para los Sistemas Lecheros.

Como es conocido, la ley Nº 15.239 y sus decretos reglamentarios, establecieron que el MGAP exija a los productores agropecuarios la presentación de un Plan de Uso y Manejo Responsable del suelo. Estos planes comprenden a los suelos del predio, las prácticas de manejo, la secuencia de cultivos y la erosión tolerable. El objetivo es prevenir la erosión hídrica de los suelos, uno de los problemas ambientales más importantes asociados a la producción agropecuaria. En setiembre de 2010 comenzó una etapa piloto en predios con sistemas agrícolas cerealeros y oleaginosos y en abril de 2013 se inició la fase obligatoria. En 2014 se incorpora a los sistemas lecheros, por la importancia en área que ocupa la agricultura forrajera, en una primera fase piloto en un área dentro de la Cuenca del Río Santa Lucía con alta incidencia en el embalse de Paso Severino. De acuerdo a MGAP-RENARE, este plan piloto afecta a 21 % de los productores dentro de la Cuenca (307 productores lecheros), con una superficie total de 70.255 ha.

Figura III.2. Zona de aplicación del Plan Piloto de Presentación de Planes de Uso de Suelo para Sistemas Lecheros en la Cuenca del Río Santa Lucía



Fuente: tomado de MGAP-RENARE.

En el presente estudio se trabajará en particular sobre la base de las medidas 3 y 8, tomando en cuenta, a su vez, las acciones ya implementadas por el MGAP (antes comentadas) para la producción lechera. En lo que refiere a la Medida 3, este trabajo se propone analizar la aplicación de un instrumento fiscal que desincentive el uso de nutrientes; más precisamente el

exceso de aplicación de fertilizantes fosfatados para la producción agrícola, y concomitantemente, sea incentivo al uso de otros insumos y técnicas menos perjudiciales. Esta medida debería ir acompañada de la promoción de las buenas prácticas de manejo agrícola. En principio el ejercicio se focalizará en los predios de producción lechera.

Respecto de la Medida 8, en este estudio se analizará la posibilidad de implementar programas de pago por servicios ambientales para los predios que salen de la producción agropecuaria a cambio del pago de una renta fija por ha (como los que existen en otros países como por ej. *Conservation Reserve Program* de EE.UU).

IV. Instrumentos fiscales para incentivar el cumplimiento de la Medida 3

La medida 3 de DINAMA establece: *“Declarar como zona (A) prioritaria sensible a la cuenca hidrográfica declarada como ZONA A (Río Santa Lucía, aguas arriba de la confluencia con el Río San José; Santa Lucía Chico; Arroyo de La Virgen; Río San José; Arroyo Canelón Grande y Arroyo Canelón Chico) y exigir en forma obligatoria a todos los padrones rurales ubicados en dicha cuenca, el control de la aplicación de nutrientes y plaguicidas mediante la presentación en el área de los Planes de Uso, Manejo y Conservación de Suelos (Decreto 405/008 del MGAP). Se exigirá fertilizar en base a análisis de suelos para alcanzar y mantener la concentración de fósforo (debajo de 31ppm de fósforo Bray1).”*

El fósforo se utiliza en la producción agrícola para contribuir a un mayor rendimiento por hectárea y calidad de los cultivos. Sin embargo, en función del P aplicado y dependiendo del nivel de P lábil en el suelo (por ejemplo P Bray1) medido en partes por millón (ppm), una fracción de P es exportado del predio hacia fuera del sistema. Como se mencionara, dichas exportaciones se dan principalmente como partículas adheridas al suelo que se pierde por erosión o en formas solubles en el agua que escurre desde el predio (Mallarino et al., 2002, Ward Good et al., 2010).

Sobre la base de los avances en la caracterización de la cuenca en este punto se analizan algunas propuestas de medidas fiscales evaluando su efectividad en términos de la reducción inducida en la exportación de P. Se presenta en primer lugar una estimación de las exportaciones de fósforo de acuerdo a determinadas rotaciones de cultivo-pastura utilizadas en la lechería de la zona. En segundo lugar, y en el entendido que el objetivo de la medida 3 es la disminución de los aportes de P a las aguas, se plantean algunas opciones de instrumentos que tienden a reducir dichas exportaciones.

Estimaciones de pérdidas por erosión y exportaciones de P

Se presentan aquí estimaciones de erosión y de exportación de fósforo (P) en la Cuenca del Río Santa Lucía, realizadas a nivel de la Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay (1:1 M).

La exportación de P ($\text{Kg de P}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$) con los sedimentos y el agua de escurrimiento fue estimada de la siguiente forma:

$$P_{\text{exportado}} = \text{Pérdida de suelo} * \text{Concentración de } P \text{ en el Suelo} \\ * \text{Razón de enriquecimiento} + P_{\text{disuelto}}$$

La pérdida de suelo fue estimada empleando la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (USLE) la cual tiene la siguiente forma:

$$A = R \times K \times LS \times P \times C$$

en donde

A es la pérdida de suelo por unidad de superficie por año ($\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$);

R es el factor erosividad anual de la lluvia ($\text{MJ} \cdot \text{mm} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$);

K es el factor erodabilidad del suelo ($\text{Mg} \cdot \text{h} \cdot \text{MJ}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$);

L es el factor longitud de pendiente;

S es el factor inclinación de la pendiente;

C es el factor uso y manejo; y

P es el factor prácticas de manejo.

Los factores L , S , C , y P son adimensionales y representan una fracción de la condición estándar.

El factor erosividad de la lluvia empleado fue de $5000 \text{ MJ} \cdot \text{mm} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$. Este valor surge de interpolar entre los valores de erosividad de Montevideo ($3820 \text{ MJ} \cdot \text{mm} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$) y Durazno ($6830 \text{ MJ} \cdot \text{mm} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$), tomados del programa EROSION 6.0 (García Préchac et al., 2007).

El factor erodabilidad del suelo fue asignado a cada unidad de la Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay siguiendo los valores propuestos por Puentes (1983). Los factores L y S fueron estimados a partir de las ecuaciones propuestas por Renard et al (1997). Estas ecuaciones fueron implementadas en un Sistema de Información Geográfica para lo cual se empleó el Modelo Digital del Terreno disponible en: <http://www.cebra.com.uy/renare/mapa/modelo-digital-de-terreno/>

El factor C representa el manejo agronómico, por ejemplo rotación de cultivos, fecha de siembra y cosecha, manejo de la cobertura de residuos de cosecha, etc. A los efectos de identificar los manejos de suelos en las simulaciones se consultó a los técnicos de la Dirección de Recursos Naturales del MGAP que se encuentran participando en el Plan Piloto de implementación de Planes de Uso y Manejo de Suelos en Sistemas Lecheros junto con técnicos asesores privados. De esta consulta surgieron cuatro rotaciones de cultivos-pasturas a considerar (Cuadro IV.1). La estimación del factor C fue realizada empleando el programa EROSION 6.0. Adicionalmente se consideró un escenario de campo natural para toda la Cuenca del Rio Santa Lucía. El factor C considerado para la condición de campo natural es 0.02.

Cuadro IV.1 Rotación de cultivos-pasturas y valores de Factor C empleados en rotaciones de sistemas lecheros

Destino		Años de		Factor C
Cultivo de Verano	Cultivo de Invierno	Pastura	Rotación	
Silo Grano Húmedo	Pastoreo	3	4	0.101
Silo de Planta Entera	Pastoreo	3	4	0.161
Silo Grano Húmedo	Grano	3	4	0.064
Silo de Planta Entera	Grano	3	4	0.124

Fuente: Elaboración propia a partir de información suministrada por técnicos de RENARE- MGAP.

En cuanto a la razón o factor de enriquecimiento, el mismo mide la relación entre concentración de fosforo en el sedimento y concentración de fosforo en el suelo in situ. El proceso de erosión es un proceso selectivo, en el sentido que las partículas de suelo más pequeñas (fracción arcilla) son las que son transportadas más lejos. Estas partículas de arcilla tienen mayor concentración de nutrientes agroquímicos, por ejemplo, que el suelo que les dio origen. Es decir que el sedimento erosionado está enriquecido en el nutriente, agroquímico en cuestión (P en este caso). El valor de factor de enriquecimiento empleado fue 1.3 (Menzel 1980, Sharpley et al., 2002).

Respecto a la concentración de P en el suelo, a partir de Hernández y Zamalvide (1998) se toma un valor de fósforo total en el suelo de 500 ppm. Este valor se asocia al contenido de los suelos naturales (campo natural) en el país y se considera un valor de mínima dado que la concentración de este nutriente aumenta en el suelo con la historia de fertilización.

La concentración de P disuelto que se mueve con el agua de escurrimiento se estima, según estudios de Barreto, Ernst y Perdomo (2014) y Piñeiro y Perdomo (2014), en 0.75 y 0.25 kg de

P/100 m de escurrimiento para la condición de uso agrícola-forrajero y campo natural, respectivamente. La fertilización con fósforo en la condición de uso agrícola-forrajero se asume que es sobre la superficie del suelo.

Las simulaciones fueron implementadas en el software QGIS 2.4 (<http://qgis.org/es/site/>)

El cuadro IV.2 muestra las estimaciones de pérdida de suelos por erosión para las cuatro rotaciones de cultivos-pastura consideradas en el cuadro IV.1 y distintas unidades de la Carta de Reconocimiento del Suelos del Uruguay (1:1M) presentes en la Cuenca del Rio Santa Lucia.

Cuadro IV.2 Erosión estimada para las distintas rotaciones en diferentes suelos

ton/ha/año

Localización Unidad (1:1M)	Tipo de Rotación – Factor C			
	0,064	0,101	0,124	0,161
Isla Mala	3,8 - 4,0	5,9 - 6,3	7,2 - 7,7	9,4 - 10,0
Kiyu	2,4	3,8	4,7	6,1
La Carolina	2,8 - 3,6	4.4 - 5.8	5.4 - 7.1	7,0 - 9,2
San Ramón	2,5	4	4,9	6,3
Tala-Rodriguez	2,4 - 3,6	3,8 - 5,7	4,6 - 6,9	6,0 - 9,0

Fuente: Elaboración propia.

Las figuras IV.1 a IV.5 muestran las estimaciones de P exportado para todos los escenarios ensayados.

La figura IV.1 muestra el caso hipotético en el que toda la cuenca se encontrara bajo uso de campo natural, caso en el cual los valores más altos de P estimado se observan hacia las nacientes del Rio Santa Lucia. Esto se debe al efecto que tiene en la estimación de la erosión la pendiente del terreno: si aumenta la pendiente aumenta la erosión en forma no lineal (USLE emplea la función seno a los efectos de estimar el efecto de la pendiente del terreno sobre la erosión estimada). Sin embargo, de la inspección visual de la figura IV.1 surge que es un área de poca significancia. Las figuras IV.2 y IV.3 muestran el efecto de realizar el silo del cultivo de verano como grano húmedo (figura IV.2) o como planta entera (figura IV.3) sobre la estimación de P exportado, cuando el cultivo de invierno es destinado al pastoreo. Por otra parte las figuras IV.4 y IV.5 muestran el efecto de emplear el cultivo de verano como silo de grano húmedo (figura IV.4) o planta entera (figura IV.5) cuando el cultivo de invierno se destina a grano.

El cuadro IV.3 sintetiza las estimaciones de P exportado para los cuatro escenarios indicados en el cuadro IV.1. y presentados en forma de mapas desde la figura IV.2 a IV.5. El análisis se realizó para cada una de la subcuencas presentadas en la Figura III.1. El escenario de mayor exportación promedio de P es aquel en el que el cultivo de invierno se destina al pastoreo y el cultivo de verano se emplea como silo de planta entera, debido a que este sistema presenta las mayores pérdidas de suelo por erosión. Situaciones intermedias ocupan los escenarios en

los cuales se realiza silo de grano húmedo – cultivo de invierno para pastoreo, o silo de planta entera –cultivo de invierno para grano.

En síntesis la reducción de la erosión hídrica implica reducir la exportación de P adsorbido a las partículas de suelo. Por otra parte la magnitud del valor de exportación de P para usos contrastante se encuentran en el rango de valores publicado en la literatura especializada internacional (Drewry et al. 2006; Marston et al 1996).

Figura IV.1 Fósforo exportado (en sedimentos y disuelto) considerando campo natural en toda la cuenca

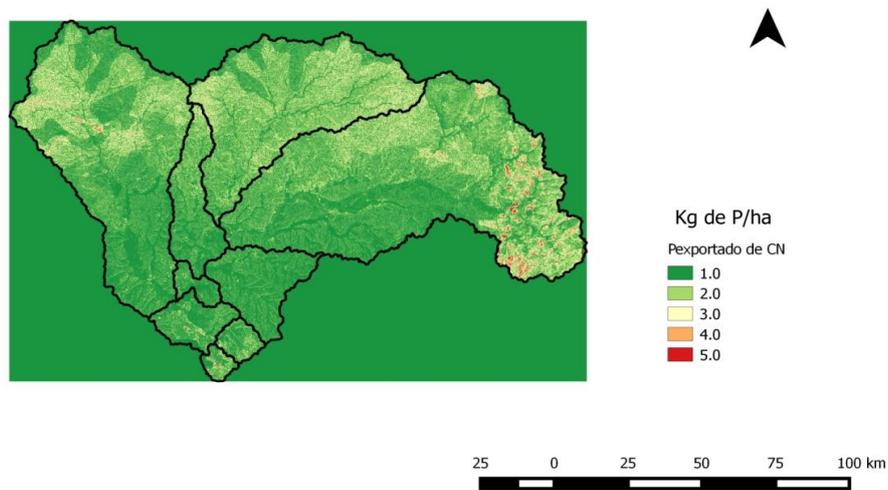


Figura IV.2 Fósforo exportado (en sedimentos y disuelto) considerando en los suelos de aptitud agrícola un factor C=0.101

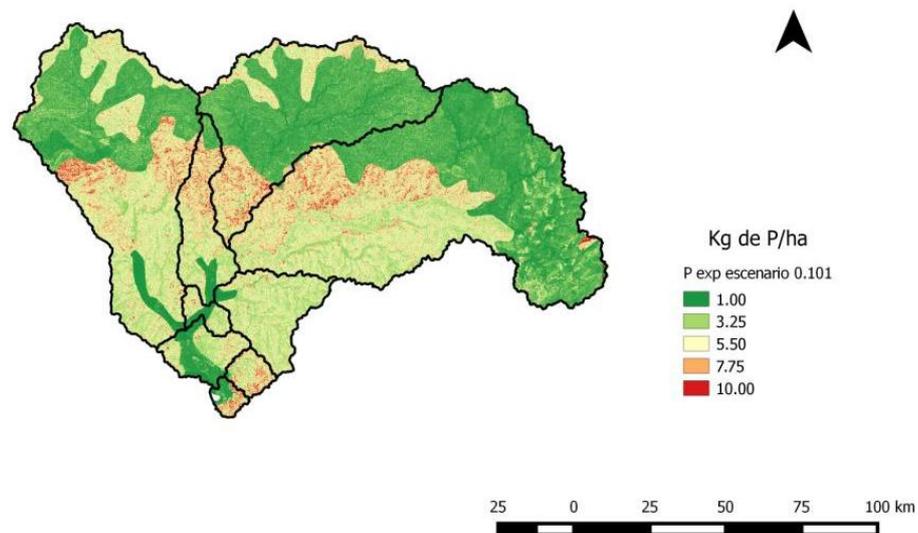


Figura IV.3 Fósforo exportado (en sedimentos y disuelto) considerando en los suelos de aptitud agrícola un factor $C=0.161$

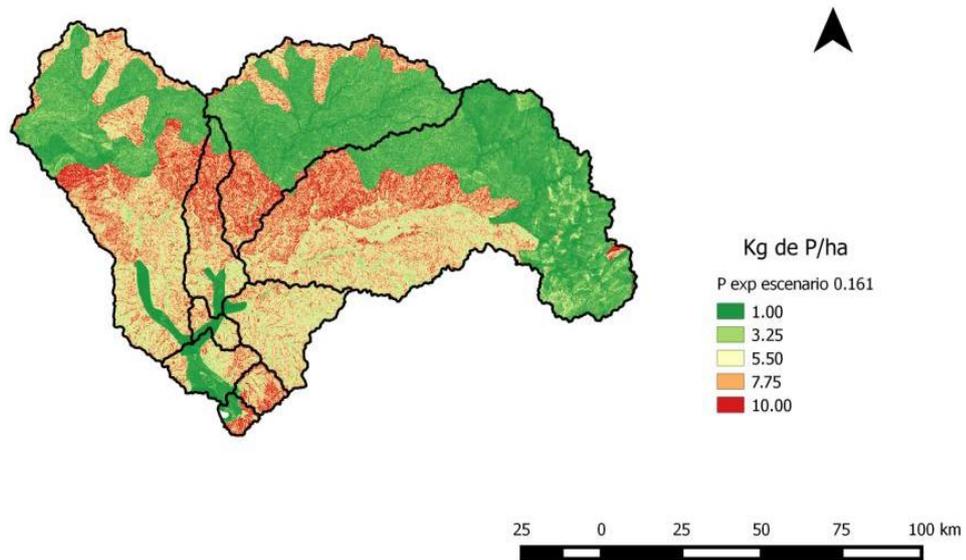


Figura IV.4 Fósforo exportado (en sedimentos y disuelto) considerando en los suelos de aptitud agrícola un factor $C=0.064$

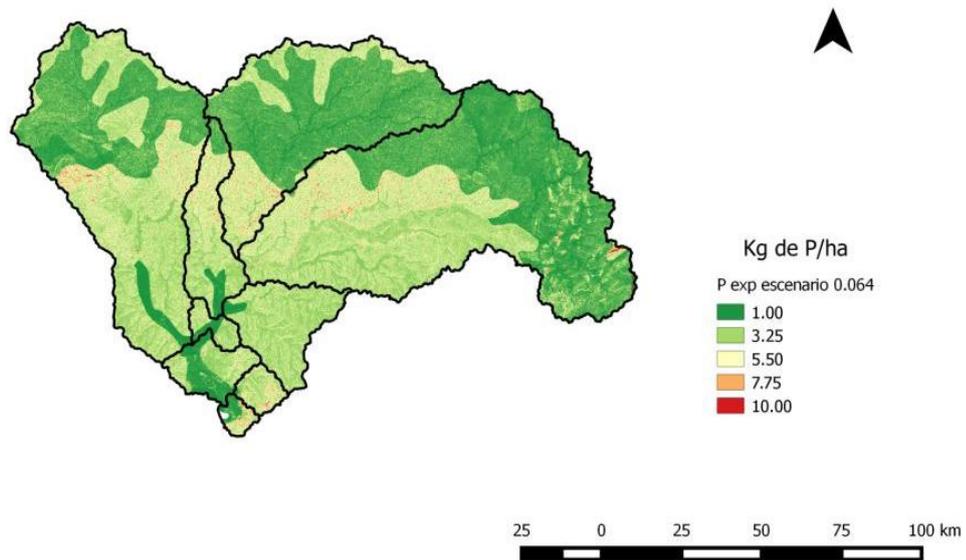
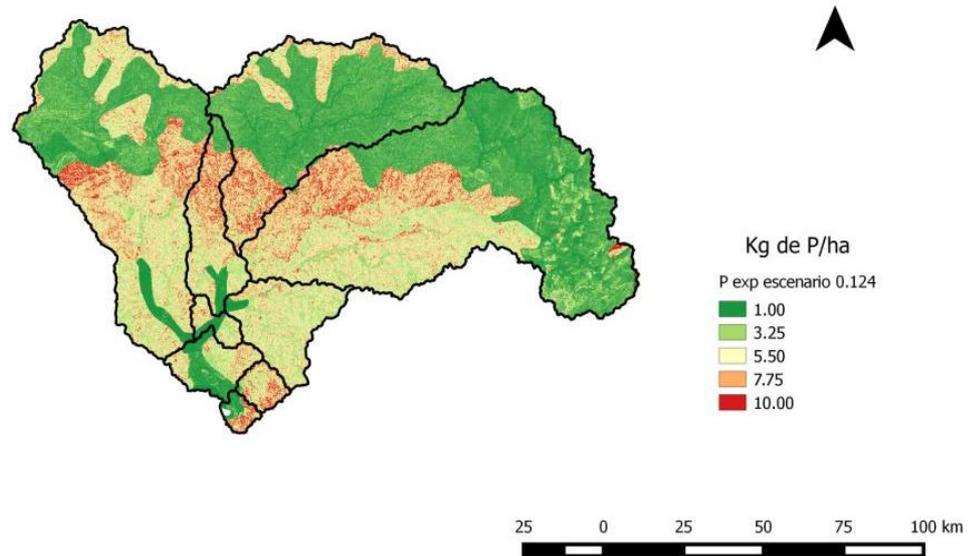


Figura IV.5 Fósforo exportado (en sedimentos y disuelto) considerando en los suelos de aptitud agrícola un factor C=0.124



Como se mencionara, el cuadro IV.3 sintetiza las estimaciones de P exportado para los cuatro escenarios indicados en el cuadro IV.1.

Cuadro IV.3 Fósforo exportado para las distintas rotaciones de sistemas lecheros

P Exportado	kg de P/ha			
	0,064	0,101	0,124	0,161
Promedio	4,2	5,4	3,4	4,7
Max	5,6	7,6	4,4	6,4
Min	3,2	3,9	2,7	3,4

Fuente: estimaciones propias.

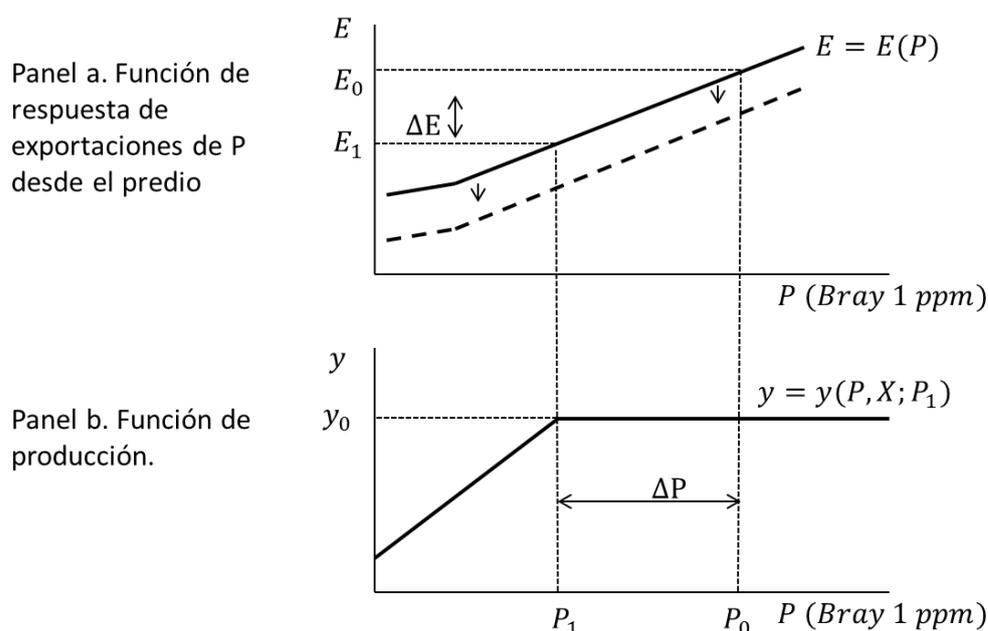
La disminución del fósforo exportado por efecto de reducir la erosión (pasar de un factor C mayor a uno menor) es de menor proporción que la reducción de la erosión debido a que las pérdidas de P disuelto son constantes e independientes de las pérdidas de P adsorbido con los sedimentos.

Hacia el diseño de instrumentos fiscales para la reducción de exportaciones de P

La finalidad de las medidas que se proponen es que incentiven la reducción de exportación de fósforo (P) de explotaciones agropecuarias a fuentes fluviales. Los escenarios creados en el punto anterior permiten establecer las exportaciones de P en función de diversas características de los suelos y de las prácticas de manejo, en especial, de las rotaciones de cultivos empleadas.

En la figura IV.6 se presenta la función de respuesta del rendimiento y las exportaciones de P de acuerdo al contenido de P en el suelo. El panel (a) de la figura muestra que las exportaciones de P en kg por ha por año cambian a medida que el contenido de P en el suelo aumenta, dejando constante los restantes factores que afectan las exportaciones de P. Estos factores son relevantes para el análisis y entre ellos destacamos, el nivel de ingreso de P al sistema mediante fertilización o reciclaje¹⁷ de P, las prácticas de manejo agrícola en el predio (por ejemplo rotación de cultivos y formas de aplicación), y los factores climáticos. En este sentido, cambios en estos factores trasladan la curva hacia arriba o hacia abajo, implicando mayores o menores exportaciones de P para las mismas ppm de P en el suelo.

Figura IV.6 Funciones de respuesta del rendimiento (Kg/ha) y las cantidades exportadas de P en función del contenido de fósforo (P Bray1) en el suelo



¹⁷ El reciclaje de P suele referirse a la proporción del nutriente que vuelven al suelo a través de por ejemplo eses durante el pastoreo en el predio. Pasturas que son pastoreadas se espera tengan un alto porcentaje de reciclaje del P aplicado como fertilizante.

Por lo tanto, reducciones en las exportaciones de P pueden darse a partir de reducir el nivel de P lábil en ppm en el suelo (movimientos a lo largo de la curva) o aplicar ciertas prácticas de manejo agrícola que provocan menos exportaciones de P (movimientos o traslado de la curva).

Un aspecto clave de este proceso es lo que ocurre con los rendimientos de los cultivos implantados en el predio y particularmente cómo es su respuesta al contenido de P en el suelo. Existe evidencia suficiente en la literatura acerca de que la función de respuesta de los rendimientos de cultivos al P se caracterizan por ser de tipo *linear-plateau*, esto es, que el rendimiento crece linealmente con el contenido de P en el suelo, pero a partir de un cierto nivel los rendimientos ya no responden (Dodd y Mallarino, 2005; Mallarino et al., 2009). Esta situación se grafica en el panel b de la figura IV.1. En general, no existe respuesta al agregado de P por encima de 25 ppm, aunque esto varía según los cultivos de que se trate.

Las funciones *linear-plateau* tienen la ventaja de depender de pocos parámetros lo que facilita su calibración. Para cada cultivo la ordenada en el origen (rendimientos cuando $P=0$) y el contenido de P en el suelo a partir del cual los rendimientos se vuelven constantes (P_1) son diferentes. En anexo se presentan estas curvas calibradas para el caso de los cultivos de maíz y sorgo (tanto en silo de grano húmedo como silo de planta entera), trébol blanco, y avena forrajera.

Existe una importante incertidumbre respecto a los valores reales del contenido de P en el suelo. Por un lado, algunos relevamientos que existen no están suficientemente difundidos y accesibles públicamente.

Estudios previos habían encontrado niveles elevados de PBray1 en suelos lecheros. En el área de Young, se reportaron promedios de 20 ppm y máximos de 65 ppm, mientras que en la zona de Libertad, Villa Rodríguez, Tararías, San José y San Ramón los promedios fueron de 30 y los máximos de 99 (Moron y Baethgen, 1996). Esta última zona está en su mayor parte dentro de la cuenca de interés.

Por otro lado, relevamientos realizados no publicados (Perdomo, C. *com. pers.*) indican que no serían infrecuentes las situaciones con valores por encima de los límites establecidos por la normativa de DINAMA. En un relevamiento de 10 padrones bajo producción lechera con pastura convencional de la zona de Paso Severino de 2010 se encontró que los valores de P Bray 1 (ppm) en la capa de 0-7 cm del suelo variaron entre 7 y 104 ppm, con un promedio de 36 ppm. El 50% de estos padrones tenían valores inferiores a 31 ppm, el 40% se encontraba entre 31 y 61 ppm, mientras que el 10% restante tenía valores superiores a 61 ppm. En otros 10 padrones bajo "Campo Natural", el rango encontrado fue de 3 a 44 ppm de P Bray 1, con un promedio de 14 ppm, lo cual indica que algunos de estos padrones habían sido fertilizados con P en el pasado, ya que es poco probable que campos no fertilizados superen las 12 ppm.

Otros registros, como los planteados por Morón (2010) para un relevamiento de 165 potreros pertenecientes a 86 productores lecheros en Colonia, San José, y Florida, arrojan resultados

diferentes. El 40% de los potreros en producción no alcanzan el valor de P Bray1 de aproximadamente 10 ppm (10 mg P/kg) en los primeros 15 centímetros del suelo, y solo cerca del 20 % de los potreros en producción supera el valor de fósforo disponible de 20 ppm (20 mg P/kg) a 15 cm de profundidad.

La incertidumbre sobre estos valores se ve incrementada por el hecho de que algunas mediciones existentes fueron realizadas utilizando técnicas que, si bien son apropiadas para fines productivos por ejemplo, no necesariamente son las más adecuadas para los fines ambientales. El muestreo a 15 cm es válido para la producción agrícola ya que mide el P a una profundidad alcanzable por las raíces, pero es de esperar que el nivel de P sea menor a esa profundidad del suelo.

Desde el punto de vista ambiental, las capas menos profundas del suelo son las que más influyen en las exportaciones de P al tiempo que son las que potencialmente tienen un contenido mayor. En otras palabras, el muestreo utilizado en el trabajo de Moron (2010), podría haber arrojado niveles de P mayores, de haberse hecho a 7,5 cm. A su vez, esos datos agregados para los 3 departamentos no reflejan lo que sucede en ellos individualmente ya que Colonia se caracteriza por niveles de P menores que San José y Florida, departamentos donde se encuentra parte de la cuenca del Río Santa Lucía.

En la figura anterior se puede apreciar que los incentivos tendientes a reducir las exportaciones de P desde el predio (ya sea bajando el contenido de P del suelo o aplicando prácticas de manejo que muevan al productor a una curva más abajo) son de tipo ganar-ganar (*win-win*) ya que implican un beneficio ambiental a la vez que los productores no ven afectada su productividad e incluso pueden mejorar su eficiencia con la consecuente reducción de costos.

Así, una medida “natural” sería generar mecanismos para que los productores reduzcan sus niveles de P a través de por ejemplo detener las aplicaciones de P o utilizar sistemas productivos que extraigan más P del suelo, o reciclen menos P. El problema es que las alternativas disponibles en esta línea tardan demasiado tiempo o implican cambios radicales en los sistemas de producción.

Por ejemplo, estudios realizados en Wisconsin (EEUU) muestran que en rotaciones de alto rendimiento de maíz para silo y heno de alfalfa, con altas tasas de extracción de P, se podrían esperar reducciones del análisis de suelo (P Bray1) de 3 a 5 ppm por año, si concomitantemente se detienen las adiciones de fertilizante (Ward Good, 2012). Esto implicaría que se requieren aproximadamente 20 años para bajar el nivel de P disponible de 100 a 30 ppm. Esta rotación de alta extracción de P planteada para Wisconsin implica además la ausencia de pastoreo directo, lo cual evita la alta introducción de P al sistema que se produce con la deposición de estiércol (comúnmente llamado reciclaje de P), ya que estos suelos se destinan exclusivamente a la producción de heno y silo.

En Uruguay, sin embargo, los cultivos de esta rotación tienen una productividad por hectárea menor, por lo cual el tiempo de descenso del nivel de P sería mayor ya que el nivel de extracción de P por año sería aún menor. Además, esta rotación en particular podría resultar de difícil implementación, porque en muchas zonas de la Cuenca del Río Santa Lucía no resulta posible implantar cultivos rentables de alfalfa por limitaciones de pH ácido y/o bajo drenaje de los suelos. También es posible que estas rotaciones lleven, en algunas situaciones, a tasas de erosión por encima la máxima pérdida de suelo tolerable de 7 Ton/ha adoptado por MGAP-RENARE.

Un aspecto relacionado a la reducción de P en el suelo que debe ser tenido en cuenta, es el efecto en la calidad de los cultivos, en cuanto a que provoca una disminución del contenido de P en la planta (que luego es utilizada como forraje) y se traduce en una potencial deficiencia de P en los animales que luego afecta negativamente la cantidad de carne y leche producida.¹⁸ Sin embargo hay que realizar tres precisiones. La primera es que la evidencia en este sentido no es concluyente, especialmente en producción lechera (Karn, 2001) y más investigación es requerida para las condiciones de Uruguay. La segunda es que la deficiencia de P en el forraje puede ser compensada mediante la administración de P al animal en sus dietas (Coates, 1994), tanto a través de suplementación, como en el agua, o a través de inyectables.¹⁹ La tercera es que las deficiencias de P se producen para niveles de P en el suelo relativamente bajos y la deficiencia comienza a desaparecer cuando el nivel de P en el suelo es más alto (Mac Ivor et al., 2011 y Coates, 1994). Por tanto, el problema no es generalizado sino que se plantea para aquella fracción de padrones que revisten la característica de tener altos contenidos de P en el suelo.

El enunciado de la medida 3, sobre I final, menciona “alcanzar y mantener” una concentración de fósforo Bray1 debajo de 31 ppm. Para aquellos padrones que hoy se encuentran por debajo del umbral basta con que sus estrategias de fertilización no aumenten el contenido de P en el suelo.

Haciendo foco en aquellos padrones que se encuentren por encima o muy por encima de este umbral y en base a la discusión de los párrafos anteriores, la medida les impone una tarea para

¹⁸ Del Pino et al., (2003) encontraron en un ensayo con pastoreo en Uruguay que la producción de forraje de mejoramientos de Lotus en cobertura fertilizado con 30 (P30) o 60 (P60) kg/ha de contenido de fósforo fue significativamente superior a la del campo natural sin fertilizar, pero no existieron diferencias significativas de cantidad de producción entre ambas pasturas fertilizadas. La producción de carne, sin embargo, fue significativamente superior en P60 con respecto a P30, y esta tendencia acompañó el aumento con la fertilización de la concentración de P de la pastura. Por tanto, se concluyó que la calidad de la pastura, medida como concentración P, es un mejor indicador del potencial de producción de carne que el forraje disponible. Estos resultados concuerdan con información de otros países que muestran tendencias similares (Coates, 1994; Karn, 2001; Mac Ivor et al., 2011).

¹⁹ Coates (1994), en su experimento de 9 años de duración con vaquillonas, suplementa en el agua de abrevadero con 5 a 7 gramos de P por día por animal provistos en forma de *sodium orthophosphate*. Encontró que la cantidad producida en kilos de peso vivo en los tratamientos que reciben suplementación con P no varía con el tipo de fertilización que reciben los predios; en otras palabras, la ganancia de peso de los animales suplementados es prácticamente la misma para todos los tratamientos a pesar de que los predios recibieron diferente nivel de fertilización con P. Similares resultados son aportados por Karn (2001) y Mac Ivor et al. (2011).

nada trivial de reducción del nivel de P en el suelo lo cual tardaría años en lograrse o implica cambios radicales en los sistemas productivos que no están en línea con las prácticas de producción de forraje que han sido demostrados como óptimas en lechería.

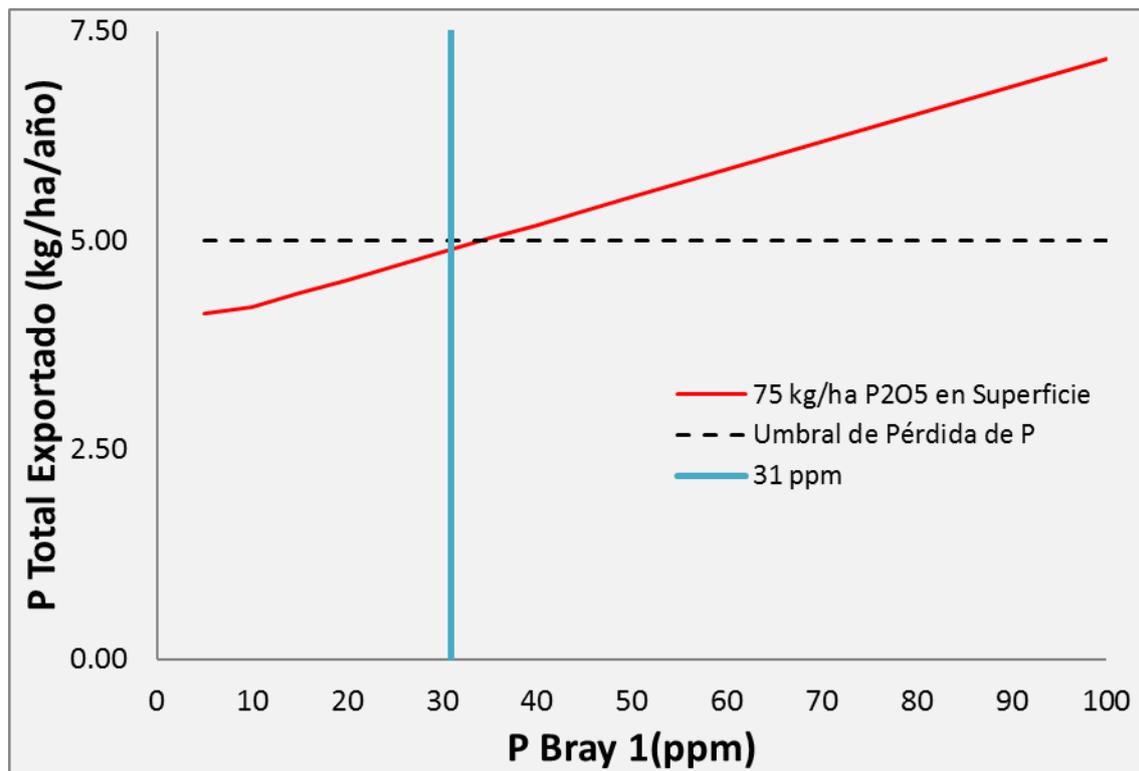
Es por esta razón que en este estudio buscamos un enfoque diferente para tratar este grupo de padrones, que no solo contempla su característica de elevado nivel de P Bray1 sino que tiende a lograr el fin último que es la reducción de las exportaciones de P hacia fuera de los predios. La propuesta consiste en que en vez de poner foco en el umbral de 31 ppm se ponga el foco en un umbral equivalente pero expresado en exportaciones de P desde el padrón, medido en kg de P por hectárea por año.

Presentamos un ejemplo basado en simulaciones²⁰ y calibrado para las rotaciones de cultivos en producción de forraje para lechería en los grupos de suelos más típicos de la cuenca del Río Santa Lucía. La figura IV.6 muestra que el umbral de 31 ppm es consistente con un nivel de exportaciones de prácticamente 5 kg de fósforo por ha por año, para un determinado conjunto de prácticas de manejo, en particular para aplicaciones superficiales de fertilizante. Es importante destacar que este umbral es justamente el límite entre las categorías media y alta del Índice de P establecidas tanto para el Estado de Iowa (Mallarino et al., 2002) como el de Wisconsin (Ward Good et al., 2010) en EEUU y puede tomarse como nivel de referencia preliminar para Uruguay hasta que no exista información local. La categoría alta del Índice de P implica una situación de exportación excesiva de este nutriente hacia los cuerpos de agua superficiales. Así, la propuesta consiste en que los padrones por encima de 31 ppm adopten prácticas de manejo agrícola que provoquen una reducción de las exportaciones de P independientemente de su contribución a la reducción del contenido de P en el suelo.

En la siguiente figura se representan exportaciones de fósforo en función del nivel de fosforo en el suelo. Se marca el umbral de 31ppm de P Bray 1 y el correspondiente umbral de 5kg/ha/año de exportación de P.

²⁰ Las simulaciones toman el promedio lineal de la erosión estimada ($4,6 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$)/ha de las 4 rotaciones seleccionadas (cuadro IV. 2), en los suelos dominantes de las Unidades de Suelos Kiyú, San Ramón, Tala Rodríguez, Isla Mala y La Carolina. El promedio lineal incluyó las combinaciones de suelo-rotación cultivo-pastura cuya erosión estimada fue menor a $7 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$. Los $75 \text{ kg/ha P}_2\text{O}_5$ incluyen la aplicación de $50 \text{ kg/ha P}_2\text{O}_5$ como fertilización²⁰ y 25 kg/ha de reciclaje de P (o sea nutrientes que vuelven al suelo a través de por ejemplo eses durante el pastoreo en el predio).

Figura IV. Exportaciones de P en función del nivel de P en el suelo

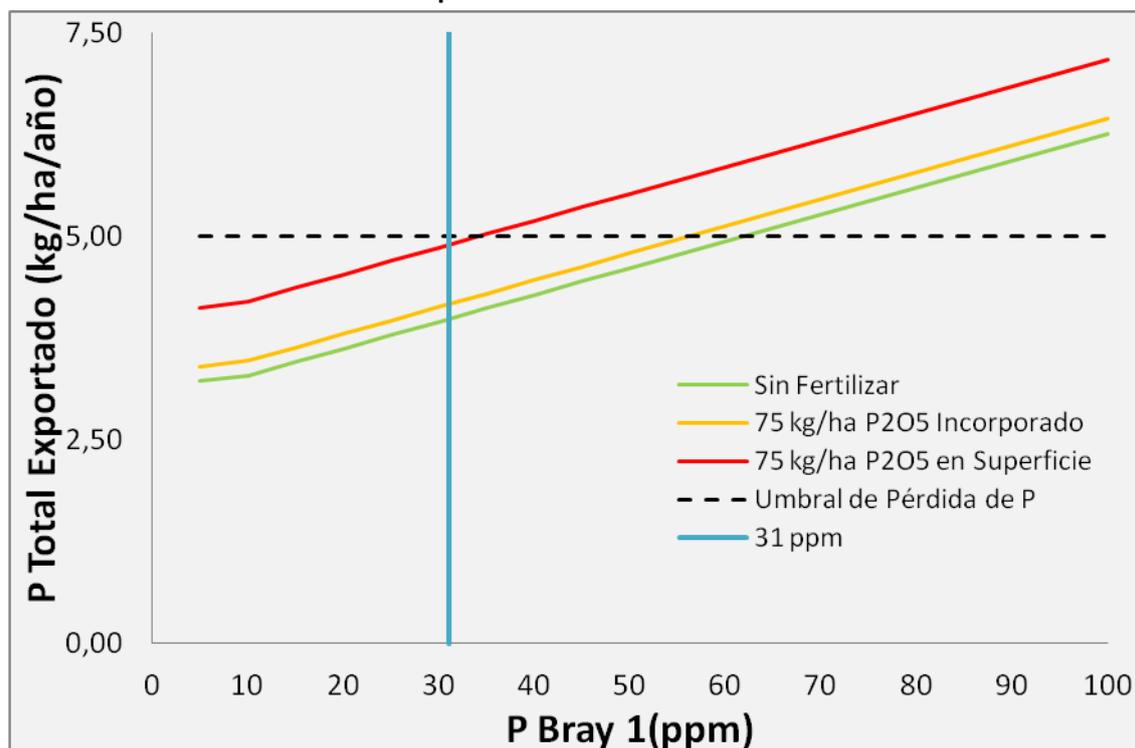


Los parámetros utilizados en estas simulaciones reflejan el estado actual del arte para Uruguay en cuanto a la dinámica del P en su relación con la producción agropecuaria. En este sentido, la generación de nuevas líneas de investigación y la continuación y profundización de las ya existentes son necesarias para consolidar los resultados, que en algunos casos pueden considerarse preliminares.

Una práctica para reducir dichas exportaciones es aplicar el P incorporado al suelo, ya que hacerlo superficialmente deja expuesto al nutriente a ser movido mediante la lluvia, tanto en las partículas de suelo como con el agua. Otra práctica en el mismo sentido, consiste directamente en suspender las aplicaciones de P. La figura IV.7 muestra el resultado de ambas prácticas para la simulación ya presentada donde se ve que trasladan la curva hacia abajo; esto es, para un suelo con un nivel de P Bray1 dado, aplicar el fertilizante incorporado o no aplicar fertilizante reduce sustancialmente las exportaciones de P.

La figura IV.7 muestra nuevamente las exportaciones en función del P en el suelo pero distinguiendo entre las formas de aplicación: en superficie, incorporado o sin fertilizar.

Figura IV.7. Exportaciones de P en función del nivel de P en el suelo según forma de aplicación del fertilizante



En este contexto se pueden diferenciar tres situaciones: primero, los padrones que están por debajo del umbral de 31 ppm; segundo, los padrones que al no fertilizar o hacerlo incorporado quedan por debajo del umbral de 5 kg P/ha/año de exportaciones y por tanto cumplen con el objetivo (interpretado en términos de exportación) con el umbral; y tercero, los que están por encima de ambos umbrales.

Antes de analizar cada caso, es necesario describir las prácticas de manejo mencionadas, desarrollar sus implicancias y calcular sus costos.

Fertilización incorporada.

La fertilización incorporada, por oposición a la fertilización superficial, que según entrevistas e expertos locales es la práctica habitual y generalizada en las producciones forrajeras sobre todo en lechería, implica que el nutriente se aplica de tal manera que queda debajo de la superficie del suelo. Más allá de las técnicas utilizadas para ello, es recomendada como una buena práctica de manejo agrícola, por ejemplo, en el ámbito de las iniciativas de “4R Nutrient Stewardship” sobre manejo y aplicación de fertilizantes, que proponen usarlo en su correcta fuente, la correcta dosis, en el tiempo correcto, y de la forma correcta de aplicación (*the right fertilizer source, at the right rate, at the right time, with the right placement*). La aplicación incorporada entra dentro de las prácticas recomendadas sobre la correcta forma de aplicación (*the right placement*) y entre sus beneficios

se destacan que reduce las pérdidas de nutrientes al ambiente y que lo coloca más cerca de las semillas y raíces.

La investigación es aún incipiente, pero algunos estudios preliminares ya muestran resultados en ese sentido. Dichos resultados indican que la pérdida de P es mayor en seguida de la fertilización superficial, para luego bajar sustancial y rápidamente a medida que transcurre el tiempo (Barreto et al., 2014).

La aplicación incorporada de P, además de no ser una práctica común en el país, entre otras razones porque no es la técnica de fertilización más usada con la siembra directa que es la forma de cultivo dominante, plantea la cuestión de la disponibilidad de maquinaria para hacerlo, según surge de consultas preliminares. Las formas más conocidas de aplicación incorporada son *side-banded* en la que el P es depositado como una banda a 2.5 cm al costado y 2.5 cm debajo de la semilla; *banded* que es una operación realizada antes de la siembra en la que el nutriente se deposita en bandas con separaciones de entre 20 y 35 cm y a una profundidad de entre 5 y 10 cm; y finalmente aplicación esparcida incorporada (*broadcast incorporated*) en la que el nutriente se aplica esparcido en la superficie del suelo pero luego se incorpora mediante la pasada de una disquera o rastra.

Sin perjuicio de la existencia de otras formas de aplicación y variantes de las ya mencionadas, a través de consultas a prestadores de servicios agrícolas, concluimos que hay alternativas disponibles en el país para fertilización incorporada según la maquinaria y conocimiento experto existentes. La técnica debería ser *banded* en la que la fertilización se realiza antes de la siembra. Dado que no es necesariamente segura la existencia de esa maquinaria en el país, es posible realizar la fertilización incorporada utilizando la propia sembradora para aplicar el P, solo que a una profundidad de 5cm, que es mayor a los 2,5cm a los que se depositan las semillas durante la siembra.

En cuanto a los costos de aplicación, tomando la alternativa tecnológicamente disponible y los datos de la Cámara Uruguaya de Servicios Agropecuarios (CUSA), el costo por hectárea de aplicación de 50 kg P₂O₅/ha es de 140 USD/ha/año que se componen de 75 del servicio de maquinaria de fertilización (o sea utilizando la sembradora) y 65 del fertilizante DAP (*diammonium phosphate*) cuyo contenido de P₂O₅ es de 46%. Es decir que para quien fertiliza en superficie, el costo extra de incorporar sería 75 USD/ha/año.

No fertilización

La no fertilización tiene el beneficio de reducir significativamente las exportaciones de P según se puede ver en la figura IV.7. Sin embargo, hay una penalización (aunque la literatura no es concluyente en este aspecto) en la calidad del producto final ya sea en producción de carne o de leche. Por su parte, el

problema que tiende a desaparecer a medida que el nivel de P lábil en el suelo aumenta ya que el contenido de P es suficientemente alto como para suplir o proveer a la planta el nutriente que ya no proviene de la fertilización.

Mac Ivor et al. (2011) encuentran que existe respuesta a la suplementación con P para animales pastoreados en suelos con bajo nivel de P extraíble (menores a 12 ppm P Bray1), pero que ésta se reduce considerablemente para niveles entre 12 y 28 ppm, mientras que la respuesta desaparece completamente cuando el suelo tiene más de 28 ppm.²¹ Asimismo, Coates (1994) en su experimento, encuentra que la producción en kilos de peso vivo no se ve afectada en los primeros años del experimento ya que todos los predios tienen similares niveles de fertilización con P, mientras que en los últimos años del experimento, los kilos producidos responden al nivel de fertilización, ya que los predios que recibieron menores dosis de P reflejan un bajo contenido de P en el suelo a raíz de la extracción de nutrientes realizada por el propio cultivo.

Por tanto, si bien para padrones con más de 31 ppm puede no haber respuesta a la suplementación, es necesario profundizar en la investigación para las condiciones particulares de producción lechera en Uruguay y de la cuenca del Río Santa Lucía. Por tal motivo, parece pertinente estudiar los costos de suplementación para mejor poder comparar las alternativas que tiene el productor.

Como se estableció con anterioridad, la suplementación directa del ganado con P en la comida o el agua, o a través de inyectables (Soto y Reinoso, 2012) es una práctica conocida y difundida para contrarrestar las pérdidas productivas. A modo ilustración y en base a entrevistas con expertos, presentamos el caso de suplementación con fosfato dicálcico, que es un aditivo típicamente usado en el sector lácteo uruguayo. El contenido de P del fosfato dicálcico es de 18% y el precio ronda entre los 700 y 900 USD/ton de producto. Para este estudio tomamos el promedio, 800 USD/ton. Asumiendo una suplementación de entre 5 y 6 gramos por animal por día para compensar la porción de la alimentación del ganado lechero que proviene de pastoreo (que es la que se vería comprometida ante la no fertilización), arroja un costo de entre 9,30 y 11,20 USD/ha/año si consideramos que la dotación es de 1,15 vacas masa por hectárea, que surge de Fossatti y Juanicotena (2010). Si en cambio, consideramos la dotación de vacas masa (ordeñe y secas) que surge de los datos censales para la cuenca, 1,02 en promedio, estos valores se reducen a 8,30 y 9,90 respectivamente.

²¹ Las conversiones entre ppm de P Bray1 y de *bicarbonato extractable* P (o método Olsen) que aparecen en Mac Ivor et al. se realizaron a través de la ecuación (ppm Bary1) = -7.26 + 2.381x(ppm Olsen) en base a J. E. Sawyer, Iowa State University. Disponible en: <http://www.agronext.iastate.edu/soilfertility/presentations/mbotest.pdf>

Para cada una de las tres situaciones enumeradas, existen prácticas de manejo de tipo conservacionista que son factibles de ser aplicadas por parte de los productores para reducir las exportaciones de P, así como también políticas fiscales tendientes a generar los incentivos correctos para que ellas se lleven adelante.

Aquellos padrones en la *primera situación*, o sea con menos de 31 ppm, no tienen necesidad de aplicar ninguna práctica adicional ya que cumplen con la medida establecida. Sin embargo, cualquier aplicación voluntaria de prácticas conservacionistas implica reducciones de exportaciones que contribuyen a compensar las exportaciones de los productores que poseen muy altos niveles de P en el suelo. Para estos productores la no aplicación de P no es una opción ya que ello tiene efectos en el rendimiento por ha de sus cultivos y por tanto en la productividad del establecimiento, así como también posibles impactos en la productividad del establecimiento pero a través de una penalización en la calidad de las pasturas. Sin embargo, la aplicación incorporada de P sí se constituye en una práctica potencialmente aplicable porque no provoca esas penalizaciones al tiempo que reduce significativamente las exportaciones de P. Entonces, una medida de política puede apuntar a generar los incentivos para que estos productores adopten la práctica de fertilizar con P incorporado mediante por ejemplo la compensación por el costo adicional que ello les representa, o sea USD 76/ha. La efectividad de una política de este tipo requiere conocer el porcentaje de predios en esta situación de tal manera de computar el costo fiscal y el efecto agregado en reducciones de exportaciones de P que se logran.

Para los padrones en la *segunda situación*, una medida que parece surgir naturalmente refiere a restringir las aplicaciones de P de forma superficial. El productor tendrá entonces dos alternativas para responder a esta restricción; por un lado la aplicación de P incorporado al suelo, y por otro la no fertilización con P más (posiblemente) suplementación al ganado con P. Claramente el productor elegirá la opción que es más costo-efectiva, ya que en ninguno de los casos su productividad (cantidad de leche producida por hectárea) se verá afectada porque, si fertiliza incorporado no se reducen los rendimientos por hectárea de los cultivos y, si suspende la fertilización, la suplementación con P compensa las potenciales deficiencias de P que afectarían la cantidad producida de leche. Si bien de la discusión anterior se desprende que en esta sección ya no hay respuesta a la suplementación con P, aún resta validar estos resultados para las condiciones de Uruguay y de esta cuenca en particular, y por tanto lo mantenemos como alternativa para el productor. De la comparación de costos surge que fertilizar incorporado, que tiene un costo de 140 USD/ha/año, es más caro que no fertilizar y suplementar el ganado lechero, que en la cuenca costaría entre 8,30 y 9,90 USD/ha/año, dependiendo si se proporcionan respectivamente 5 o 6 grs P/animal/día. Nuevamente, la implementación de ambas prácticas de manejo implica exportaciones menores al umbral establecido y por tanto también vendrían a compensar (a nivel de cuenca) aquellos productores que exportan por encima de dicho umbral.

Desde el punto de vista de las medidas fiscales, si bien se puede pensar en incentivar al productor tanto para la aplicación de P incorporada como la provisión de suplementos (posiblemente requerida al no fertilizar) ya que cualquiera de las dos opciones están

disponibles para el productor y lo dejan con exportaciones de P inferiores al umbral de 5 kg/ha/año, compensar al productor por el monto de la suplementación tiene al menos dos ventajas. Primero, le implican menos recursos al Estado. Segundo, al no fertilizar, el beneficio ambiental es mayor a la fertilización incorporada.

Cabe resaltar que esta compensación se les estará otorgando a productores que pasarán a generar exportaciones de P por debajo del umbral, también contribuyendo a compensar (a nivel de cuenca) aquellos productores que lo hacen por encima.

Para los padrones en la *tercera situación*, también las aplicaciones de P superficiales deben ser restringidas. Como alternativas al productor le quedan tanto la fertilización incorporada como la detención de fertilización, y va a elegir aquella que es más costo-efectiva. Dado que para estos niveles de P en el suelo, no hay respuesta de los rendimientos de los cultivos a la fertilización, y tampoco hay respuesta a la suplementación, se desprende que la opción de menor costo es la no fertilización. El problema en este caso, radica en que ninguna de las dos prácticas productivas llega a reducir las exportaciones por debajo del umbral de 5 kg/ha/año.

En base a la discusión anterior, resulta que estos productores no debieran recibir una compensación por la adopción de la buena práctica de no fertilizar, debido a que el incentivo para hacerlo ya está creado (en la medida que tenga claro que no se generan penalizaciones de productividad).

Sin embargo, esto no descarta que se puedan buscar medidas adicionales para reforzar y complementar la reducción del nivel de P Bray1 en el suelo ocasionadas por detener las aplicaciones de P pero que son lentas en el tiempo. Entre las medidas discutidas más arriba se mencionaron la suspensión del pastoreo, el empleo de rotaciones que incluyen cultivos que extraen mucho P del suelo, el cambio de sistema productivo, etc. De ser costosas estas prácticas para los productores, los incentivos fiscales deberían venir por ese lado.

Es importante realizar una precisión. La Ley N 18.341 del 30 de Agosto de 2008 otorga beneficios fiscales a los productores ganaderos que aplican fertilizantes fosfatados a las praderas permanentes. Tanto para quienes tributan IRAE como los que tributan IMEBA, la exoneración es tal que representa un ahorro de aproximadamente 12% del costo del producto. Sin perjuicio de las razones que llevaron a la implementación de esta Ley, su aplicación va en sentido contrario a las medidas que se analizan en este trabajo y por tanto no puede soslayarse en el análisis propuesto.

En este marco, es factible que sea necesario reformular dicha Ley tal que la exoneración se aplique siempre que el contenido de P del suelo sea menor al máximo tolerable por DINAMA. De esta forma, la política fiscal impulsará a los productores a mantenerse por debajo de los niveles exigidos por DINAMA ya que existen incentivos bien definidos (tanto para quienes se encuentran por debajo de los niveles exigidos por DINAMA como para quienes están por encima) para mantenerse por debajo de dichos niveles.

Cabe realizar algunas precisiones adicionales referentes a la discusión anterior. Primero, el conocimiento de los productores sobre la dinámica del P en el suelo y su efecto sobre la producción es crucial, y el trabajo técnico para que ese conocimiento fluya tiene un alto retorno ambiental y económico.

Segundo, en todos los casos, las consultas con expertos llevan a pensar que las refertilizaciones con P debería ser una práctica restringida ya que la tecnología disponible implica aplicaciones de P de forma superficial. Esto es válido salvo que existiera alguna tecnología que permitiera hacerlas de forma incorporada, lo cual parece no ser el caso según las consultas realizadas.

Tercero, las distintas prácticas de manejo de índole conservacionistas que discutimos en este trabajo fueron consideradas conjuntamente con sus costos. Sin embargo se debe profundizar el análisis para determinar los costos con mayor exactitud, lo que implica tener en cuenta que los costos pueden variar con las características específicas de los padrones, o que pueden surgir otros costos asociados a estas prácticas aún no considerados.

Cuarto, hay que tener en cuenta que la realización del piloto de planes de uso y manejo de suelos para lechería de la RENARE-MGAP sienta bases muy sólidas para conocer las características individuales de los productores (como ser, el tipo de suelos, el contenido de P de línea de base P_0 , la estrategia de fertilización, la rotación de cultivos empleada) y en este sentido, permite pensar en un sistema de incentivos fiscales que es productor-específico.

Quinto, en un marco de intensificación sostenible de la producción agropecuaria, considerando la expansión del área de cultivos y el consecuente uso de fertilizantes, el mayor uso observado de análisis de suelos para tomar decisiones de fertilización y el potencial reporte de sus resultados en los planes de uso y manejo de suelos, y la creciente prestación de este servicios por laboratorios privados, la RENARE-MGAP viene trabajando en la conformación de un sistema de orientación y control de los laboratorios con servicios de análisis de suelos y plantas para evaluación de la fertilidad y de aguas para riego. Entre sus cometidos encontramos la recomendación sobre métodos de análisis para predecir la disponibilidad de nutrientes, la uniformización de protocolos de análisis y manejo de muestras, y el control periódico de la calidad de los resultados de los análisis provistos por los laboratorios participantes. Este sistema contribuye a la confiabilidad de cualquier mecanismo de incentivos a la conservación ambiental que se promueva desde el Estado.

Sexto, si bien planteamos la discusión de las tres situaciones para un promedio de rotaciones y tipos de suelos, en anexo se presentan cada uno de los casos (o sea los 5 tipos de suelos y las 4 rotaciones de cultivos). Básicamente lo que ello implica es que los niveles de P Bray 1 en el suelo que definen dichas situaciones, son distintos para cada combinación o par de tipo de suelos y rotación de cultivos, implican que los resultados obtenidos por este tipo de medidas dependan de si se aplican considerando la heterogeneidad de los productores. Como ya se estableció, los planes de uso y manejo responsable de suelos, con su módulo de fertilización, permiten esta posibilidad, reforzado incluso con los mencionados avances en materia de orientación, estandarización y control de los análisis de suelos, plantas y aguas en laboratorios.

Finalmente, las medidas fiscales que se proponen para crear los incentivos a que los productores adopten ciertas prácticas de manejo tienen su costo y, por tanto, el Estado cubre el costo de la reducción de las exportaciones. Sin embargo, se obtiene un beneficio ambiental en términos de calidad de agua que puede ser valorado. Una futura investigación debería apuntar a encontrar el valor de este beneficio ambiental, de forma de establecer si es superior al costo de aplicar las medidas.

Cálculo del costo fiscal de las medidas propuestas y las reducciones de exportación de P

La contraparte contratante de este estudio encuentra de suma importancia para su programación estratégica el contar con algunas estimaciones del costo fiscal que puede implicar las compensaciones propuestas. Asimismo, también requiere calcular la reducción de las exportaciones de P que se logran a nivel de cuenca a raíz de los incentivos.

Este costo fiscal tiene al menos dos componentes. Primero los costos directos por el pago a los productores de compensaciones. Segundo, los costos asociados al sistema de verificación, monitoreo y control que vela por el correcto cumplimiento de las medidas planteadas. Si bien además pueden existir otros costos directos o indirectos, en esta sección nos ocupamos solo del primero, o sea, los costos directos del pago de las compensaciones. Además debemos hacer las siguientes salvedades.

Para computar el costo directo se requieren dos factores: el costo por hectárea que implican las mencionadas compensaciones (que ya lo computamos en este análisis y varía según el nivel de P en el suelo), y la distribución espacial del nivel de P en el suelo dentro de la cuenca (que es información que no está disponible, al menos para este equipo de trabajo). Con el objetivo de salvar esta dificultad, la alternativa que adoptamos es la de establecer escenarios de cómo podría ser esa distribución. Si bien los resultados no van a ser conclusivos, al menos arroja una idea del orden de magnitud del costo fiscal, y es ése el alcance que se le debe dar a los resultados aquí presentados.

Algo similar ocurre con el cálculo de la reducción de exportaciones de P que se inducen a nivel de cuenca, en las que para su cálculo ya contamos con estimaciones de la reducción de exportaciones de P por hectárea (que también dependen del nivel de P en el suelo donde se produzca), pero no tenemos acceso a la distribución espacial del nivel de P en los suelos de la cuenca que también es requerida. Nuevamente, para salvar este objetivo, recurrimos a los mencionados escenarios.

De las 317,727 ha en la cuenca dedicadas a lechería según el cuadro II.11, asumimos que un 80% del área está bajo las rotaciones de cultivos y praderas consideradas en este trabajo.²² Luego, estas rotaciones (cuadro IV.1) son de 4 años de duración, 3 de pasturas y otro de cultivos de verano y verdes de invierno. Por tanto, se desprende que hay una única siembra y fertilización con P para la pastura (recordando que las refertilizaciones con P quedan de lado en el contexto propuesto), otra siembra y fertilización con P para el cultivo forrajero de verano, y otra siembra y fertilización con P para el verdeo de invierno.²³ Por tanto, del área total bajo estas rotaciones, para este análisis, esto es equivalente a que un $3/4=75\%$ del área recibe fertilizaciones con P cada año. Por lo tanto, calculamos el área que recibe fertilización con P en 126,468 ha por año.

De la discusión de la sección anterior, las compensaciones que deberían recibir los productores para orientar sus incentivos hacia la conservación y así reducir las exportaciones de P desde sus predios lecheros, es de 76 USD/ha/año si el nivel de P Bray1 es menor a 31 ppm, de un promedio de 8 USD/ha/año si el nivel de P Bray1 es entre 31 y 61 ppm, y de cero si es mayor a 61 ppm. Asimismo, la reducción de las exportaciones para estos rangos son de 0,73 kg P/ha/año si están por debajo de las 31 ppm (debido a pasar de fertilizar superficial con P a hacerlo incorporado) y de 0,91 kg P/ha/año si están por encima de las 31 ppm (debido a detener las fertilizaciones con P). Ver figura IV.7.

Como se mencionó más arriba, al no contar con la distribución espacial en la cuenca del contenido de P en los suelos, establecemos tres escenarios. El equipo de investigación no tiene información suficiente como para asignar diferentes probabilidades de ocurrencia a alguno de ellos. Éstos son, el escenario (a) que hay 50% del área con niveles de P de menos de 31 ppm y luego hay 30% y 20% en los dos intervalos siguientes, el (b) en el que hay igual proporción de del área en los tres intervalos de contenido de P en el suelo, y el (c) que posee 50% del área en el intervalo de más de 61 ppm, y luego 30% y 20% en los dos anteriores.

²² Proporción extraída de Fossatti et al. (2009) en base a la proporción del área bajo cultivos, praderas y verdes de una muestra de explotaciones lecheras. Esta muestra no necesariamente es representativa de la cuenca.

²³ Las consultas a los técnicos en la materia arrojan que el verdeo de invierno recibe una fertilización con P a la siembra y que su dosis no necesariamente es menor por seguir a un cultivo de verano.

Cuadro IV.4 Costo fiscal de compensaciones y reducción de exportaciones de P de explotaciones lecheras, por nivel de P Bray1 en el suelo y para escenarios de distribución espacial de P en el suelo

Intervalos	ppm P Bray1	Total	< 31 ppm	31<ppm P<61	>61 ppm
Compensación por ha	USD/ha/año		76	9	0
Reduc. export. P	kg P/ha/año	0.82-0.87a\	0.73	0.91	0.91
Escenario (a)					
% área por nivel de P	%		50%	30%	20%
Área fertilizada	ha	189,687	94,844	56,906	37,937
Compensación	USD/año	7,683,896	7,176,166	507,730	0
Reduc. export. P	kg P/año	155,544	69,236	51,785	34,523
Escenario (b)					
% área por nivel de P	%		33%	33%	33%
Área fertilizada	ha	189,687	63,166	63,166	63,166
Compensación	USD/año	5,342,907	4,779,326	563,580	0
Reduc. export. P	kg P/año	161,073	46,111	57,481	57,481
Escenario (c)					
% área por nivel de P	%		20%	30%	50%
Área fertilizada	ha	189,687	37,937	56,906	94,844
Compensación	USD/año	3,378,196	2,870,466	507,730	0
Reduc. export. P	kg P/año	165,787	27,694	51,785	86,308

Fuente: Cálculos propios. a\ La reducción está en el entorno de 0.82 a 0.87 kg/ha/año, dependiendo de los escenarios: 0.82 en el escenario (a), 0.85 en el escenario (b), 0.87 en el (c).

El cuadro IV.4 muestra los supuestos, cálculos, y resultados obtenidos. Las estimaciones arrojan que los costos fiscales directos de los pagos por compensaciones son de aproximadamente 3,4 millones de dólares para el escenario (c) que posee una alta proporción de área que recibe no recibe compensación, de 5,3 millones de dólares en el escenario (b) por tener una mayor proporción de área que recibe compensaciones, llegando a los 7,7 millones de dólares cuando hay un 50% del área con bajo nivel e P y que por tanto recibe la mayor compensación por hectárea.

Con respecto a la reducción de las exportaciones de P para el total del área de la cuenca afectada a rotaciones de cultivos y pasturas para lechería, arrojan disminuciones de entre 155 y 165 toneladas de P por año, es decir entre 0.82 y 0.87 kg/ha/año. Éstas no tienen demasiada variación entre los escenarios ya que la exportación por hectárea no es muy diferente para los 3 intervalos de contenido de P. Considerando que el umbral sobre el que se hicieron estas simulaciones es de 5kg/ha/año de exportación de P, la reducción se ubicaría en el entorno de 16,5 a 17,5%. La figura IV.8 muestra esta reducción.

V. Pago por servicios ambientales para instrumentación de Medida 8

En este estudio se analiza la posibilidad de implementar programas de pago por servicios ambientales para los predios, o zonas de predios, que saldrían de la producción agropecuaria (según lo establece la Medida 8 del Plan de Acción) a cambio del pago de una renta fija. Es decir, se analizará la aplicación de un pago por servicio ambiental (PSA) a los productores de la Cuenca del Río Santa Lucía, por el mantenimiento sin laboreo de tierra ni uso de agroquímicos en la zona buffer definida por DINAMA. La finalidad es incentivar el cumplimiento de las zonas de exclusión definidas en la Medida No.8 del plan de acción estipulado por MVOTMA.

Cabe recordar lo que establece la Medida 8 del Plan:

*“Instaurar una **zona de amortiguación o buffer** en la cuenca declarada **ZONA A** sin laboreo de tierra y uso de agroquímicos. El propósito es la conservación y restitución del monte ribereño como forma de restablecer la condición hidromorfológica del río, con franjas variables según su importancia.*

La franja definida²⁴ es de:

- 40 metros a ambas márgenes de los cursos principales (río Santa Lucía y río San José),
- 20 metros en los afluentes de primer orden (ej. Arroyo Canelón Grande),
- 100 metros en torno a los embalses.

La propuesta es evaluar el monto de una compensación a los productores por el costo de oportunidad de mantener los predios comprendidos en esa zona sin actividades de laboreo, compensación que podrá ser deducida anualmente del pago por otros impuestos o contribuciones. Existen algunos antecedentes al respecto. Por ejemplo, se encuentra exonerada de pago de contribución inmobiliaria la superficie ocupada por bosque nativo (ley 15.939), la correspondiente a las primeras 50 hectáreas equivalentes índice CONEAT 100 para aquellos propietarios que no exploten una superficie superior a las 200 hectáreas equivalentes índice CONEAT 100 (Artículo 448, Ley 17.296) y las tierras pertenecientes al Instituto Nacional de Colonización. Esta exoneración debe ser considerada como un incentivo sobre la conservación y debe estar condicionada al cumplimiento de las condiciones establecidas por la DINAMA.

²⁴ De acuerdo a lo informado por Luis Reolón, de DINAMA, las distancias se han tomado de otras experiencias, Brasil, España.

Cabe señalar que de acuerdo a estimaciones teóricas realizadas por Mallarino et al. (2002), el efecto de una zona buffer sería significativo, reduciendo aproximadamente al 50% el transporte de fósforo hacia los cursos de agua.

Algunos conceptos preliminares

El Pago por Servicio Ambiental (PSA) es un instrumento económico por el cual se incentiva a los propietarios de los recursos naturales a que ofrezcan vía el mantenimiento o conservación del recurso un servicio ambiental ecosistémico que beneficie a la sociedad en su conjunto. El pago pretende garantizar la provisión de un servicio ecosistémico en particular (Lanzilotta, Salazar y Cedrés, 2009).²⁵

Estos servicios ecosistémicos pueden ser de distinto tipo: provisión de agua para asentamientos humanos, manejo y prevención de desastres, servicios nutricionales y de cuidado de la salud, Servicios vinculados al cambio climático, servicios culturales y recreativos. La valoración económica de los servicios de ecosistemas y otros factores no propios del mercado que contribuyen a los sistemas económicos humanos y al bienestar de las personas es una tarea compleja y costosa, muchas veces dificultada por la escasez de datos (Bovarnick et al, 2010).

Una forma concreta de abordar la valoración consiste en evaluar los beneficios que los servicios vinculados a las AP proveen a los sectores de la producción. De esta forma, es usual que el pago acordado intente compensar el costo de oportunidad de una actividad productiva o extractiva que pondría en riesgo el servicio ambiental. No obstante, el pago no tiene necesariamente que ser en términos monetarios. Puede compensarse a través de una mejora de infraestructura, de prestación de determinados servicios, etc. Un punto clave a determinar es el mecanismo de compensación. Este puede variar desde un pago periódico directo hasta el establecimiento de un fondo fiduciario (gestionado conjuntamente por los actores involucrados, proveedores, usuarios, sector privado, sociedad civil, estado).

En América Latina hay pocas experiencias de pagos por servicios ambientales. La mayoría de ellas están vinculadas al aprovisionamiento de agua dulce en cuencas hidrográficas y el cuidado de su calidad (Lanzilotta et al, 2009). Existen experiencias en otros países como la instrumentada por ejemplo por el *Conservation Reserve Program* de EE.UU).

Metodología y datos

Actualmente en esta zona se desarrollan diversas actividades agropecuarias, identificadas en la sección II de este informe. La propuesta es evaluar el monto de una compensación a los

²⁵ Otras fuentes consultadas:

- <http://www.wwfperu.org.pe>
- <http://www.imacmexico.org>
- <http://biodiv-mesoam.blogspot.com>
- <http://www.cipav.org.co>
- <http://www.fonafifo.com>

productores por el costo de oportunidad de mantener los predios comprendidos en esa zona sin actividades de laboreo. Dicha compensación podrá ser deducida anualmente del pago por otros impuestos o contribuciones. Para la determinación del monto del pago por el servicio ambiental de conservar sin actividades de laboreo (a través de la estimación de su costo marginal) se toma el uso productivo de la tierra según la información más actualizada disponible correspondiente a toda la Cuenca (a partir de la información recabada del Censo Agropecuario 2011 sistematizada en la sección II).

La renta resignada por el productor surge de la información sobre precios de arrendamientos por zona y tipo de producción, se determina a partir de las estimaciones de precios de la tierra agropecuaria realizadas por DIEA-MGAP sobre la base de datos de transacciones formales registradas por la Dirección General de Registros del Ministerio de Educación y Cultura. Dado que no se cuenta con los microdatos de transacciones, se emplean los datos agregados procesados por DIEA, por departamento y destino productivo del arrendamiento.²⁶ La renta estimada a partir del monto de ingresos resignados de acuerdo al potencial productivo del predio afectado (aproximado mediante el valor del arrendamiento para esos usos productivos en las regiones consideradas) será considerada como hipótesis de máxima para la determinación del pago por servicio ambiental.

Estimación de la cantidad de hectáreas afectadas por la zona buffer

La determinación del área en hectáreas que ocupa la zona buffer definida en la Medida 8 se realizó a partir de información digital en formato vectorial (bajo ambiente GIS), correspondiente a parte del conjunto de datos básicos de la IDE (Infraestructura de Datos Espaciales del Uruguay). Dicha información se encuentra disponible en el sitio web de la IDE <http://ide.uy/>, bajo el portal de AGESIC. Sitio web de descarga on line, <http://descarga-cdp-ide.agesic.gub.uy/>.

Se utilizaron algunas de las capas de información geográfica que son parte del conjunto mencionado (fundamentalmente las relacionadas con los recursos hídricos). Que fueran realizadas por la Dirección Nacional de Topografía del MTOP en colaboración con ICA, a partir de la digitalización de las cartas del Servicio Geográfico Militar del MDN, según el plan cartográfico nacional a esc. 1:50.000. Por otro lado, se utilizaron las capas referidas a tipo y usos de suelos, generadas por la Dirección Nacional de Ordenamiento Territorial del MVOTMA, productos obtenidos en los proyectos de detección y clasificación de tipo y usos de suelos, con la norma LCCS de FAO.

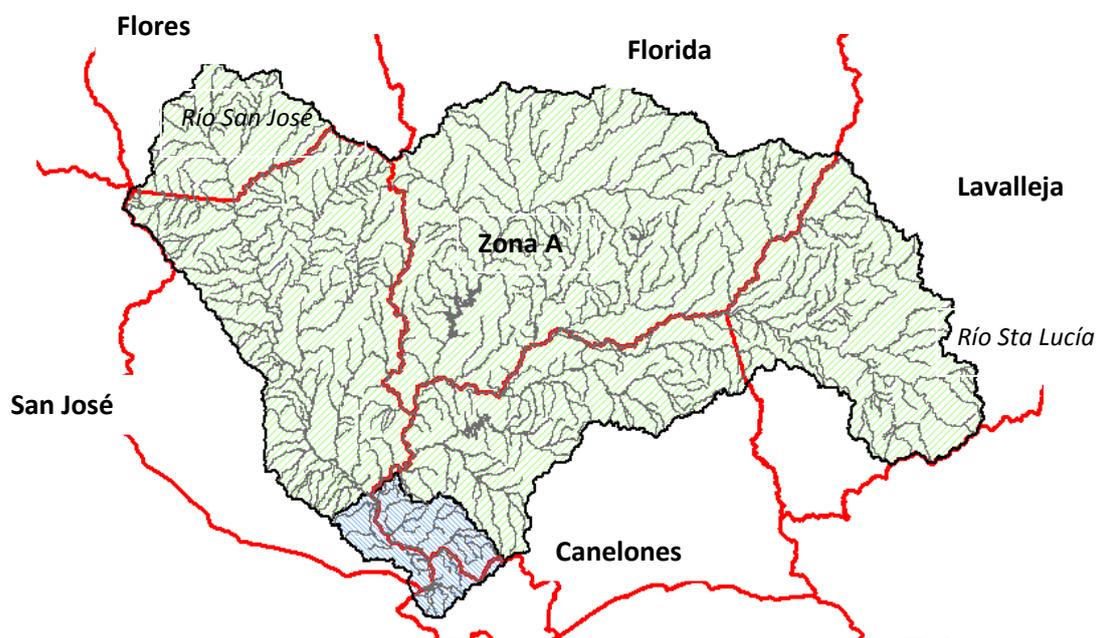
Los resultados obtenidos (fundamentalmente, definición de área buffer y su relación con ciertas variables que permiten estudiar y clasificar distintas zonas o sub-zonas a partir de la red hidrográfica y premisas definidas en el ámbito del proyecto), fueron alcanzados a través de una serie de geoprocursos espaciales tomando como insumos los datos recientemente referidos, bajo un ambiente de GIS, por parte del Ing. Agrim. Edison Rosas.

²⁶ Agradecemos a Fernando Rincón de DIEA quien nos facilitó esta información.

Se realizaron los cálculos para dos definiciones de zona buffer, que difieren en cuanto a la consideración de lo que se entiende por cursos principales y afluentes de primer orden. Esto dio lugar a una estimación “extendida” de la superficie del área buffer y a una más restrictiva. Esta más restrictiva está acorde a la estimación realizada por RENARE del área buffer, si bien los procesamientos son propios debido a que para la realización de los cálculos se requería disponer de información más desagregada.²⁷

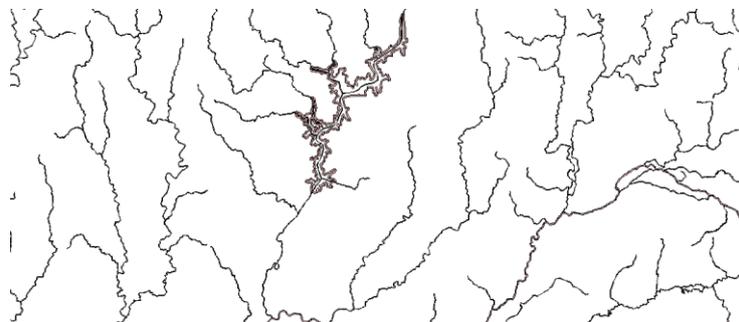
En los mapas de la V.I y el cuadro V.1 se puede apreciar que la zona de amortiguación comprende a varios departamentos.

Figura V.1 Ubicación de la Cuenca de Santa Lucía, zonas A y B e hidrografía. Vista general de la zona buffer



Fuente: Procesamientos SIG realizados por el Agrim. E. Rosas sobre la base de información de AGESIC.

Figura V.2 Vista en detalle del área definida, en un punto de la cuenca



Fuente: procesamientos SIG realizados por el A. Rosas sobre la base de información de AGESIC.

²⁷ La información de RENARE fue provista por Silvana Delgado a quien agradecemos.

Cuadro V.1 Superficie del área de amortiguación por departamento. En hectáreas (ha) y porcentaje del total del área buffer (extendida, restringida y restringida sin áreas inundables)

Depto.	Zona de Cuenca	Estimación extendida		Estimación restringida		Estimación restringida sin zonas inundables ni cauce o alvéolo	
		Superficie (ha)	% del área buffer	Superficie (ha)	% del área buffer	Superficie (ha)	% del área buffer
Canelones	A	4559	17.7%	1431	26.5%	880	23.9%
Flores	A	1537	6.0%	330	6.1%	163	4.4%
Florida	A	8556	33.3%	1848	34.3%	1129	30.6%
Lavalleja	A	4089	15.9%	805	14.9%	693	18.8%
San José	A	6978	27.1%	979	18.2%	822	22.3%
Total		25718	100.0%	5393	100.0%	3687	100%

Fuente: sobre la base de procesamientos SIG realizados por el Agrim. Edison Rosas sobre la base de información de AGESIC.

De acuerdo a los procesamientos realizados la extensión total de la zona buffer con un alcance extendido es de aproximadamente 26 mil hectáreas, un tercio de las cuales se ubica en Florida, y otro tanto en San José. Los restantes departamentos comprenden áreas menores de la zona de amortiguación definida.

Con un alcance más restringido y considerando dentro de los cursos principales y sus afluentes a los ríos Santa Lucía, San José, Santa Lucía Chico, Canelón Grande, Canelón Chico, Colorado y Casupá, lagos Canelón Grande, Paso Severino y San Francisco, el área total se reduce a la quinta parte (5393 ha). Si a ésta se le deduce el área ocupada por zonas inundables (suelos de los grupos coneat 03.30 y 03.41)²⁸ y los causes (que representan una proporción mínima), la superficie se reduce a 3700 ha, aproximadamente.

El precio de los arrendamientos

Como se indicó, la determinación de la renta resignada se realiza sobre la base de los datos sobre precio por hectárea de los arrendamientos de tierras, considerado por departamento y destino productivo. Esta información fue provista por DIEA y refiere a los años 2009 a 2013. Dado que no se contó con información a nivel de microdatos no se pudo realizar un análisis más detallado que a nivel departamental, es decir no se pudo obtener datos específicos para el área de la Cuenca y mucho menos de la zona buffer.

²⁸ Estos ocupan una importante franja de tierras, entre las lomadas y las formaciones costeras. Incluye los bañados que bordean las principales lagunas: Subzona a. Los bañados y esteros permanente o temporariamente inundados. En esta subzona se ubica el grupo 03.30. Subzona b. Las llanuras medias, con un nivel superior al anterior. Aquí se ubica el grupo 03.41

En el cuadro V.2 se presenta la información sintetizada y expresada en dólares constantes del año 2013 para cada uno de los departamentos afectados.

Cuadro V.2 Arrendamientos para uso agropecuario en los departamentos afectados por la zona buffer según destino de la tierra. Promedio de los años 2009 a 2013

Promedio 2009-2013. En USD constantes (2013)	Destino de la tierra							
	Total	Agrícola		Agricultura			Otros	
		Ganadería	Ganadero	de secano	Arroz	Lechería	Forestación	
Canelones								
No de operaciones	84	21	28	16		10		8
Superficie arrendada (ha)	5,965	1,859	1,757	1,398		519	56	419
Monto total (USD ctes)	920,893	144,042	259,649	373,109		78,951	6,752	63,791
Precio del arrendamiento USD ctes/ha	151	82	145	245		155	120	180
Flores								
No de operaciones	109	29	25	43		4		2
Superficie arrendada (ha)	36,803	10,886	10,765	12,732		528		117
Monto total (USD)	7,266,002	788,022	1,779,775	4,354,797		82,987		21,970
Precio del arrendamiento USD ctes/ha	193	72	164	352		153		166
Florida								
No de operaciones	192	75	31	35		33	11	12
Superficie arrendada (ha)	50,853	20,401	7,618	11,421		3,874	8,992	2,085
Monto total (USD)	7,088,129	1,331,804	1,177,160	3,198,605		493,795	1,038,187	252,071
Precio del arrendamiento USD ctes/ha	141	68	151	280		131	126	116
Lavalleja								
No de operaciones	96	73	9	9	3	1	3	2
Superficie arrendada (ha)	24,646	17,752	1,703	3,815	1,091	33	760	202
Monto total (USD)	2,375,432	1,051,062	199,992	969,391	137,566	2,494	66,711	22,043
Precio del arrendamiento USD ctes/ha	95	60	117	245	135	76	87	109
San José								
No de operaciones	183	23	60	46	1	27		22
Superficie arrendada (ha)	26,624	4,650	8,646	8,633	11	2,205		2,719
Monto total (USD)	5,123,632	311,009	1,336,660	2,760,843	3,000	357,699		384,527
Precio del arrendamiento USD ctes/ha	188	70	158	310	264	162		141

Fuente: Elaboración propia en base a datos DIEA-MGAP.

Como puede observarse en el cuadro, las mayores rentas se verifican en los destinos agricultura de secano y arroz. No obstante, no son los principales usos de la tierra en la Cuenca según los datos del último censo agropecuario (véase el cuadro 5, capítulo II). Como se comentó previamente los destinos productivos predominantes en la Cuenca son la ganadería (56,3%) y lechería (24,8%). No se posee información más desagregada y actual para la zona específica que afecta la zona buffer, por lo que se desconoce precisamente el uso productivo que tiene lugar en la zona buffer.

Cálculo del PSA

Considerando la renta por hectárea por el arrendamiento de tierras según los diversos destinos agropecuarios, la distribución del área buffer en los cinco departamentos afectados y asumiendo que el uso productivo de la tierra es similar al de la Cuenca se procedió al cálculo

del PSA. Éste se realiza bajo dos alternativas. La primera bajo el supuesto de que no se permite ningún tipo de uso productivo, la segunda permite actividades de pastoreo. Los cálculos se presentan en el cuadro V.3.

Cuadro V.3 Cálculo del Pago anual por Servicio Ambiental en la zona buffer (extendida)

	Destino de la tierra						
	Total	Agricultura					
		Ganadería	de secano	Arroz	Lechería	Forestación	Otros
Superficie en la cuenca (%)	100	58	7.6		24.8	3.1	6.5
Departamentos	Precios promedio por destino de la tierra (USD x ha) x depto						
Canelones	151	82	245		155	120	180
Flores	193	72	352		153	0	166
Florida	141	68	280		131	126	116
Lavalleja	95	60	245	135	76	87	109
San José	188	70	310	264	162		141
Departamentos	Superficie en la zona buffer (ha). Extendida	Superficie en la zona buffer (ha). Restringida	Superficie en la zona buffer (ha). Restringida sin cauces		Precio promedio por destino ponderado por uso en la Cuenca		
Canelones	4559	1431	880		120		
Flores	1537	330	163		117		
Florida	8556	1848	1129		105		
Lavalleja	4089	805	693		82		
San José	6978	979	822		114		
Departamentos	PSA (sin uso productivo)	PSA (se permite pastoreo)	PSA (sin uso productivo)	PSA (se permite pastoreo)	PSA (sin uso productivo)	PSA (se permite pastoreo)	
Canelones	548,636	284,232	172,242	89,233	105,869	54,848	
Flores	180,167	91,042	38,666	19,539	19,137	9,670	
Florida	894,592	398,341	193,222	86,037	118,056	52,568	
Lavalleja	336,113	98,954	66,190	19,487	56,956	16,768	
San José	793,765	389,056	111,401	54,602	93,522	45,839	
TOTAL anual (USD)	2,753,272	1,261,624	581,720	268,898	393,539	179,692	

Fuente: Cálculos propios.

Los cálculos realizados arrojan un costo fiscal anual de aproximadamente 2,8 millones de dólares si se reglamentara la restricción de realizar todo tipo de actividad productiva y se considera las dimensiones de zona buffer “extendida”. En esa superficie, si se permitiera la realización de actividades ganaderas, el costo se reduce a menos de la mitad (1,3 millones).

Cuando se entiende el área buffer en forma más restricta, el costo fiscal se reduce a menos de la quinta parte en cualquiera de las dos opciones. El costo discal se reduce a menos de 400 mil dólares si al cálculo se deducen las áreas inundables no aptas para laboreo (y que por lo tanto no tienen costo de oportunidad mantenerlas sin laboreo).

Cabe señalar que de acuerdo a estimaciones teóricas realizadas por Mallarino et al. (2002), el efecto de una zona buffer sería significativo, reduciendo aproximadamente al 50% el transporte de fósforo hacia los cursos de agua.

Medio de pago

Análogamente a lo que ya establece la ley 15.939 para la conservación de bosque nativo²⁹ una posible alternativa para efectuar el PSA a los tenedores de tierra es a través de exoneraciones sobre los cargos por contribución inmobiliaria correspondiente a la superficie afectada y detracciones sobre los cargos correspondientes a las superficies no afectadas pertenecientes a la misma persona jurídica hasta alcanzar el monto global del PSA.

Teniendo en cuenta que aproximadamente 40% de las explotaciones de la cuenca poseen 1000 ha o más y un porcentaje superior a 85% de éstas poseen más de 100 ha, es posible que este mecanismo opere en la mayoría de los casos. De todas maneras el reintegro de las explotaciones menores deberá ser instrumentado de otra forma.

El PSA debe estar condicionado al cumplimiento de las condiciones establecidas por la DINAMA por lo que se deben establecer los mecanismos de control necesario para ello así como las sanciones en caso de no cumplimiento.

²⁹ Más específicamente la ley 15.939 establece la exoneración de pago de contribución inmobiliaria a la superficie ocupada por bosque nativo correspondiente a las primeras 50 hectáreas equivalentes índice CONEAT 100 para aquellos propietarios que no exploten una superficie superior a las 200 hectáreas equivalentes índice CONEAT 100 (Artículo 448, Ley 17.296) y las tierras pertenecientes al Instituto Nacional de Colonización.

VI. Síntesis y recomendaciones de política

Este trabajo debe tomarse como un *primer ejercicio* para la evaluación de algunas medidas fiscales que permitan la reducción y control de la contaminación en los cursos de agua a través de la reducción de los aportes contaminantes. El ejercicio se aplica al caso de la Cuenca del Río Santa Lucía, en función de los crecientes problemas de contaminación que aqueja a este recurso, fuente de agua potable de más de la mitad de la población de nuestro país.

El proceso de investigación se limitó a pocos meses y se realizó sobre la base de la escasa información disponible en varias dimensiones. Ello impuso límites al alcance del estudio y aumentó el grado de incertidumbre de los resultados. En este contexto, las primeras recomendaciones de política que surgen de haber enfrentado tales restricciones es la necesidad de generar mayor información de base y permitir su difusión, de desarrollar nueva investigación y profundizar la existente, de una mayor colaboración entre instituciones involucradas.

El análisis se circunscribió al estudio de las Medidas 3 y 8 del Plan de Acción para la protección de la calidad ambiental en la Cuenca. Se estudió la aplicación de dos instrumentos: un subsidio ambiental para incentivar el mantenimiento del contenido de fósforo dentro de los límites admitidos por la DINAMA y un pago por servicio ambiental para compensar los costos de mantener tierra sin laboreo. El primero de los instrumentos, se aplicó al caso de las explotaciones lecheras en función de que han sido identificadas como las más problemáticas en términos de contaminación.

Como punto de partida de la investigación se procedió a la caracterización de la cuenca sobre los datos del último censo agropecuario. De acuerdo a esta información, la mayoría de productores son pequeños y las actividades comerciales predominantes son las pecuarias. Estas actividades (especialmente lechería) determinan ciertos usos del suelo que se relacionan directamente con la exportación de P hacia las aguas. Tomando en consideración los coeficientes de exportación de P hacia las aguas y dado que nos restringimos al caso del P, y en función de la ubicación en 2011 de dichos cultivos, se aprecia que las zonas más delicadas serían las que corresponden a las subcuencas que están incluidas en lo que la DINAMA define como Zona A y donde ubica la mayoría de tambos y *feed-lots*.

Por otra parte, de la información procesada surge un resultado que encuadra algunas de las propuestas de políticas para el control de la contaminación. A diferencia de lo que ocurre con otros rubros (por ej. la horticultura) la producción familiar en la lechería representa una baja proporción del área lechera de la Cuenca.

Previo al análisis de los instrumentos fiscales para incentivar el cumplimiento de la Medida 3, se procedió al cálculo de las exportaciones de P. Para el cálculo de las exportaciones de P lábil, además del tipo de rotaciones de cultivos, importan las buenas prácticas de manejo que realice el productor. Fertilización incorporada (vs. superficial), la detención de fertilizaciones, y

restringir las refertilizaciones, son algunas de ellas. Esta razón es la que sustenta la propuesta de que la herramienta fiscal para promover dichas prácticas y apoyar el cumplimiento de la Medida 3 fuera una compensación al productor por los costos incrementales que supone el cambio de manejo en combinación con el monitoreo de su cumplimiento.

El plan de uso y manejo responsable de suelos piloto en lechería sentaría las bases para que esto se realice, así como también la conformación de un sistema de orientación y control de los laboratorios con servicios de análisis de suelos y plantas para evaluación de la fertilidad y de aguas para riego. Ambas tienen una fuerte iniciativa de parte de RENARE-MGAP.

Para la aplicación de esta medida es preciso considerar la heterogeneidad de los predios en cuanto al nivel inicial de P en el suelo, ya que del análisis surgen medidas diferenciadas según el nivel de P en el suelo. Si es limitada la información en cuanto al nivel de P en el suelo, mucho más lo es su distribución dentro de la Cuenca. Por tanto, la materialización de estas medidas requiere el conocimiento de esta distribución.

En este estudio, se obtuvo una aproximación al costo fiscal de esta medida (el costo directo asociado al pago de las compensaciones a productores lecheros) a partir de construir escenarios sobre esta distribución. Similarmente, se hizo lo propio para el cálculo de la reducción de las exportaciones de P lábil desde los suelos de estas explotaciones. Bajo los supuestos realizados y detallados en el cuerpo del informe se calculó el costo fiscal directo que implica el pago de estas compensaciones a productores lecheros y la reducción de las exportaciones de P que se logra a nivel de cuenca a raíz de los incentivos.

Las estimaciones arrojaron montos que van desde aproximadamente 3,4 millones de dólares para el escenario con una alta proporción de área que no recibiría compensación, hasta 7,7 millones de dólares cuando hay un 50% del área factible de recibir compensación. Con respecto a la reducción de las exportaciones de P para el total del área de la cuenca afectada a rotaciones de cultivos y pasturas para lechería, arrojan disminuciones de entre 155 y 165 toneladas de P por año, lo que equivale a una reducción de entre 16,5 y 17,5% en las exportaciones de fósforo. Éstas no tienen demasiada variación entre los escenarios ya que la exportación por hectárea no es muy diferente para los 3 intervalos de contenido de P. Se debe profundizar en el conocimiento de los costos para el productor de aplicar las mencionadas prácticas conservacionistas de reducción de exportaciones de P.

En este marco, complementariamente es preciso reformular la ley 18.341 del 30 de Agosto de 2008 que otorga beneficios fiscales a la compra de fertilizante fosforado a productores ganaderos, tal que la exoneración se aplique siempre que el contenido de P del suelo sea menor al máximo tolerable por DINAMA. Esto permitiría reducir el costo fiscal de las otras medidas propuestas. El gasto por esta ley es de 7 millones de pesos (2013, CEF), esto es 350 mil dólares, aproximadamente.

Por otra parte se evaluó implementar un Pago por Servicio Ambiental (PSA) como compensación a los productores por el costo de oportunidad de mantener los predios comprendidos en esa zona buffer (definida en la Medida 8) sin actividades de laboreo. Esta

exoneración debe ser considerada como un incentivo sobre la conservación, y debe estar condicionada al cumplimiento de las condiciones establecidas por la DINAMA.

Para la determinación del PSA se debió primeramente calcular las hectáreas comprendidas en el área buffer. Se consideraron distintas interpretaciones acerca del alcance geográfico de la Medida 8 obteniéndose dos estimaciones de la superficie: una estimación “extendida” de la y a una más restrictiva que consideraba sólo algunos de los cursos de agua. Sobre esta última, incluso se dedujeron las zonas potencialmente inundables. En su concepción más amplia el área buffer alcanzaría a 26 mil hectáreas, si se restringe el área a algunos cursos de agua la superficie es de aproximadamente 5400 hectáreas y si además se deducen las áreas inundables y los cauces o alvéolos el área se reduce a alrededor de 3700 hectáreas.

La determinación de la renta resignada se realiza sobre la base de los datos sobre precio por hectárea de los arrendamientos de tierras, considerado por departamento y destino productivo (asumiendo que el uso productivo de la tierra es similar al de la Cuenca se procedió al cálculo del PSA). Los cálculos arrojaron un costo fiscal anual de aproximadamente 2,8 millones de dólares si se reglamentara la restricción de realizar todo tipo de actividad productiva y en el entendido de que la zona alcanza a 26 hectáreas. Considerando el área restringida el pago se reduce sustantivamente a algo menos de 600 mil dólares anuales y si se deducen las zonas inundables (dado que no tiene costo de oportunidad mantenerlas fuera de la producción), entonces el PSA anual no llega a 400 mil dólares anuales. Una posible alternativa para el medio de pago es utilizar un instrumento análogo al establecido para la conservación de bosque nativo: exoneraciones sobre los cargos por contribución inmobiliaria correspondiente a la superficie afectada y detracciones sobre los cargos correspondientes a las superficies no afectadas pertenecientes a la misma persona jurídica hasta alcanzar el monto global del PSA.

Cabe señalar que de acuerdo a estimaciones teóricas realizadas por Mallarino et al. (2002), el efecto de una zona buffer sería significativo, reduciendo aproximadamente al 50% el transporte de fósforo hacia los cursos de agua.

Por último, algunas reflexiones finales. Las medidas fiscales que aquí se proponen suponen que el Estado cubra el costo de la reducción de las exportaciones. El conocimiento de los productores sobre la dinámica del P en el suelo y su efecto sobre la producción es crucial, y el trabajo técnico para que ese conocimiento fluya tiene un alto retorno ambiental y económico. Sin embargo, se obtiene un beneficio ambiental en términos de calidad de agua que puede ser valorado. Futuras investigaciones deberán apuntar a hallar el valor de este beneficio ambiental, que incluye entre otros componentes los costos incrementales en los que incurre OSE debido al aumento de la contaminación en el recurso.

A su vez, cabe precisar que este trabajo no hace consideraciones de economía política ni otras de índole de justicia ambiental o social/distributiva. Consideraciones y evaluaciones que sí deberían efectuarse y ser tomadas en cuenta a la hora de implementar medidas como las que se proponen.

Referencias

Ackermann M., A. Cortelezzi, V. Duran, 2014. La dinámica del empleo y los ingresos en las cadenas agroindustriales (2006-2013). Anuario 2014. OPYPA-MGAP.

Arocena R. et al. 2008 a. Resumen ejecutivo. En: Informe final del convenio DINAMA-FAC. Ciencias (Sec. Limnología) evaluación ecológica de cursos de agua y biomonitoreo. [ONLINE:] Accedido 18 de Mayo 2013). Disponible en: <http://limno.fcien.edu.uy/>.

Arocena R. et al., 2008 b. Estado Trófico de Embalses P. Severino y Canelón Grande. En: Informe final del convenio DINAMA-FAC. Ciencias (Sec. Limnología) evaluación ecológica de cursos de agua y biomonitoreo. [ONLINE:] Accedido 18 de mayo de 2013. Disponible en: <http://limno.fcien.edu.uy/>

Arocena R. et al., 2012. Impacto de la producción lechera en la calidad de los cuerpos de agua. VII Congreso de Medio Ambiente Asociación de Universidades del Grupo Montevideo. Ponencia oral. Junio 2012 La Plata.

Barreto, P., Ernst, O. & Perdomo, C. 2014. Cuantificación de las pérdidas de fósforo por escorrentía en diferentes rotaciones de suelos de Uruguay. Congreso Uruguayo de Suelos y VI Encuentro de la SUCS, 6-8 Agosto de 2014, Colonia del Sacramento Uruguay.

Bovarnick, A., J. Fernández-Baca, J. Galindo y H. Negret. 2010. Sostenibilidad Inanciera de las áreas protegidas en América Latina y el Caribe: Guía para la política de inversión, Programa de las Naciones Unidas para el desarrollo (PNUD) y la Nature Conservancy (TNC), 2010.

Cámara Uruguaya de Servicios Agropecuarios – CUSA. 2015. Precios Sugeridos de Labores Agrícolas. Disponible en: <http://cusa.org.uy/cusa/precios>

Coates, D. B. 1994. The effect of phosphorus as fertiliser or supplement on pasture and cattle productivity in the semi arid tropics of North Queensland. *Tropical Grasslands* 28, 90-108.

Del Pino, A. & Andión, J. 2003. Efecto de la fertilización fosfatada y mejoramientos con leguminosas en cobertura en la calidad de las pasturas y producción de carne. 2º Congreso Nacional sobre manejo de pastizales naturales. San Cristóbal, Santa Fe, Argentina. 8, 9 y 10 de octubre de 2003

DIEA- MGAP. 2003. Sistema de Información Censo Agropecuario 2000 (SICA).

DIEA- MGAP. 2014. Censo General Agropecuario 2011. Resultados Definitivos.

DINAMA- MVOTMA, 2011. Monitoreo y evaluación de calidad de agua. Río Santa Lucía. Resultados del rediseño del programa (período 2011).

Dodd, J. R. & Mallarino, A. P. 2005. Soil-test phosphorus and crop grain yield responses to long-term phosphorus fertilization for corn-soybean rotations. *Soil Science Society of America Journal*, 69(4), 1118-1128.

Drewry, J. J.; Newham, L. T. H.; Greene, R. S. B.; Jakeman A. J; Croke, B. F. W. A. 2006. A review of nitrogen and phosphorus export to waterways: context for catchment modeling. *Marine and Freshwater Research* 58, 757–774.

Durán A. & F. García Préchac. 2007. Suelos del Uruguay. Origen, clasificación, manejo y conservación. Vol. II. Ed. Hemisferio Sur. 358 pp

Fossatti M. y M.A. Juanicotena, 2010. Producción de leche y coeficientes técnicos de rotaciones forrajeras. Jornada Técnica de Lechería. San José Agosto de 2010. Serie Actividades de Difusión No. 610.

García Préchac, F., Hill, M., C. Clerici. 2007. EROSION 6.0. Disponible en: <http://www.fagro.edu.uy/~manejo/>

García Préchac, F. 2013. Qué responsabilidad tienen las actividades agropecuarias en la contaminación de las aguas del Río Santa Lucía. Disponible en http://portal.fagro.edu.uy/phocadownload/presentaciones/ExpoPrado/2013/garcia_2013_prado_santa_luca.pdf

Hernández, J., & J.P. Zamalvide, 1998. Procesos de retención de fósforo por los suelos evaluados a través de parámetros de Suelo y Plantas. *Agrociencia*. Vol I(2): 48-63.

JET-DINAMA. 2010. Informe de situación sobre fuentes de contaminación difusa en la cuenca del Río Santa Lucía. Consultado el 30 de abril de 2011. Disponible en http://www.dinama.gub.uy/jica/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=71&Itemid=60

JICA-MVOTMA. 2007. “Proyecto sobre fortalecimiento de la capacidad de gestión de calidad de agua en Montevideo y área metropolitana”. Informe Final. Agencia de Cooperación

Internacional del Japón (JICA) y Ministerio de Vivienda Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente. Uruguay.

JICA-MVOTMA. 2011. "Proyecto sobre control de la contaminación y gestión de calidad de agua en la cuenca del Río Santa Lucía". Informe Final. Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA) y Ministerio de Vivienda Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente. Uruguay.

Karn, J. F. (2001). Phosphorus nutrition of grazing cattle: a review. *Animal Feed Science and Technology* 89, 133-153.

Krieger K., et al., 2010 . Record amounts of dissolved phosphorus hit Lake Erie. *Water Quality News and Notes*, July 10, 2010. National Center for Water Quality Research, Heidelberg College, Tiffin, OH. Disponible en http://www.heidelberg.edu/sites/herald.heidelberg.edu/files/NCWQR%20News%20and%20Supplement_072210.pdf .

Lanzilotta, B., Salazar, A. & Cedrés, M.E. 2009. Instrumentos económicos para la conservación y financiamiento de las áreas protegidas de Uruguay. Proyecto Fortalecimiento de Capacidades para la Implementación del Sistema Nacional de Áreas Protegidas de Uruguay. DINAMA, MVOTMA.

Lemunyon, J.L. & R.G. Gilbert. 1993. Concept and need for a phosphorus assessment tool. *J. Prod. Agric.* 6(4):483-486.

Mallarino, A.P., Stewart, B.M., Baker, J.L., Downing, J.D., Sawyer, J.E.. 2002. Phosphorus indexing for cropland: overview and basic concepts of the Iowa phosphorus index. *Journal of Soil and Water Conservation* 57:440-447

Mallarino, A. P., Barcos, S. R., Prater, J. R. & Wittry, D. J. 2009. Timing of broadcast phosphorus fertilization for no-till corn and soybean. *Soil Science Society of America Journal*, 73(6), 2143-2150.

Marston, F.; Young, W.; Davids, R. 1995. Nutrient generation rates Data book. CMSS CSIRO. 2da edición.

McDowell Richard W. & David Nash. 2012. A Review of the Cost-Effectiveness and Suitability of Mitigation Strategies to Prevent Phosphorus Loss from Dairy Farms in New Zealand and Australia. *Journal of Environmental Quality* 2012 41: 3: 680-693.

Mclvor, J. G., Guppy, C. & Probert, M. E.. 2011. Phosphorus requirements of tropical grazing systems: the northern Australian experience. *Plant and soil* 349, 55-67.

Méndez S., et al., 1988. Estudio de las características físico-químicas del agua de una zona del Río Santa Lucía (Uruguay). *Revista de la Asociación de Ciencias Naturales del Litoral* 19(2):

Menzel, R.G. 1980. Enrichment ratios for water quality modeling. p. 486–492. In W. Knisel (ed.) *CREAMS: A field scale model for chemicals, runoff, and erosion from agricultural management systems*. Vol. I. Model documentation. USDA Conservation Research Rep. 26. U.S. Gov. Print. Office, Washington, DC.

Ministry of Agriculture, Fisheries and Food. 1994. *Fertilizer Recommendations for Agricultural and Horticultural Crops*. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, Reference Book 209. HMSO, London, UK

Moron A. & Baethgen. 1996. Relevamiento de la fertilidad de suelos bajo producción lechera en Uruguay. Serie técnica 73. INIA La Estanzuela.

Morón, A. 2010. Fertilización fosfatada y nitrogenada en pasturas: Principales conceptos para una fertilización eficiente y rentable. En *Jornada Técnica en Lechería*, San José, Agosto de 2010. Serie Actividades de Difusión Nro. 610. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria – INIA.

MVOTMA. 2013. “Cuenca Hidrográfica Río Santa Lucía. Plan de acción para la protección de la calidad ambiental y la disponibilidad de las fuentes de agua potable”. Ministerio de Vivienda y Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente. Uruguay.

Pérez Bidegain M., Helmers, M.J. & R. M. Cruse. 2010. Modeling phosphorus transport in an agricultural watershed using the WEPP model. *Journal of Environmental Quality* 39: 2121-2129

Pérez Bidegain J. G., M., Terra J. & J Sawchik. 2012. WEPP as tool for enabling a more comprehensive analysis of the environmental impacts of soil erosion. *Agrociencia, Special Issue*. 268-273.

Petraglia, C. et al. 2013. Cuenca del Río Santa Lucía: relevamiento de la localización y área de cultivos extensivos de verano 2012-2013 en base a imágenes satelitales. *Anuario 2013, OPYP, MGAP*.

Piñeiro, V. & Perdomo, C. 2014. Pérdidas de fósforo soluble en pasturas convencionales y campo natural en un sitio ubicado en la cuenca del Río Santa Lucía. Poster presentado en el 6°

Congreso Uruguayo de la Ciencia del Suelo, Colonia del Sacramento. Uruguay, 6 al 8 de agosto de 2014.

Puentes, R. 1983. Una metodología para evaluar la capacidad de uso de las tierras. Primeros resultados. MAP-IIICA. Montevideo, Uruguay.

Reckhow K. H., Beaulac M.N and Simpson J. T. 1980. Modeling phosphorus loading and lake response under uncertainty: a manual and compilation of export coefficients. U. S. EPA, Washington, DC. EPA 440/5-80-011.

Renard, K.G., G.R. Foster, G.A. Weesies, D.K. McCool, y D.C. Yoder. 1997. Predicting Soil Erosion by Water: A guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). In A. R. S. United State Department of Agriculture, (ed.), Vol. Agriculture Handbook Number 703.

Sawyer, J.E., Iowa State University. Disponible en:
<http://www.agronext.iastate.edu/soilfertility/presentations/mbotest.pdf>

Sharpley, A.N., P.J.A. Kleinman, R.W. McDowell, M. Gitau, and R.B. Bryant. 2002. Modeling phosphorus transport in agricultural watersheds: Processes and possibilities. J. Soil Water Conserv. 57:425–439.

Sharpley, A., et al., 2011. Revision of the 590 nutrient management standard: SERA-17 recommendations. SERA-IEG 17 Bulletin. White Paper.

Sharpley, A.N., and S.J. Smith. 1994. Wheat tillage and water quality in the Southern Plains. Soil Tillage Res. 30:33-38.

Soto, C., & Reinoso, V. 2012. Suplementación con fósforo en ganado de carne a pastoreo. REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria, 13(7), 1-13.

Stumm, W. 1973. The acceleration of the hydrogeochemical cycling of Phosphorous. Water Research 17:131-144.

The 4R Nutrient Stewardship. Disponible en: <http://www.nutrientstewardship.com/about>

The Cornell University - Northeast Region Certified Crop Adviser (NRCCA), Fertilizer Application Methods. Disponible en: <http://nrcca.cals.cornell.edu/nutrient/CA4/CA0434.php>

Tiessen, K.D.H., et al., 2010. Conventional and conservation tillage: Influence on seasonal runoff, sediment, and nutrient losses in the Canadian Prairies. J. Environ. Qual. 39:964 - 980.

Tommasino, H., & Y. Bruno, 2005. *Bases para la definición de productores familiares, medios y grandes*(Montevideo).

UdelaR. 2013. "Informe sobre la calidad del agua en la cuenca del Río Santa Lucía: estado de situación y recomendaciones". Informe presentado al CDC (21/5/2013). Responsables del informe: Decanos Eduardo Manta de la Facultad de Química, Héctor Cancela de la Facultad de Ingeniería, Juan Cristina de la Facultad de Ciencias y Fernando García Préchac de la Facultad de Agronomía.

Ward Good, L., J. Panuska, & P.Vadas. 2010. Current calculations in the Wisconsin P Index.

Disponible en:

http://wpindex.cals.wisc.edu/wp-content/uploads/2011/10/PIndexCalc_11_18_20101.pdf

Ward Good L. 2012. Wisconsin Phosphorus Index. Reduce Soil P. Consultado el 10 de febrero de 2015. [ONLINE]. Disponible en: <http://wpindex.soils.wisc.edu/managing-runoff-p/reduce-soil-test-p-to-reduce-runoff-phosphorus-losses-over-the-long-term/>

Zhou X., Alkaisi M. & M. J. Helmers. 2009. Cost effectiveness of conservation practices in controlling water erosion in Iowa. *Soil and Tillage Research* 106 (1): 71-78.

Anexo

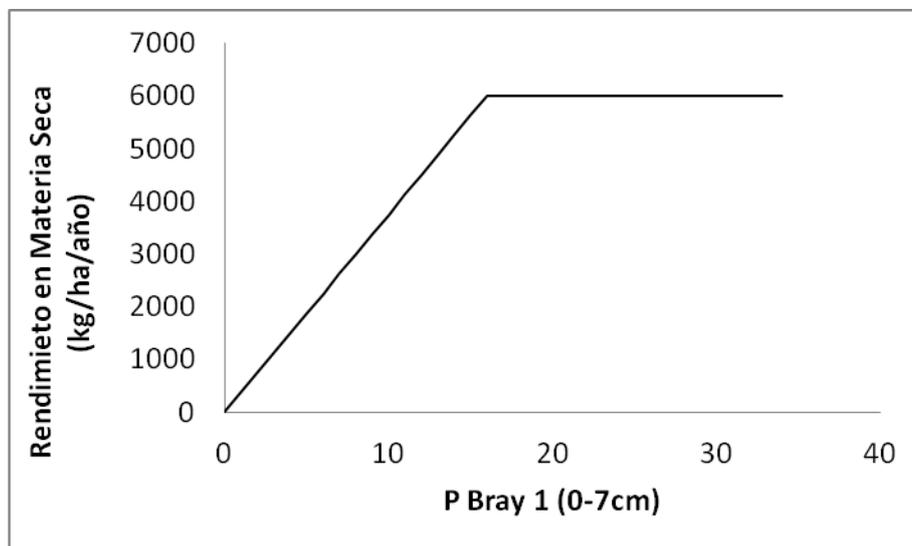
1. Áreas de Enumeración Censales para la Cuenca del Santa Lucía

101007	306001	318002	905003
102001	306002	318003	905004
102002	306003	318004	905005
102003	306004	318006	906004
102004	306005	318007	907003
301001	306006	319001	1601001
301002	306007	319002	1601002
301003	307001	319003	1602001
301004	307002	319004	1602002
301005	307003	319005	1602003
301006	307004	319006	1602004
301007	307005	701005	1603001
301999	307006	702005	1603002
302001	308001	803001	1603003
302002	308002	803002	1603004
302003	308003	803003	1603005
302004	308004	803004	1603006
302005	308005	803005	1605001
302006	308006	804001	1605002
303001	309001	804002	1605004
303002	309002	804003	1606001
303003	309003	804004	1606002
303004	309004	804005	1606003
303005	309005	804006	1606004
303006	309006	805001	1607001
303007	310001	805002	1607002
304001	310002	805003	
304002	310003	805004	
304003	310004	805005	
304004	310005	805006	
304005	310006	805007	
304006	310007	903005	
304007	310008	904003	
304008	311001	904004	
305001	311003	904005	
305002	312001	904006	
305003	312002	904007	
305004	312003	905001	
305005	318001	905002	

2. Estimaciones preliminares de funciones de respuesta de rendimientos por hectárea a nivel de P

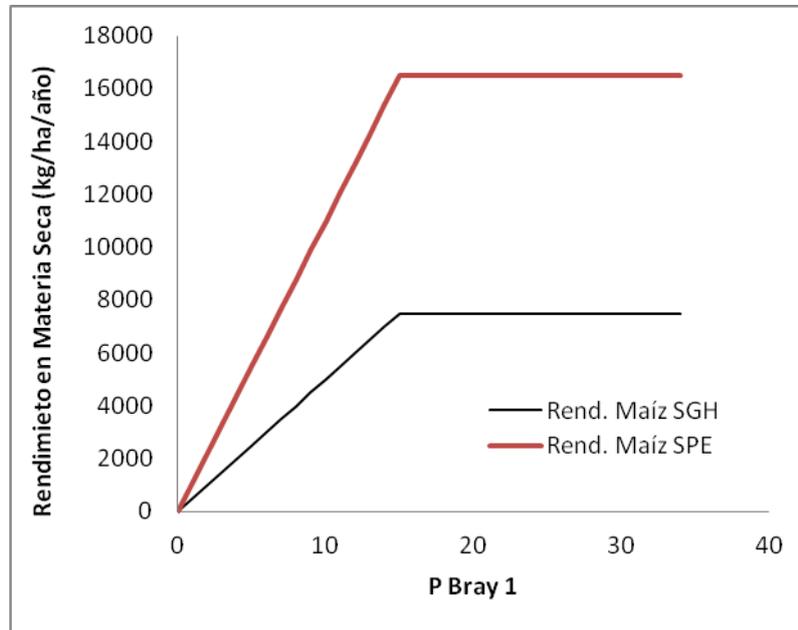
Los cultivos específicos a considerar en el estudio se determinan a partir de las rotaciones de cultivos presentadas en el cuadro IV.1 del cuerpo del Informe. Estas rotaciones de cultivos son típicamente utilizadas en lechería, y tienen como cultivos al sorgo o maíz (como cultivo de verano), avena (como cultivo de invierno) y al trébol blanco (entre las pasturas permanentes). Requerimos estimar las funciones de respuesta de dichos cultivos. La figura A.1 muestra el caso del trébol blanco en el que el rendimiento aumenta con el nivel de P en el suelo hasta las 16 ppm alcanzando el *plateau* en 6000 kg de materia seca por hectárea por año (MS/ha/año).

Figura A2.1 Función de respuesta del trébol blanco al nivel de P Bray 1



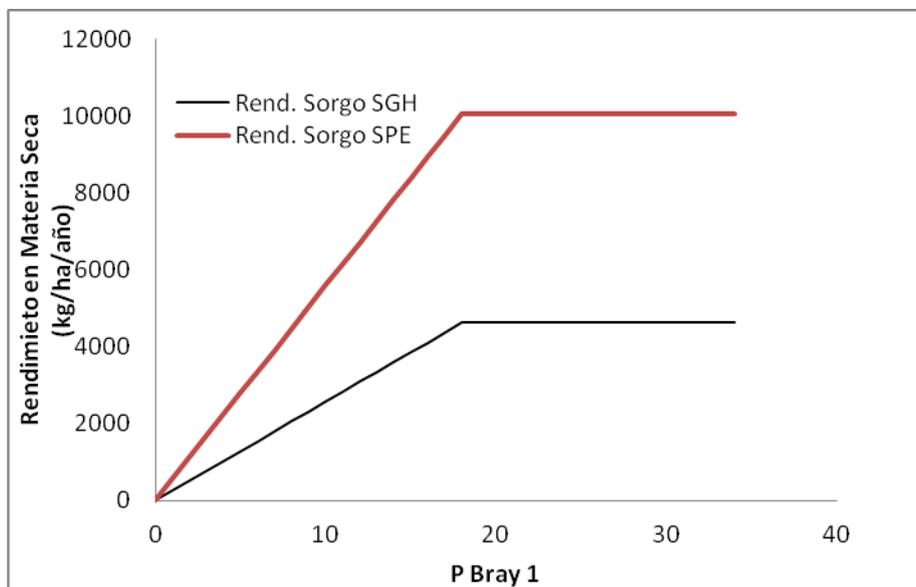
Similarmente, la figura A2.2 muestra el caso del maíz tanto para silo de grano húmedo (SGH) como de silo de planta entera (SPE). En el primero el rendimiento crece con el nivel de P en el suelo hasta las 18 ppm (Dodd y Mallarino, 2005) alcanzando el *plateau* en 7500 kg de MS/ha/año, y en el segundo a los 16480 kg de MS/ha/año (Méndez y Davies).

Figura A2.2 Función de respuesta del maíz al nivel de P Bray 1. Silo de grano húmedo (SGH) y silo de planta entera (SPE).



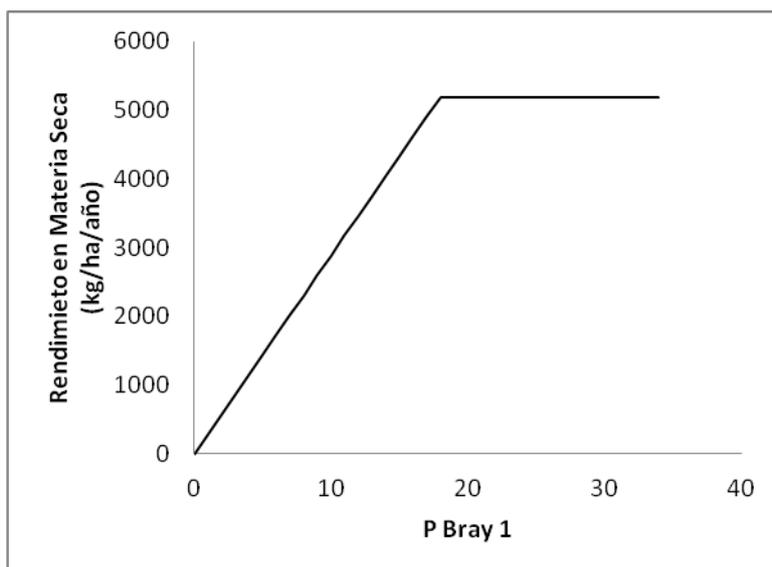
Por su parte, el sorgo en silo de grano húmedo también crece con el nivel de P en el suelo hasta los 18 ppm (por falta de evidencia en Uruguay tomamos el valor del maíz que es otro cultivo cerealero), alcanzando el *plateau* en los 4630 kg de /MS/ha/año. Para el sorgo en silo de planta entera el rendimiento deja de crecer a los 10066 kg de MS/ha/año (Giorello, 2012). La figura A2.3 ilustra ambas funciones de producción.

Figura A2.3 Función de respuesta del sorgo al nivel de P Bray 1. Silo de grano húmedo (SGH) y silo de planta entera (SPE)



Finalmente, el caso de la avena forrajera (ver figura A2.4) muestra el rendimiento creciendo hasta las 18 ppm (nuevamente por falta de experimentos en Uruguay y por tratarse de otro cereal tomamos el valor del maíz) y alcanzando el *plateau* a los 5192 kg MS/ha/año (Ojuez, Lauric, Siolotto y Ventimiglia).

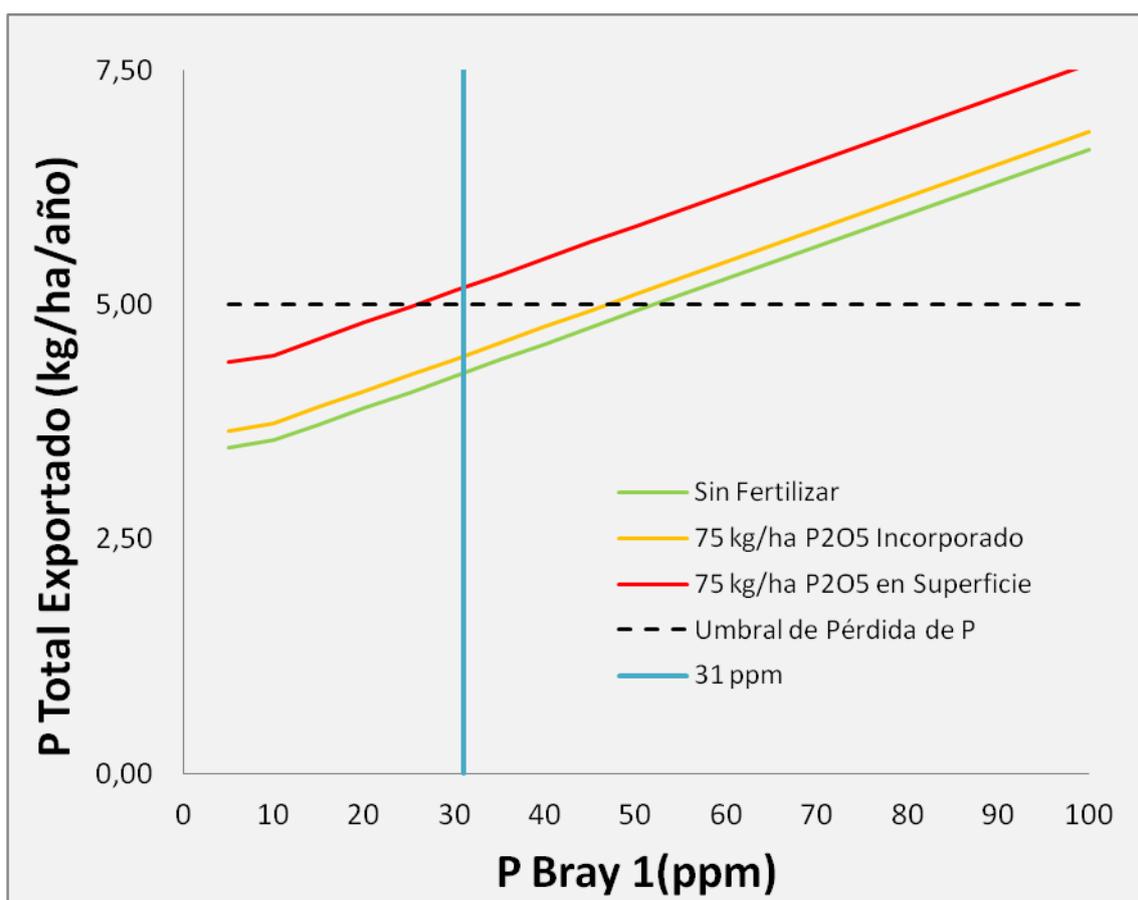
Figura A2.4 Función de respuesta de la avena forrajera al nivel de P Bray 1



3. Exportaciones de P en función del nivel de P Bray 1 en el suelo

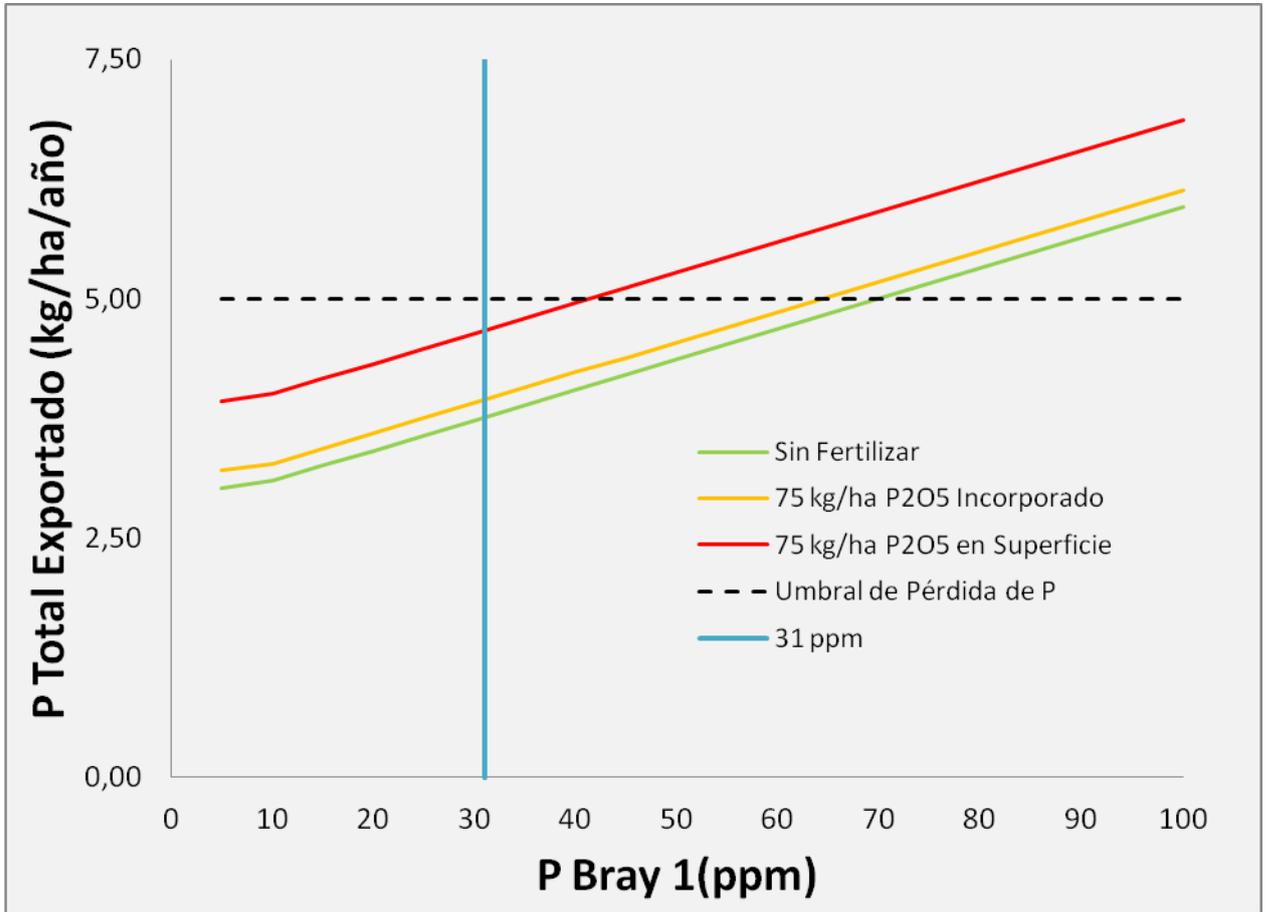
En el estudio se discuten las alternativas que poseen los productores para reducir las exportaciones de P desde los predios lecheros para un promedio de rotaciones de cultivos y para un promedio de los grupos de suelos más típicos de la cuenca del Río Santa Lucía. Seguidamente se presentan separadamente los gráficos para cada uno de los tipos de suelos, asumiendo para ahorrar espacio, que sobre ellos se lleva adelante un promedio de las 4 rotaciones de cultivos seleccionadas para este estudio (presentadas en el cuadro IV.1). Cabe destacar que el hecho de que las medidas propuestas pueden ser de tipo productor-específico, ya que el regulador cuenta con información suficiente de los predios como para implementarlas (por ejemplo a raíz de la aplicación de los planes de uso y manejo de suelos de la lechería), los gráficos más abajo se pueden presentar para cada uno de los pares de rotación-grupos de suelos.

Figura A3.1 Exportaciones de P en función del nivel de P en el suelo; umbral de 31 ppm, y umbral de exportaciones de P de 5 kg P/ha/año, para grupo de suelo Isla Mala.



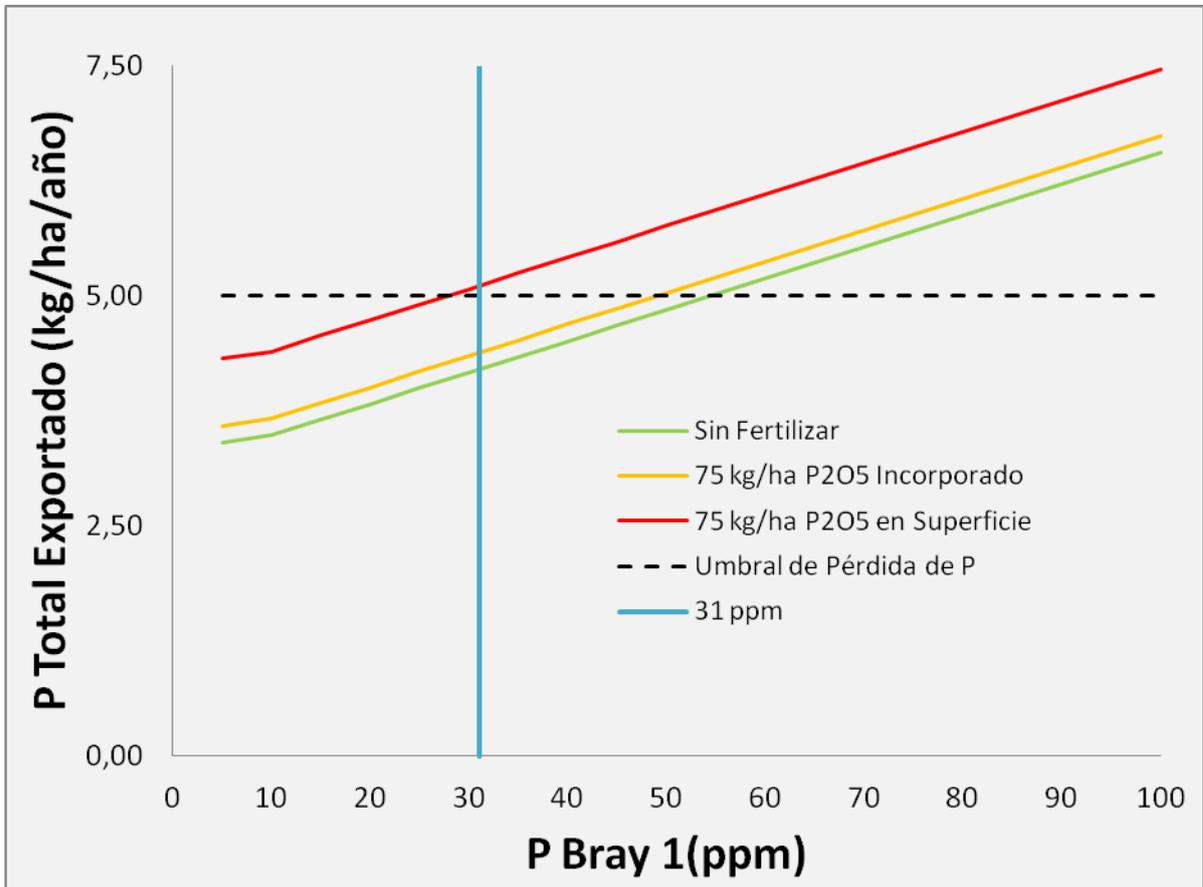
Nota: Erosión promedio de las 4 rotaciones analizadas es de 5,0 ton/ha

Figura A3.2 Exportaciones de P en función del nivel de P en el suelo; umbral de 31 ppm, y umbral de exportaciones de P de 5 kg P/ha/año, para grupo de suelo Kiyu



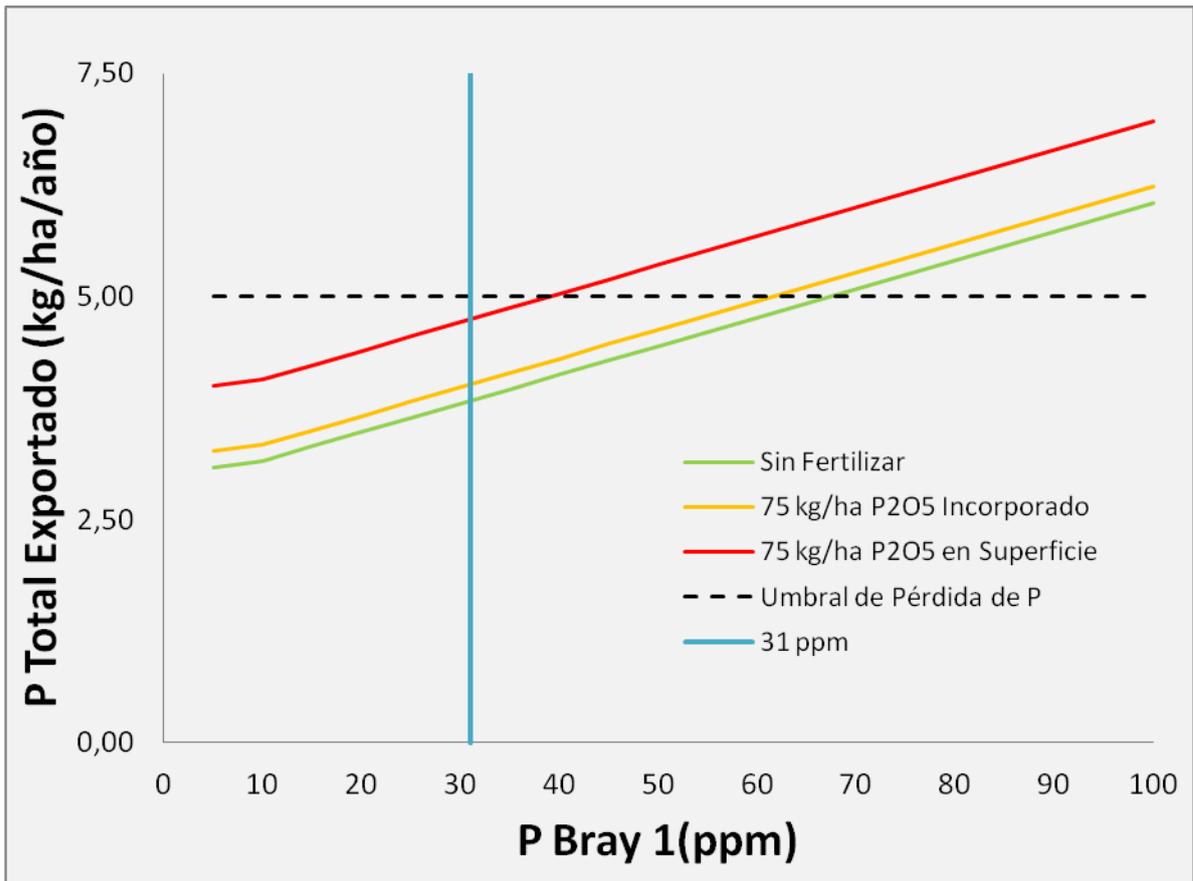
Nota: Erosión promedio de las 4 rotaciones analizadas es de 4,3 ton/ha

Figura A3.3 Exportaciones de P en función del nivel de P en el suelo; umbral de 31 ppm, y umbral de exportaciones de P de 5 kg P/ha/año, para grupo de suelo La Carolina



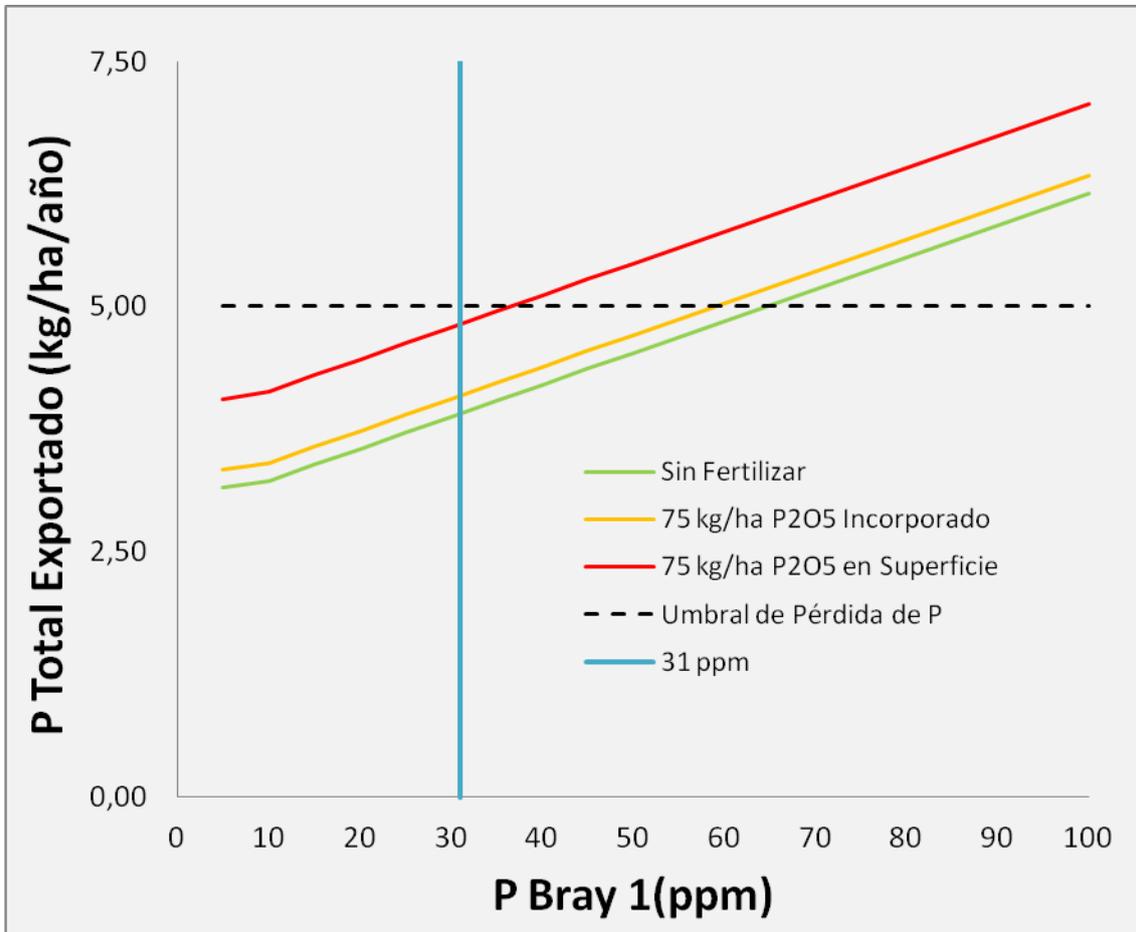
Nota: Erosión promedio de las 4 rotaciones analizadas es de 4,9 ton/ha

Figura A3.4 Exportaciones de P en función del nivel de P en el suelo; umbral de 31 ppm, y umbral de exportaciones de P de 5 kg P/ha/año, para grupo de suelo San Ramón



Nota: Erosión promedio de las 4 rotaciones analizadas es de 4,9 ton/ha

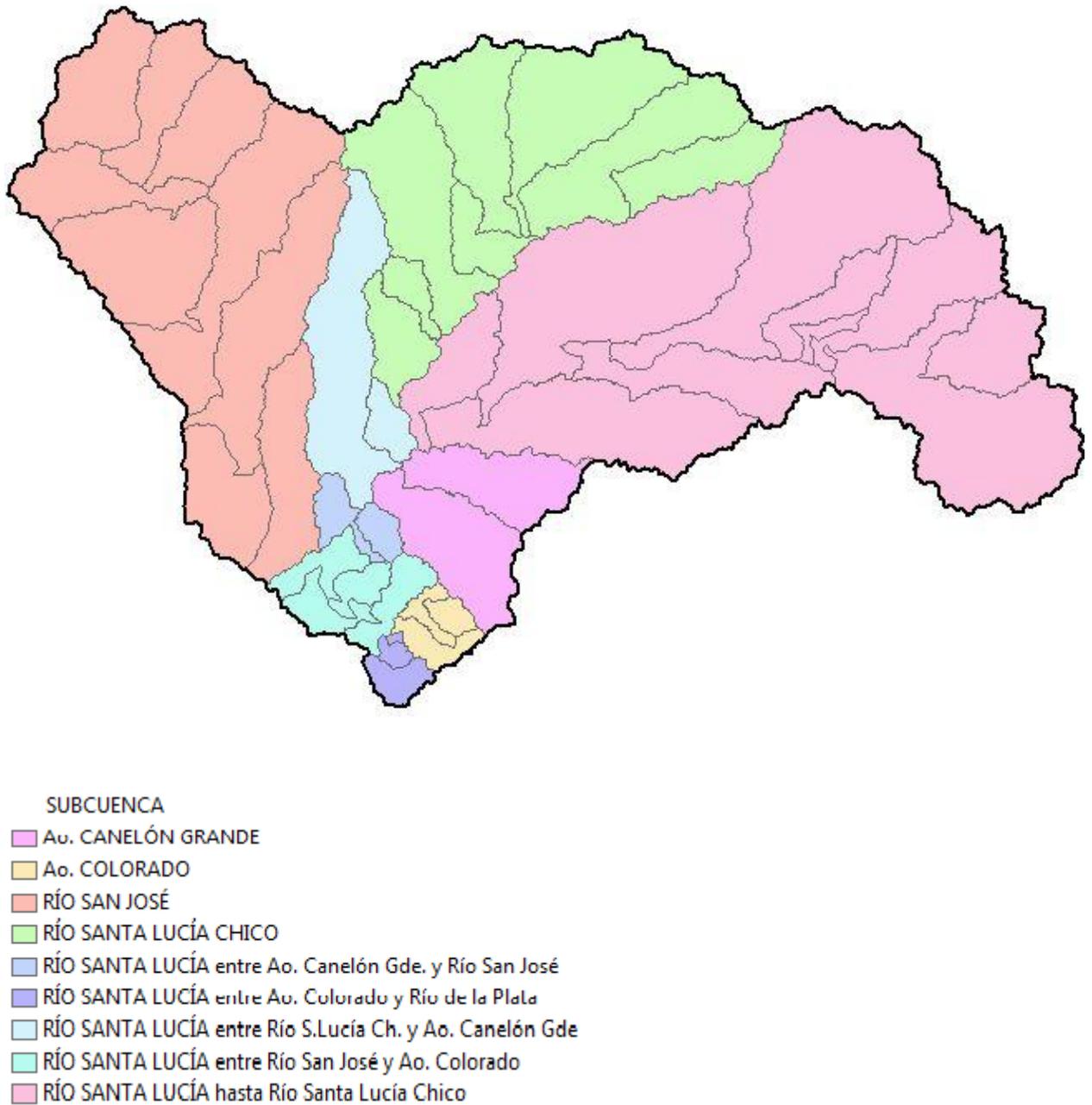
Figura A31.5 Exportaciones de P en función del nivel de P en el suelo; umbral de 31 ppm, y umbral de exportaciones de P de 5 kg P/ha/año, para grupo de suelo Tala-Rodríguez



Nota: Erosión promedio de las 4 rotaciones analizadas es de 4,5 ton/ha

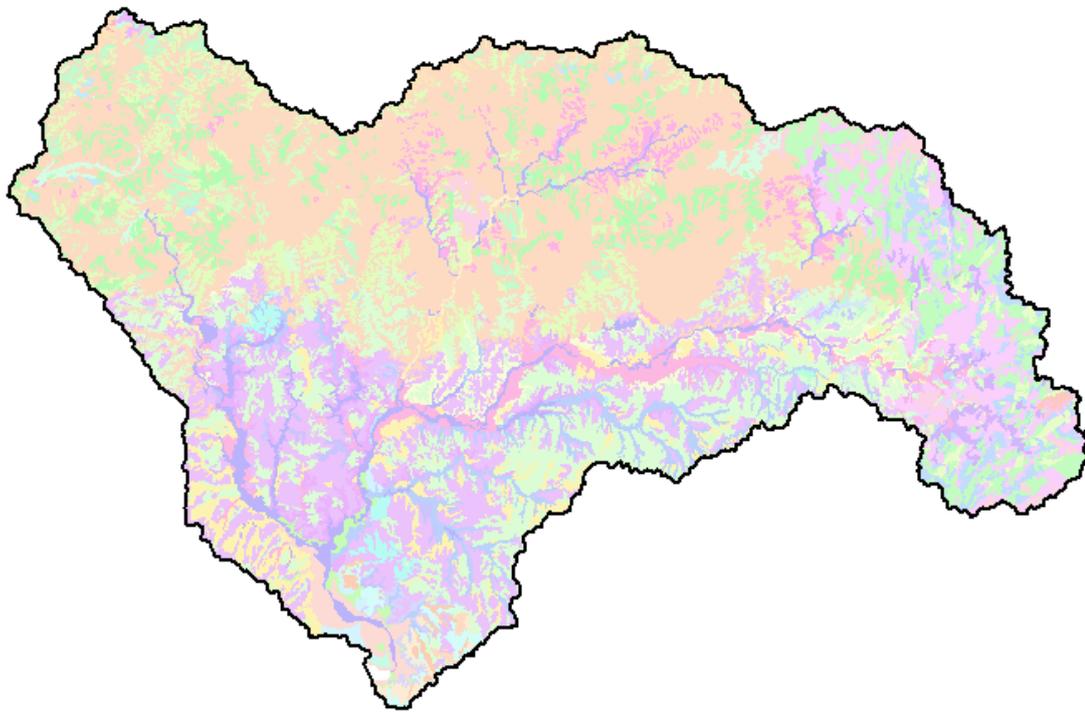
4. Mapas complementarios de la Cuenca de Santa Lucía

Figura A4.1 Esquema de subcuencas en la cuenca total



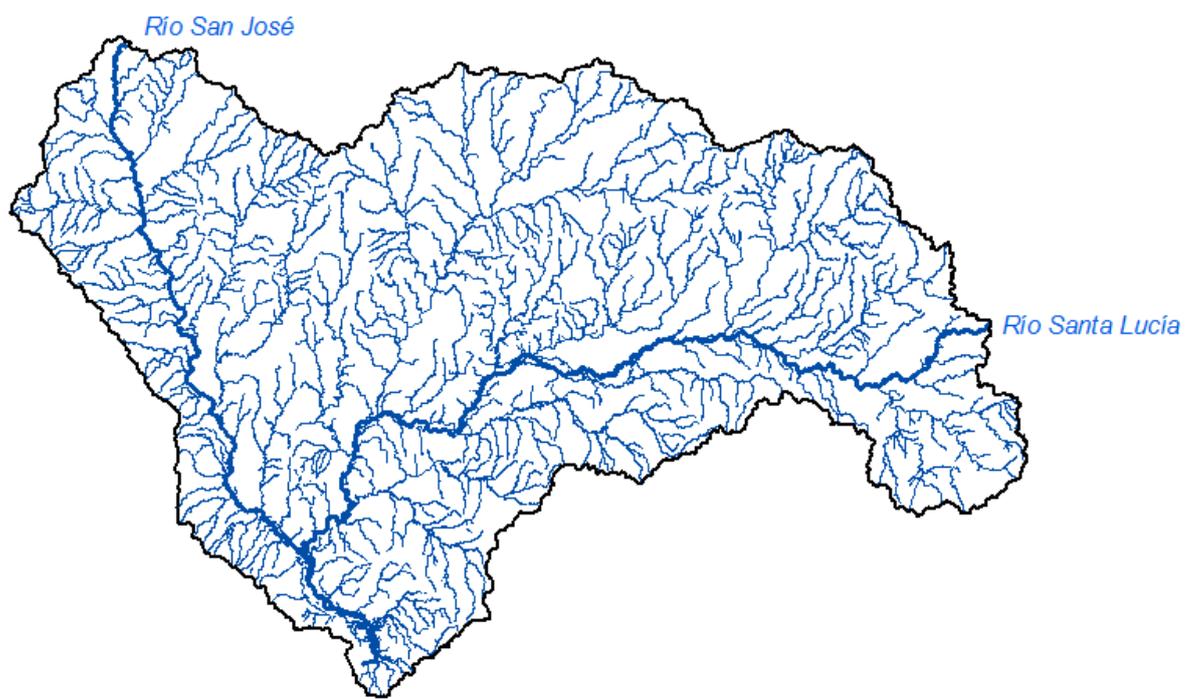
Fuente: Procesamientos SIG realizados por el Agrim. Edison Rosas sobre la base de información de AGESIC.

Figura A4.2 Índice de productividad (CONEAT), del área de la Cuenca de Santa Lucía



Fuente: Procesamientos SIG realizados por el Agrim. Edison Rosas sobre la base de información de AGESIC.

Figura A4.3 Hidrografía de la Cuenca de Santa Lucía



Fuente: Procesamientos SIG realizados por el Agrim. Edison Rosas sobre la base de información de AGESIC.