

Impacto de la producción lechera en la calidad del agua

Rafael Arocena¹, Guillermo Chalar¹, Carlos Perdomo², Daniel Fabián¹, Juan Pablo Pacheco¹, Mauricio González¹, Vanesa Olivero¹, Macarena Silva¹, Patricia García¹

Introducción

Se presentan algunos resultados del proyecto de investigación “Medidas para la mitigación del impacto de la lechería en la calidad de agua de la cuenca lechera del embalse Paso Severino”. Este proyecto, que está aún en ejecución, es financiado por INIA a través de un Proyecto FPTA. En esta cuenca ha ocurrido un fuerte incremento en la actividad lechera en las últimas décadas, lo cual puede tener efectos negativos sobre la calidad del agua no solo de ríos y arroyos sino también sobre el embalse, que es una importante reserva de agua potable para Montevideo, Florida y Canelones. El objetivo del proyecto es precisamente cuantificar este problema para minimizar su impacto.

Metodología

Para alcanzar este objetivo se buscan relaciones entre el modo de producción y manejo de efluentes en los tambos y la calidad de los sistemas de agua, a efectos de proponer luego las mejores prácticas de manejo que puedan mitigar el problema. Asimismo se evalúa la calidad del agua y el estado trófico del embalse de Paso Severino.

Se estudiaron diez microcuencas de la misma ecoregión, similares en superficie y jerarquía de sus arroyos. Una de ellas, sin actividad lechera, fue seleccionada como cuenca control para contrastar los efectos con aquellas de uso lechero. Cinco microcuencas son afluentes directos del embalse Paso Severino (Fig. 1), una desemboca aguas arriba de la cola del embalse, en el Santa Lucía Chico, y cuatro en el afluente derecho de éste, el arroyo Pintado.

Las microcuencas fueron definidas y analizadas con base en la carta Uruguay 1:50000 del Servicio Geográfico Militar, imágenes satelitales, carta geológica, de suelos y de ecosistemas, así como censos agropecuarios. Los predios, su forma de producción y manejo de efluentes fueron relevados mediante encuestas que incluyeron a todos los productores de las microcuencas.

Se realizaron muestreos de agua de pozos dentro de las microcuencas y se realizaron análisis de nitrato, amonio y coliformes fecales. Se tomaron muestras de suelo en campo natural y pradera para determinar el fósforo disponible para las plantas (P-Bray1). La evaluación de las aguas superficiales se realizó en un tramo de 50 m del arroyo efluente de cada microcuenca. La calidad ecológica del sistema se estudió mediante relevamiento de la vegetación riparia en un área de 50 m de ancho a ambos lados de cada tramo, así como del estado de las orillas, el canal y el sedimento.

Los parámetros físicos y químicos del agua superficial fueron analizados mensualmente y estacionalmente los macroinvertebrados bentónicos, habitantes del sedimento, empleados como indicadores de calidad del agua. Para identificar el origen de la materia orgánica particulada (MOP) de los cursos fluviales, se determinó su relación C/N y sus valores de delta ¹³C y delta ¹⁵N.

En el embalse de Paso Severino se realizaron 10 muestreos de agua, fitoplancton y zooplancton durante dos ciclos anuales. Los muestreos se concentraron en verano para contemplar la mayor probabilidad de ocurrencia de floraciones algales. Toda esta información se combinó y analizó mediante un Sistema de Información Geográfico.

¹ rarocena@fcien.edu.uy. Sección Limnología, Instituto de Ecología y Ciencias Ambientales, Facultad de Ciencias, Universidad de la República, Uruguay.

² chperdom@fagro.edu.uy. Departamento de Suelos y Aguas, Facultad de Agronomía, Universidad de la República, Uruguay.

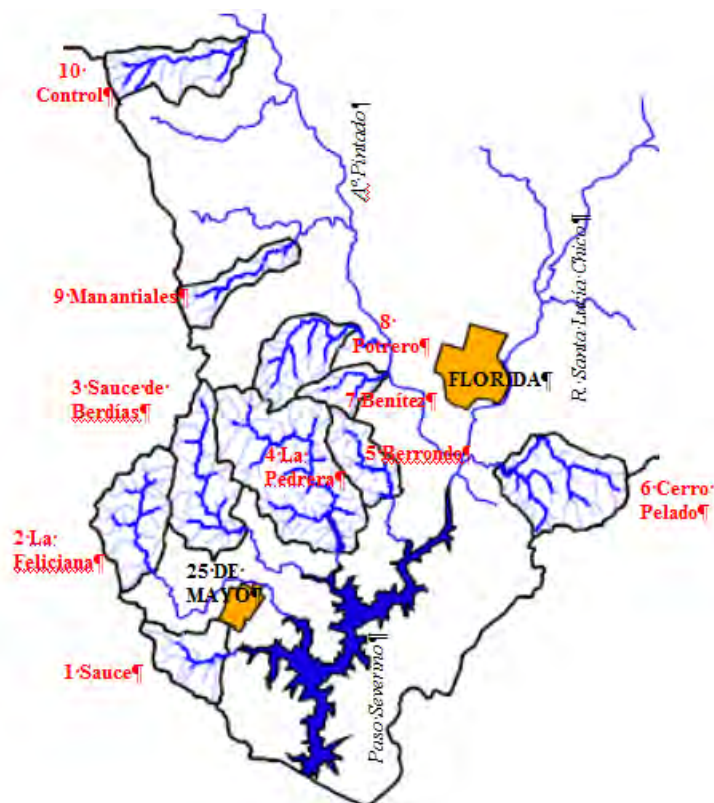


Figura 1. Área de estudio en la cuenca lechera de Paso Severino con las diez microcuencas seleccionadas para el proyecto.

Resultados

Se relevaron en total 97 predios rurales donde viven 363 personas. De los 80 predios productivos, 42 son lecheros y 31 de ellos vierten los efluentes dentro de las microcuencas estudiadas (tabla 1). Solo en la tercera parte de los tambos se separan los sólidos del estiércol y solo en la mitad se realizan tratamiento de efluentes.

El 80% de los pozos de agua presentaron coliformes aunque por debajo del estándar (2000 UFC/100 mL). El amonio fue indetectable, mientras el nitrato excedió el estándar para consumo humano (10 mg.N/L) en 7 de las 10 cuencas (tabla 2). El nivel de P-Bray1 de “campo natural” (0-15 cm) estuvo por encima de los valores “originales” de 4-6 ppm, indicando historia de fertilización previa. En praderas sembradas estos niveles fueron incluso superiores a los asociados con la máxima productividad de pasturas (30 ppm). Por encima de estos valores, parte de este P es movilizado hacia los cuerpos de agua provocando contaminación.

La transparencia del agua de cursos superficiales mostró una tendencia opuesta al caudal indicando una mayor carga de sólidos arrastrados durante las crecidas. Las mayores transparencias se registraron en general en el arroyo control (menos perturbado). Una quinta parte de los valores de oxígeno disuelto estuvieron por debajo del estándar para aguas no urbanas (5 mg/L), registrándose junto al vertido de un tambo valores menores a 1 mg/L. En este punto se registró además la mayor y más variable concentración de amonio ($190 \pm 277 \mu\text{g/L}$). Los menores valores de amonio ($11 \pm 9 \mu\text{g/L}$) y nitrato ($31 \mu\text{g/L}$) se observaron en el arroyo control. Los valores de nitrógeno total ($350 \pm 380 \mu\text{L}^{-1}$) y fósforo total ($484 \pm 343 \mu\text{L}^{-1}$) fueron muy variables, pero disminuyeron en zonas de menor actividad lechera.

La abundancia y la diversidad (Shannon 2.5-3.8) de invertebrados bentónicos fueron similares en casi todos los arroyos, pero la composición taxonómica mostró claras diferencias en relación al grado de impacto. Según el Índice Trófico-Biótico (TSI-BI) desarrollado para la cuenca del Santa Lucía, dos arroyos (incluyendo control) clasificaron como eutróficos, y el resto como hipereutróficos. Estos últimos muestran una menor abundancia relativa de Ephemeroptera, grupo

relacionado con buena calidad de agua, y mayor de Gastropoda y Bivalvia, descritos como tolerantes a la contaminación.

Los valores isotópico de C y N orgánicos particulados así como su relación C/N resultaron muy similares a los de las fracciones finas del horizonte A del suelo, indicando su origen en la erosión.

El embalse de Paso Severino presentó valores altos de oxígeno (promedio 9.7 mg/L). Más del 80% del fósforo total (332 µg/L) fue reactivo soluble. El nitrógeno total (901 µg/L) incluyó algunos valores altos de nitrato (290 µg/L) y amonio (57 µg/L). La alta biodisponibilidad de nutrientes resultó en algunos eventos de crecimiento excesivo del fitoplancton.

Consideraciones finales

En general, todos los arroyos presentan problemas de calidad de agua y están alterados físicamente. También el agua subterránea de posible consumo doméstico presenta problemas sanitarios. Se observa cierta correspondencia entre la calidad ambiental de los arroyos y el nivel de producción lechera en sus cuencas.

Los altos niveles de P disponible en el suelo indican que el agregado de fertilizantes fosfatados podría contribuir a la eutrofización de aguas superficiales. El embalse mostró algunas floraciones algales y dominio de cianobacterias en las desembocaduras de microcuencas con alta actividad lechera, por lo que se puede estar dando un proceso de eutrofización que a la larga desemboque en problemas sanitarios para el agua potable.

Se espera que el análisis más detallado y sobre bases estadísticas de los resultados obtenidos permita encontrar relaciones causales entre los datos socio-productivos de las microcuencas y los indicadores de calidad ambiental de sus sistemas acuáticos. La información obtenida será compartida con los productores, con el objetivo de proponer en forma participativa las mejores medidas para la mitigación del efecto ambiental de la producción lechera.

Existen muchas medidas posibles para mitigar los impactos de las actividades lecheras. Algunas son el reciclado de las excretas animales como fertilizante, el uso de suplementos alimenticios con menor contenido de nitrógeno en heces, la protección del monte ripario y de los cursos de agua para impedir el acceso directo de los animales, la construcción de plantas de tratamiento y humedales, etc.

Lechería: Cambios recientes y perspectivas

Mario Fossatti¹

Marco general

En los últimos 5-6 años los precios de los productos agropecuarios han tenido un crecimiento sostenido, alcanzando valores similares a los de las décadas de los 60 y 70 (gráfico 1). Los fertilizantes, metales y minerales han tenido una evolución parecida. Por su parte, el costo de la energía ha alcanzado los mayores precios de los últimos cincuenta años; lo que establece un nuevo marco para la economía en general, y la producción agropecuaria en particular.

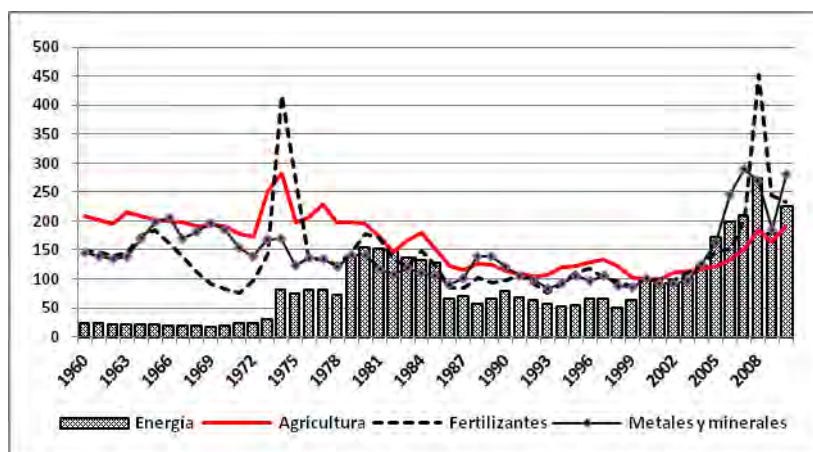


Gráfico 1. Evolución de los precios de diferentes materias primas. (U\$D 200=100, deflactado por MUV index)

http://ycharts.com/indicators/reports/world_bank_pink_sheet

El aumento de los precios de la energía (petróleo, gas, carbón) tiene fuertes implicancias en la producción agropecuaria, afectando los costos de producción, incrementando el costo de insumos que requieren energía para su producción (fertilizantes, por ejemplo) y aumentando los costos del transporte y de los procesos industriales.

Además, la producción de energía a partir de cultivos (etanol y biodiesel) ha generado una demanda adicional por cereales y oleaginosas.

Los precios de la energía, sin duda, seguirán siendo históricamente altos y crecientes. Por otra parte, por razones ambientales, es imprescindible reducir el consumo mundial de energía, en especial la obtenida a partir de las principales fuentes utilizadas en la actualidad (energía atómica, petróleo, carbón y gas). Además de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero, causantes del cambio climático, las fuentes más utilizadas para la producción de energía tienen otros efectos ambientalmente negativos. La extracción y transporte de petróleo también ocasiona graves daños ambientales: en los últimos 20 años han ocurrido 43 derrames de entre 300 y 1.770.000 toneladas.

El uso de energía atómica es objeto de un fuerte debate internacional. En los últimos 40 años han ocurrido 5 accidentes nucleares grado 5 o superior (escala INES de 0 a 7, en donde 7 es accidente grave) en centrales atómicas de generación eléctrica. Los dos más conocidos han sido Chernobyl y Fukuyima (grado 7).

Los precios de los productos de origen agropecuario

Como se señaló anteriormente, los precios de los productos agropecuarios se encuentran en los valores más altos de la últimas décadas, sostenidos por una mayor demanda internacional,

¹ Ing. Agr., Coordinador Lechero, FUCREA.

asociada al crecimiento demográfico, al aumento del consumo de la población de países con economías en crecimiento (China, India, Brasil, etc.) y a la demanda agregada de granos para la producción de biocombustibles.

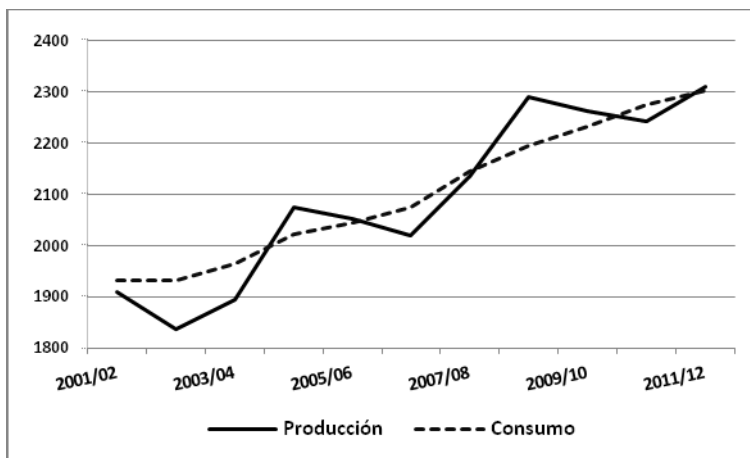


Gráfico 2. Producción y consumo mundial de granos (FAO, 2011).

Los precios de los lácteos han tenido una evolución similar al del resto de los alimentos, tal como lo muestra el Índice de precios de FAO (gráfico 3). En la última década, el consumo mundial de los principales commodities ha aumentado un 25% y el volumen físico de las exportaciones ha crecido un 38% (USDA, gráfico 3).

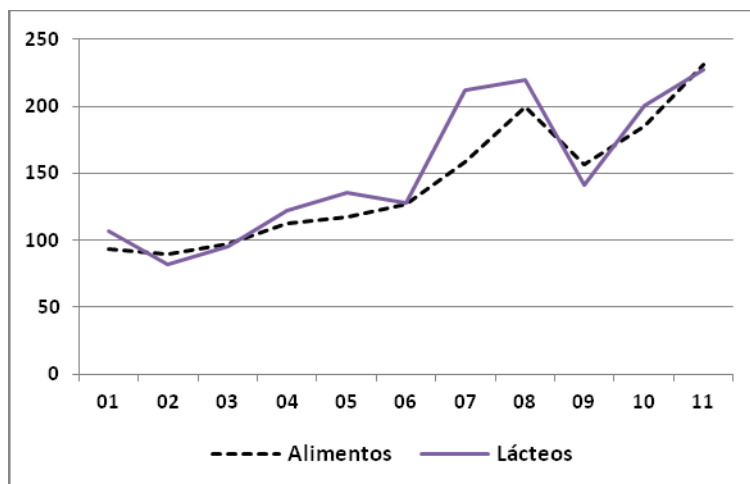


Gráfico 3. Índice FAO de precios de los alimentos y los lácteos (2002-2004=100) <http://www.fao.org/worldfoodsituation/wfs-home/foodpricesindex/es/>

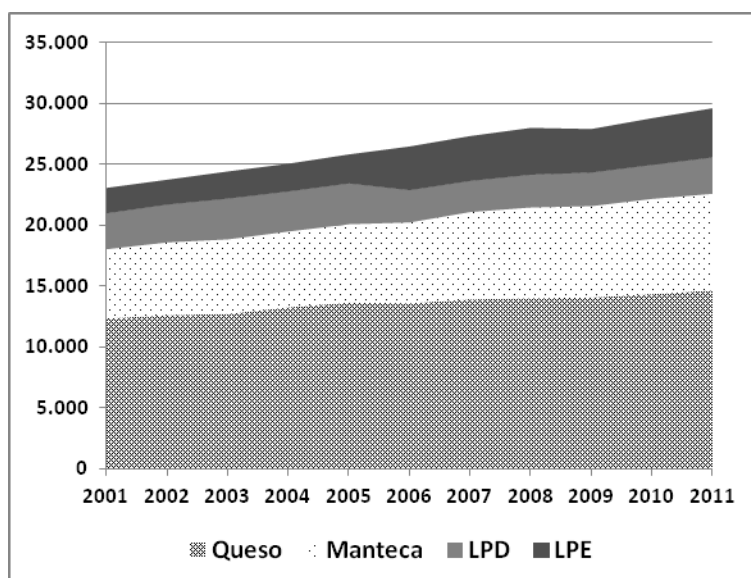


Gráfico 4. Consumo de lácteos (países seleccionados). (A partir de USDA) http://www.fas.usda.gov/dairy_arc.asp

Esta nueva situación se ha reflejado en los precios percibidos por los productores en los últimos cuatro ejercicios, los más altos de las últimas décadas, en dólares corrientes. El precio promedio fue de U\$D/l 0.328, el doble de la media de los 20 ejercicios anteriores.

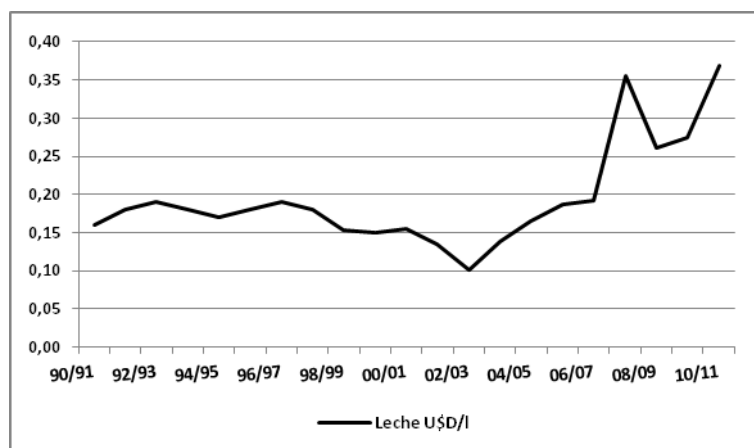
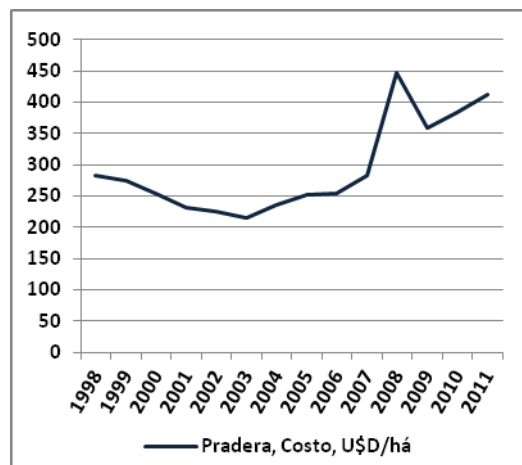
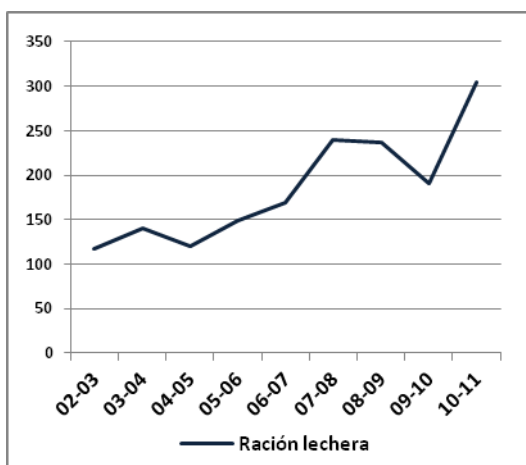
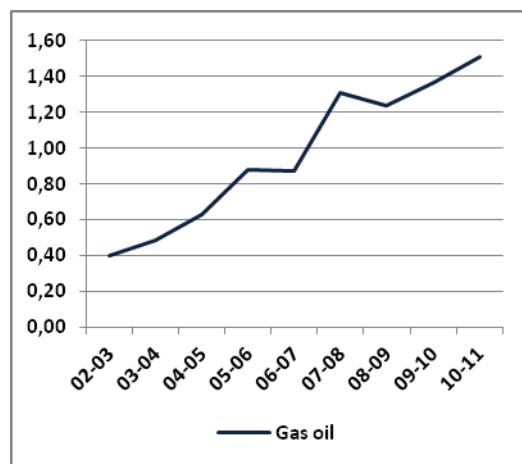
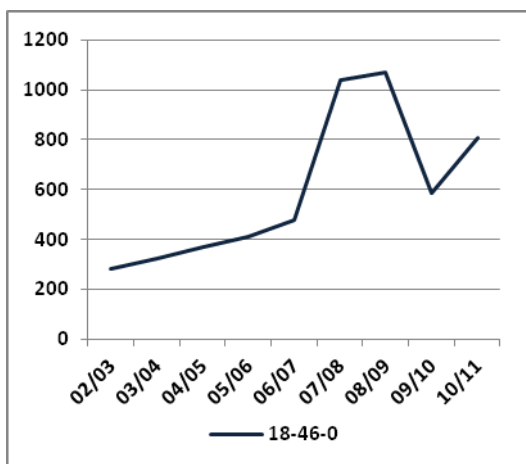


Gráfico 5. Precio por litro producido (Fucrea, Taller de Economía 2011).

En relación a las perspectivas futuras, por las razones anteriormente señaladas, se estima que los precios se mantendrán en valores históricamente altos, probablemente con fluctuaciones importantes, como las ocurridas en los últimos cuatro años. Sin embargo, también se coincide en que la actual crisis de los países desarrollados, pone un marco de incertidumbre a estas previsiones.

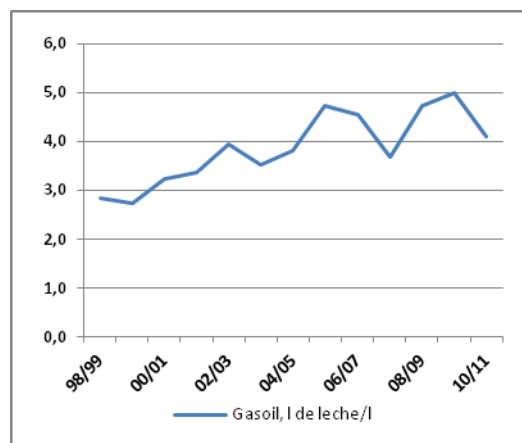
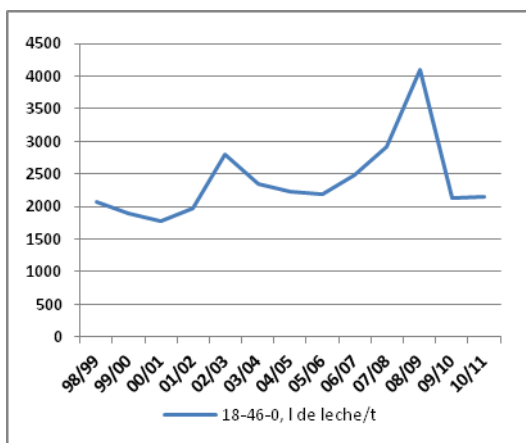
Los costos

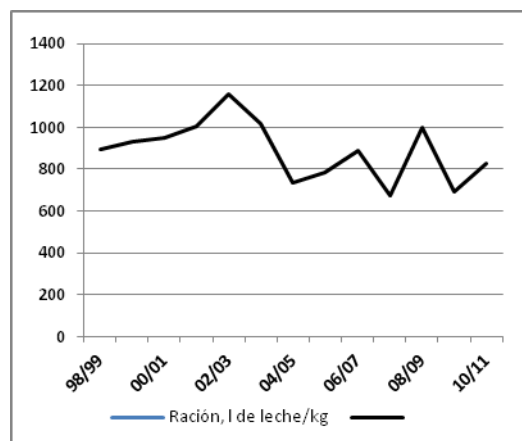
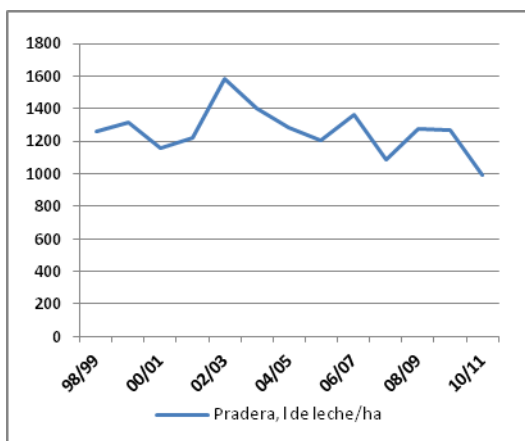
Los mismos procesos que han impulsado los precios de los productos, han incrementado los costos de algunos insumos clave, como es el caso del combustible, los fertilizantes y los concentrados (gráficos 6, 7, 8 y 9).



Gráficos 6, 7, 8, 9. Costo de distintos insumos y de instalación de una hectárea de pradera.

La evolución de las relaciones de precios entre la leche y éstos insumos se presentan en los gráficos siguientes:





Gráficos 10, 11, 12, 13. Litros de leche necesarios para comprar algunos insumos o instalar una pradera.

La relación de precios entre la leche, el costo los concentrados y las praderas se encuentra en valores históricamente favorables a la leche. La relación con el fertilizante ha tenido importantes fluctuaciones y se ha deteriorado con el combustible.

Los resultados de empresas lecheras de Fucrea muestran claramente cual ha sido la tendencia de los últimos ejercicios, con un aumento sostenido de los costos, especialmente los variables.

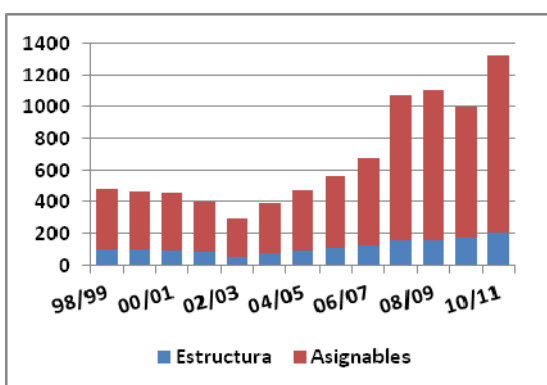


Gráfico 14. Insumos, U\$D/ha.

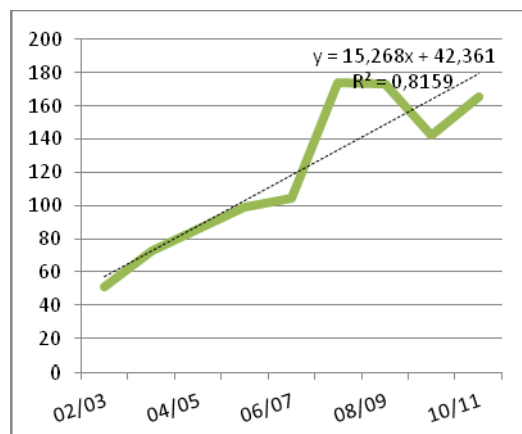


Gráfico 15. Semilla, fertilizante y agroquímicos, U\$D/ha.

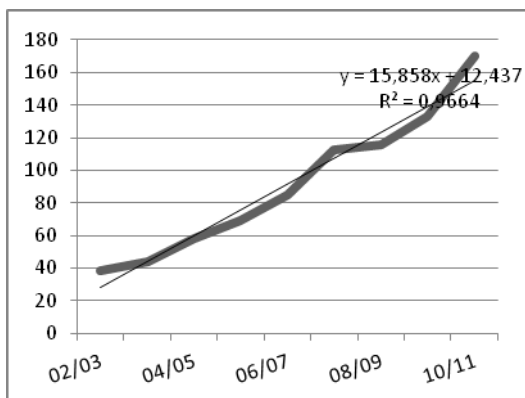


Gráfico 16. Trabajo, U\$D/ha.

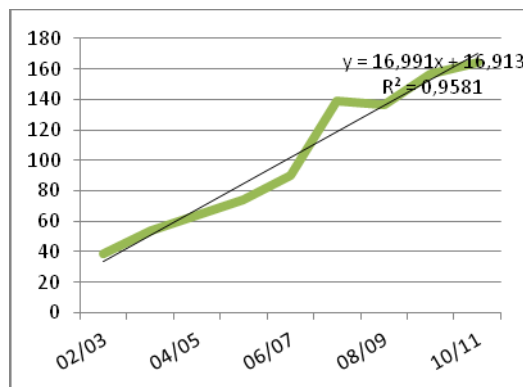


Gráfico 17. Maquinaria, U\$D/ha

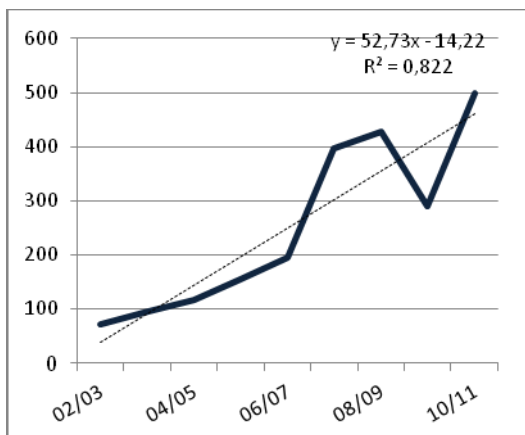


Gráfico 18. Alimentación del ganado, U\$D/ha.

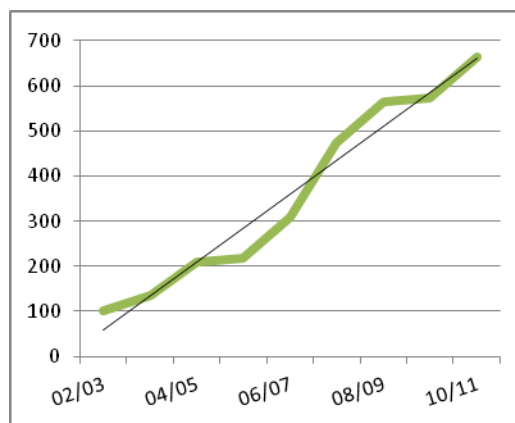


Gráfico 19. Arrendamientos, 02-03=100%.

Históricamente, los costos eran menores 600 U\$D/ha pero, en los últimos cuatro ejercicios, han superado los 1000 U\$D/ha, con una tendencia a continuar aumentando.

Es de destacar el fuerte incremento que han tenido los arrendamientos, fruto de una mayor demanda por tierra, fundamentalmente para agricultura. Este aspecto es especialmente importante, si se tienen en cuenta que, aproximadamente, la mitad de la tierra dedicada a lechería es arrendada. Probablemente, esto implique cambios tecnológicos en la producción de leche, ya sea porque la lechería tenga que realizarse en suelos de menor potencial, o porque haya que hacer planteos productivos complementarios con la agricultura que hagan sustentables las rotaciones.

Los resultados económicos y productivos

Como consecuencia de los buenos precios, en los últimos cuatro ejercicios, el ingreso del capital ha sido superior al promedio histórico, aunque ha tenido fluctuaciones importantes. En el ejercicio 08-09, la disminución del precio, el aumento de los costos y la sequía provocaron una fuerte disminución del ingreso de las empresas.

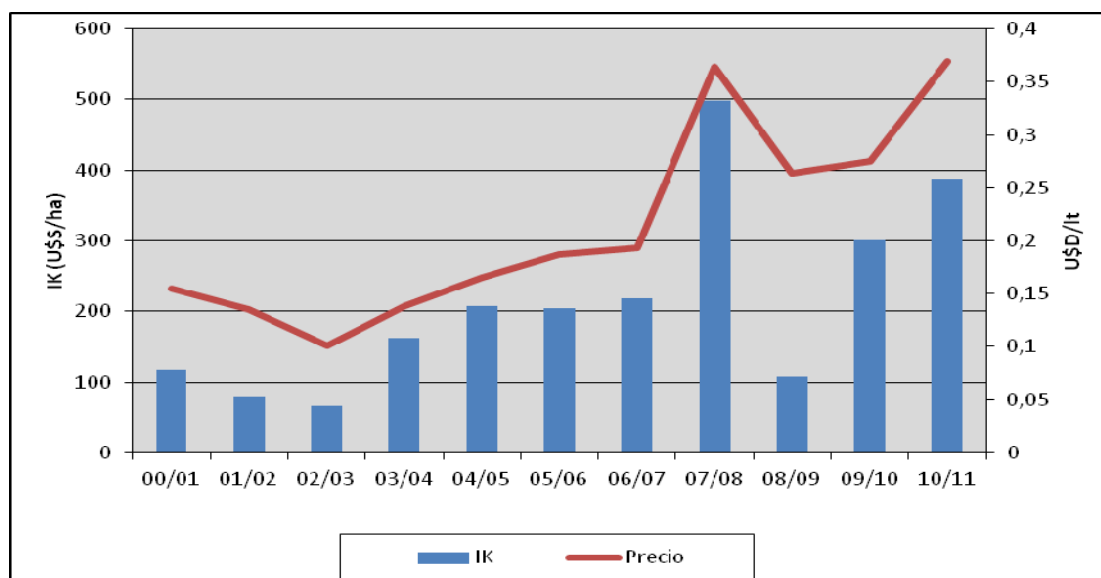


Gráfico 20. Precio e ingreso del capital de empresas lecheras de Fucrea (P. Rodiño, Taller de Gestión 2011. Fucrea).

En la figura siguiente puede verse la evolución de la producción desde el ejercicio 88-89.

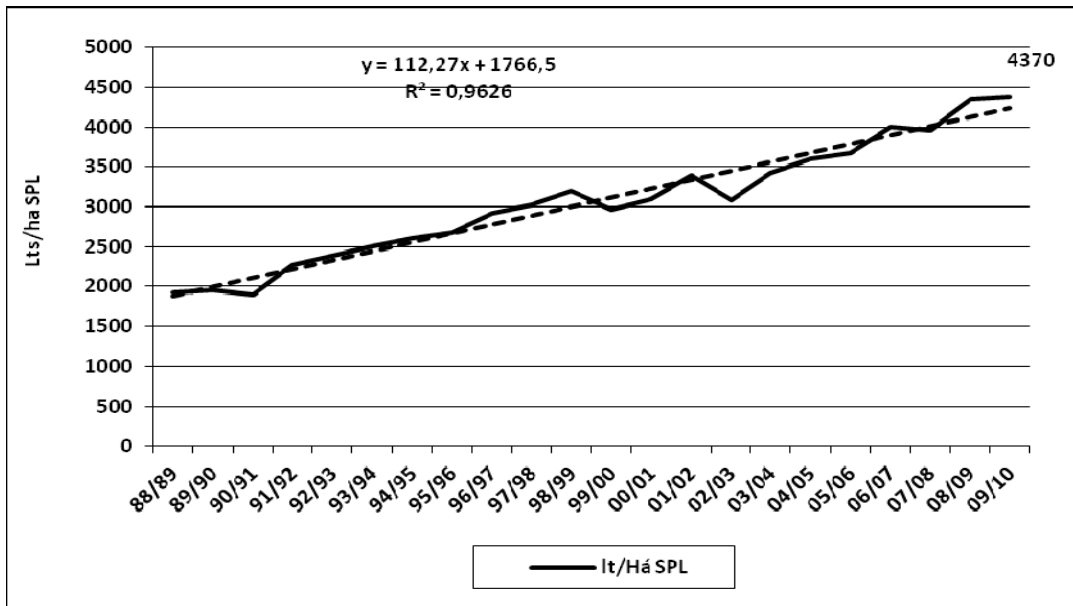


Gráfico 21. Producción por hectárea de establecimientos lecheros de Fucrea.

Los resultados anteriores ponen de relieve, una vez más, la gran capacidad de ajuste del sistema de producción lechero uruguayo, que le ha permitido lograr buenos resultados económicos e incrementar la productividad en forma sostenida, en circunstancias de clima y precio muy diversas; pudiendo tolerar situaciones muy adversas o capitalizar situaciones muy favorables, mediante ajustes en las rotaciones, la suplementación y los costos.

Proyecciones futuras

Se realizó una proyección de resultados para distintos niveles de precio de los concentrados; estimando que los costos aumenten según la tendencia de los últimos años, que se utilice la misma cantidad de concentrado que en el ejercicio 2010-2011 y que se logre un aumento de productividad del 5%.

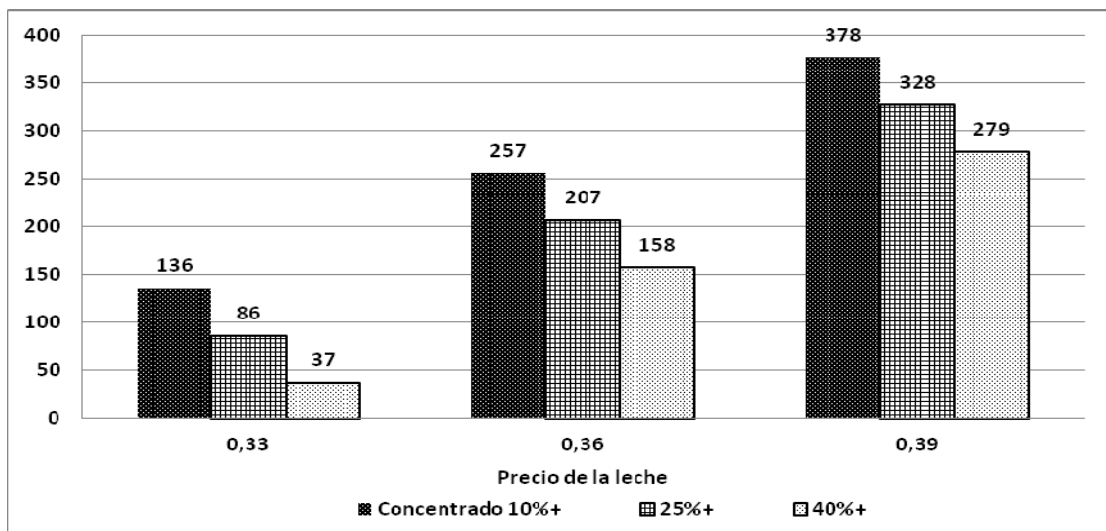


Gráfico 22. Variación del ingreso del capital en función del precio de la leche y los cambios en el costo de los concentrados.

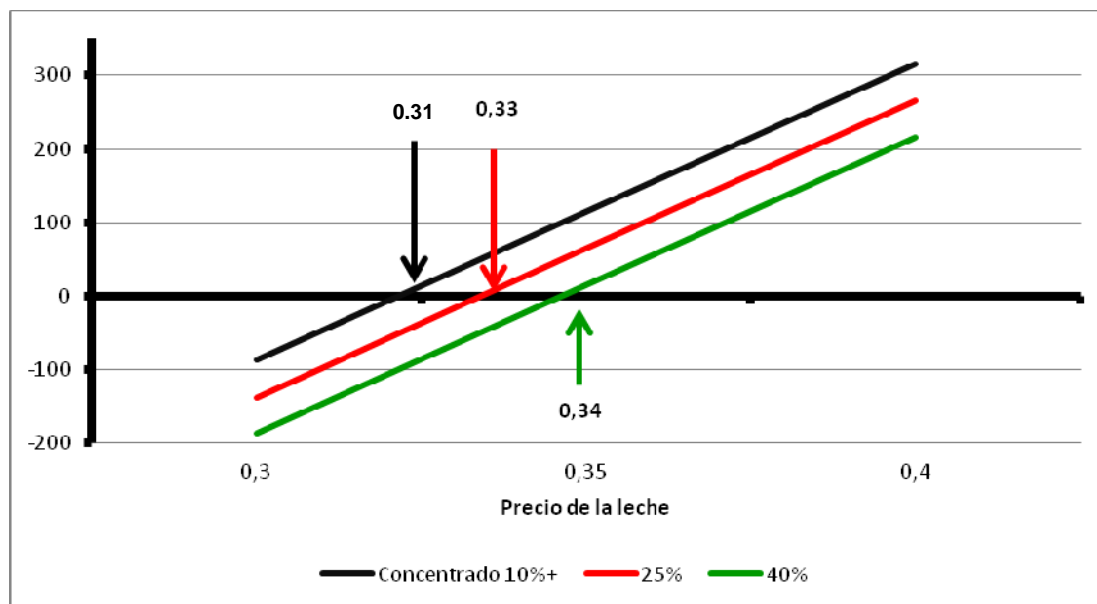


Gráfico 23. Precio de la leche necesario para cubrir rentas e intereses de deuda, a distintos costos de los concentrados.

En el corto plazo, los resultados indican que, a los costos actuales, el precio de la leche no debería ser menor a los U\$D 0.35 por litro para lograr resultados económicos razonablemente buenos. En caso contrario habrá que hacer ajustes a los planteos productivos para adaptarse a una nueva ecuación económica.

A no muy largo plazo, el sector deberá ajustar su sistema de producción, tomando en cuenta la necesidad de conservar los recursos naturales, preservar el medio ambiente y la biodiversidad y de disminuir el consumo de combustibles fósiles (tanto directa como indirectamente).

Avances en el estudio de la Huella de Carbono de la lechería en Uruguay

Laura Astigarraga¹, Valentín Picasso¹

Introducción

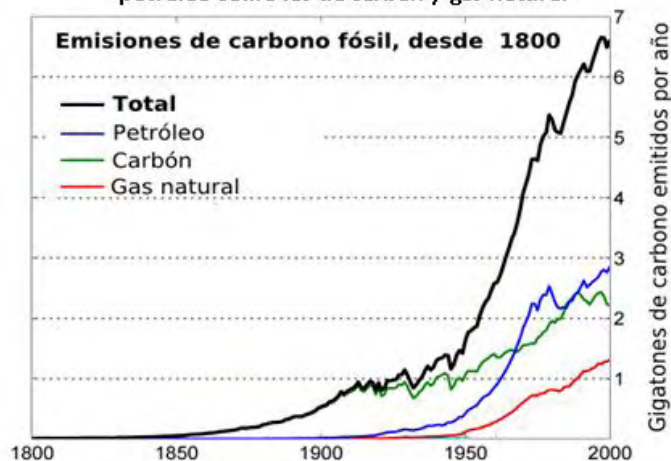
Durante los últimos años ha habido una preocupación creciente por la contribución que realiza el sector agroindustrial al cambio climático. La ganadería en particular ha sido identificada como un contribuyente mayor al calentamiento global según el informe de la FAO “La Larga Sombra del Ganado” (Steinfeld et al, 2006). Ello ha llevado a prestar atención sobre las principales fuentes de emisión de gases de efecto invernadero (GEI), agregando la Huella de Carbono en la etiqueta de los productos. Ya hay varios supermercados en la Unión Europea que utilizan esta información como un elemento adicional en la elección que hacen los consumidores al momento de comprar.

El calentamiento global

El calentamiento global actual está asociado al incremento de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de los cuales el CO₂ es el más abundante. El Efecto Invernadero es la absorción de la radiación infrarroja de la energía solar que llega a la Tierra, fenómeno que permite que la temperatura sobre la superficie terrestre sea unos 30 °C mayor que lo que sería sin este fenómeno, permitiendo la vida tal cual la conocemos actualmente. Los principales gases efecto invernadero, además del vapor de agua, son el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄) y el óxido nitroso (N₂O), con la particularidad que el metano tiene un poder de calentamiento 25 veces mayor al CO₂ y el óxido nitroso casi 300 veces mayor.

La concentración de CO₂ en la atmósfera ha aumentado de manera significativa desde la revolución industrial provocando el actual “calentamiento de la Tierra”. A partir del año 1950 se dispararon las emisiones debidas al uso de combustibles fósiles, tanto las de petróleo como las de carbón y gas natural.

En la Tierra a partir del año 1950 se dispararon las emisiones debidas a la combustión de combustibles fósiles, tanto las de petróleo como las de carbón y gas natural



Robert A. Rohde (Global Carbon Emission by Type)

Numerosa bibliografía señala que el aumento de la concentración de los GEI en la atmósfera está incrementando la temperatura en la Tierra y las estimaciones realizadas a través de modelos indican, para algunos escenarios de emisiones futuras, que antes de fin de siglo el aumento será mayor 2 °C (IPCC, 2007). Las observaciones directas de cambio recientes, a escala

¹ Facultad de Agronomía – UdelaR, astigarr@fagro.edu.uy

global y regional son el aumento de las temperaturas medias en el aire y en los océanos, el derretimiento de nieve y hielos, el aumento del nivel medio del mar.

En este marco, en 1997, se acuerda el Protocolo de Kyoto donde los países industrializados se comprometen a reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero. El objetivo es un recorte conjunto de las emisiones de gases de efecto invernadero de al menos el 5% con respecto a los niveles de 1990 en el periodo de compromiso de 2008-2012. Los países que han comprometido reducción de emisiones están englobados en el anexo I y son los países industrializados que pertenecen a la Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE) más algunos países con economías en transición, como la Federación de Rusia, países Bálticos y varios países de Europa central y oriental. Es así que surge la necesidad de crear una “governabilidad” de las emisiones de GEI a nivel de estos países, que esta repercutiendo en los productos de origen agropecuario y a futuro, posiblemente también en las importaciones que estos países realicen desde países agroexportadores como es el caso de Uruguay.

Una nueva competitividad

En este escenario es posible y probable que no alcance solo con la competencia en base a costos de producción y aparezcan nuevos criterios como la competitividad “ambiental”. Estos nuevos criterios pueden considerarse para-arancelarios pero es esperable que comiencen a pesar en las negociaciones internacionales

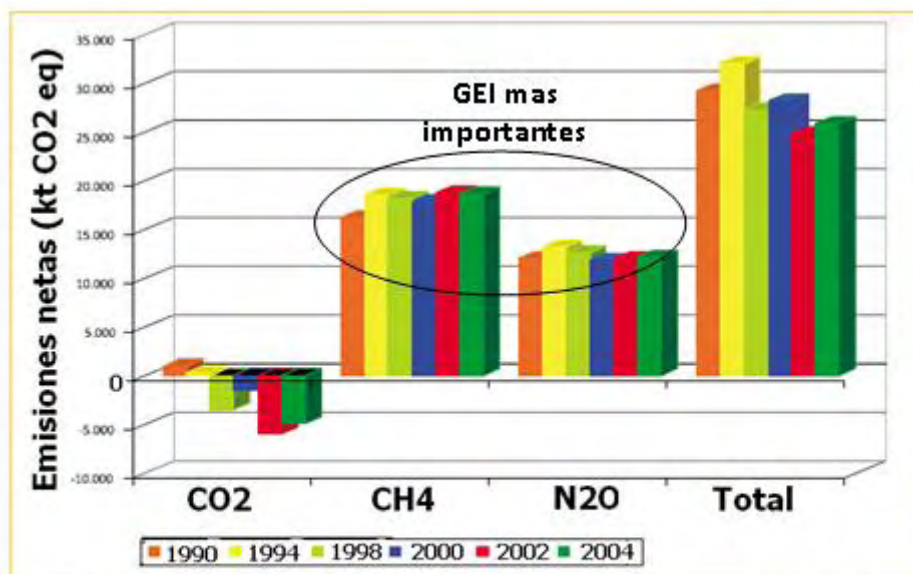
Los países industrializados firmantes del Protocolo de Kyoto, fundamentalmente la Unión Europea, están derivando fondos a los países en desarrollo para contribuir a la mitigación de las emisiones de GEI. Estos países son a su vez los mercados más codiciados para la colocación de nuestros productos provenientes del agro, y van a comenzar a hacer pesar esta condición.

En este sentido es de esperar que a corto o mediano plazo, se comience a pedir que las exportaciones que se realizan a estos países incluyan la información sobre la huella de carbono (y tal vez también algunos otros indicadores ambientales como la contaminación por N y por P) por unidad de producto exportado. Hay que prepararse para una presión que va a llegar desde los países industrializados por “fiscalizar” cuáles son las condiciones en las que se producen desde el punto de vista ambiental para los productos exportados a estos mercados.

Situación de Uruguay en las emisiones de Gases Efecto Invernadero

Uruguay como país firmante del Protocolo de Kyoto se ha comprometido a presentar Inventarios Nacionales de Emisiones de GEI anuales, aunque al no ser parte de los países que firmaron el Anexo I de este protocolo, aún no ha comprometido niveles de reducción de emisiones a diferencia de los países industrializados firmantes de este acuerdo.

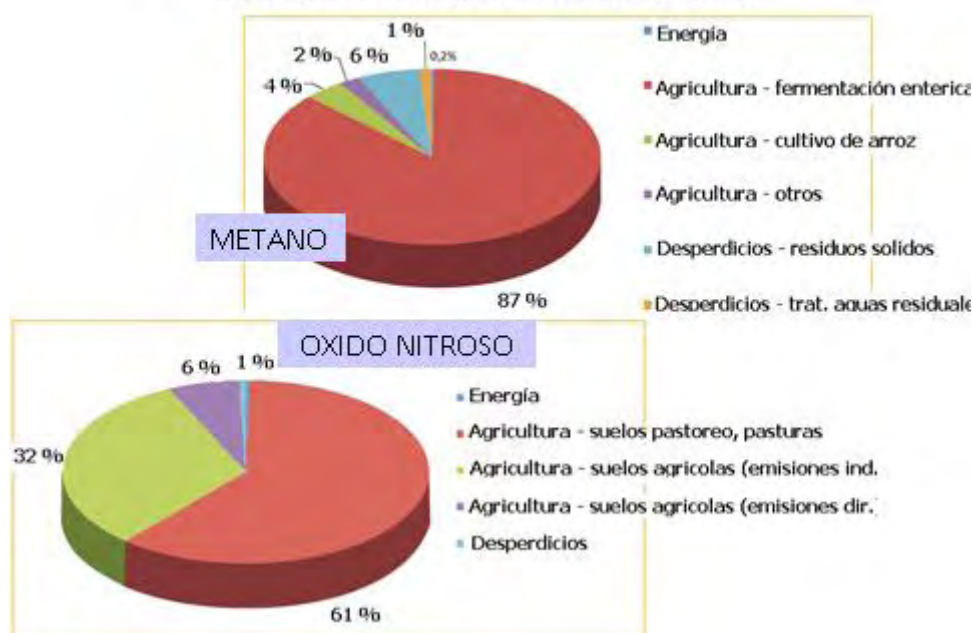
Con respecto a los países desarrollados, el Uruguay es un país que presenta una participación en las emisiones de GEI per cápita (se expresa per cápita en el entendido que todo los habitantes de la Tierra tienen “derecho” a contaminar la misma cantidad) mayor al promedio mundial pero sensiblemente menor a la de los países industrializados: este indicador es aproximadamente 8 t CO₂ eq. según el último Inventario de Emisiones de GEI realizado por Uruguay (situación para el año 2004, DINAMA 2010).



Entre 1990 y 2004, las emisiones nacionales expresadas en equivalentes de CO₂, disminuyen 11% (absorción de CO₂ por parte de la biomasa leñosa y de los suelos)

La particularidad en nuestro caso es que a diferencia del promedio mundial, el 80 % de las emisiones de GEI provienen de la producción agropecuaria, y en particular de la ganadería.

El peso relativo del metano y del oxido nitroso de la agricultura es importante en Uruguay

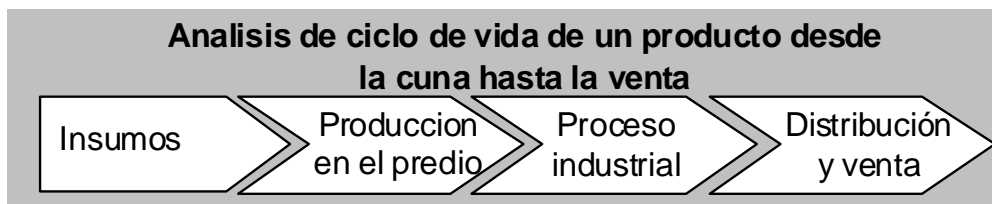


El origen de las emisiones de metano proviene fundamentalmente de las emisiones que realizan los rumiantes como producto final de la fermentación de los alimentos que ocurre en el rumen. Con respecto al óxido nitroso, la principal fuente de emisiones es la excreción de N por la orina de los animales y el fertilizante nitrogenado aplicado tanto en los cultivos para grano como en pasturas.

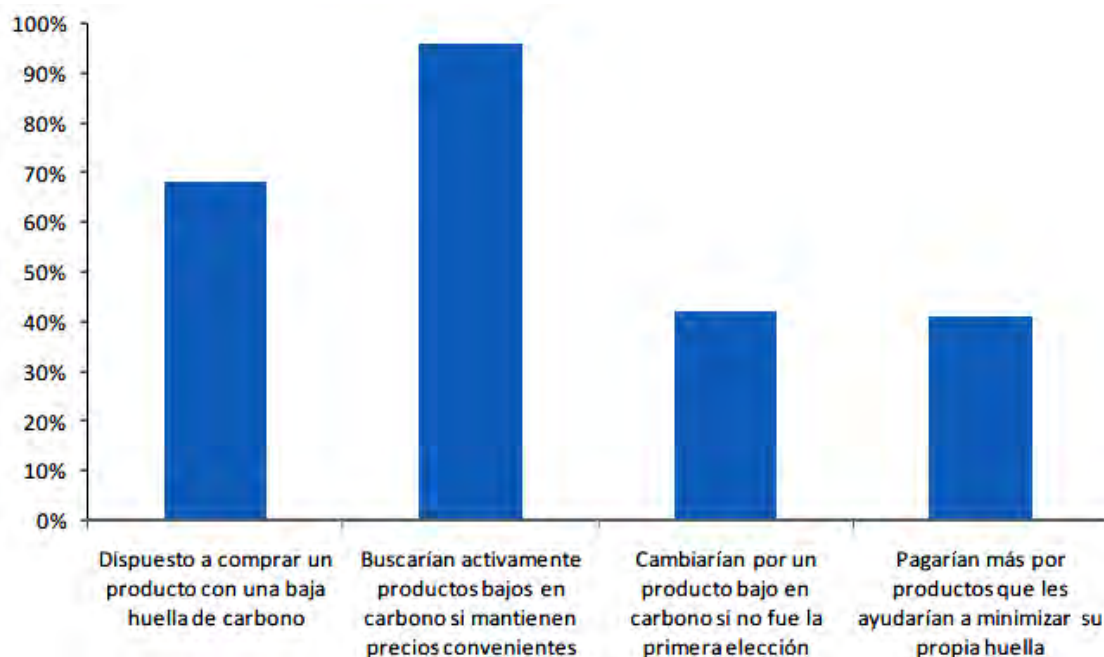
En la medida que Uruguay tiene un stock vacuno y ovino importante, y que tiene un número de habitantes bajo, el indicador de emisiones de metano y de oxido nitroso por habitante es alto.

La “Huella de Carbono” de los productos de origen agropecuario

La “huella del carbono” es la suma de los GEI (expresada en CO₂ equivalente) que están asociados a la producción de un determinado bien, en este caso, de los productos como la carne y la leche. En este análisis se calculan toda las emisiones de GEI tanto por los insumos que se utilizan (fertilizantes, concentrados, combustibles, electricidad) como por el propio proceso productivo. Inclusive, para productos ya manufacturados como puede ser el queso, se calculan también las emisiones por la industrialización, por el empaquetado y por el transporte (muchas veces interoceánico) antes de llegar a las manos del consumidor (UK Carbon Trust 2008).



Ya hay varios supermercados en la Unión Europea que utilizan esta información, agregándola junto con el resto de las especificaciones del producto como información adicional para los consumidores (Thomas y Preece, 2008). Una encuesta realizada por la cadena de supermercados TESCO (2008) arrojó la siguiente preferencia de los consumidores (extraído del informe CEPAL, 2010):

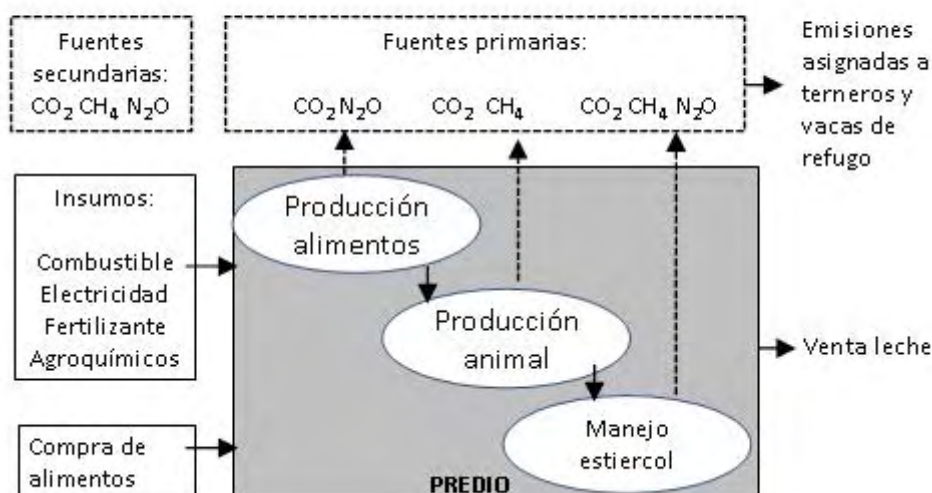


Los países que lideran este proceso son Inglaterra donde varias cadenas de supermercados ya lo aplican y Francia con la ley Grenelle que entró en vigencia en enero 2011, promoviendo el etiquetado carbono de los productos. Dados estos hechos de acceso a mercados cada vez más rigurosos y restrictivos en materia ambiental, surge como una necesidad para los países agroexportadoras como Uruguay, de valorar la huella de carbono de sus principales productos de exportación (Viglizzo, 2010).



El análisis de la huella de carbono de los productos tanto cárnicos y como lácteos muestra claramente que aproximadamente el 80% de las emisiones de GEI se producen en la fase primaria, es decir en el proceso productivo a nivel de los establecimientos agropecuarios (Ledgard et al. 2010). Esto es lo que ha puesto a la ganadería (y en menor proporción a la agricultura) en cuestión, como un contribuyente importante en las emisiones de GEI.

Esquema de las principales fuentes de emisiones de GEI en un sistema de producción de leche



Adaptado de Rotz, 2009

Las fuentes principales de GEI a nivel de predio son:

- metano producido por la fermentación de la fibra en rumen (fermentación entérica)
- óxido nitroso y metano relacionadas con estiércol (manejo líquido de la bosta)
- óxido nitroso y dióxido de carbono relacionadas con la fabricación y el uso de fertilizantes (para pasturas y/o para producción de grano)
- dióxido de carbono relacionadas con el uso de combustible y el uso de electricidad

Medidas para reducir la huella de carbono de los sistemas de producción de leche

La principal fuente de emisión de metano durante la fase primaria es la fermentación entérica de los rumiantes. Estas emisiones están asociadas al proceso de fermentación de los alimentos fibrosos (pasturas, forrajes conservados) en el rumen, por lo cual se ha preconizado la alimentación con alta proporción de concentrados como sistemas que disminuyen las emisiones

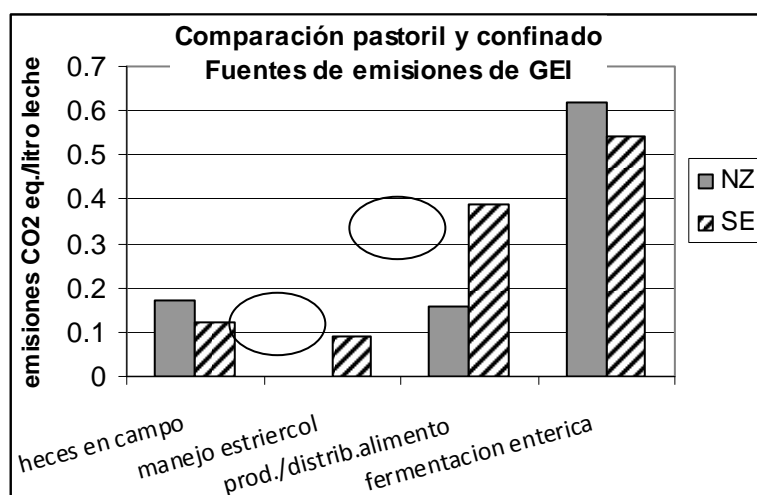
de GEI por unidad de producto (Harper et al 1999). Sin embargo, varios trabajos muestran que para la producción de leche, los sistemas pastoriles pueden ser una alternativa mejor a los sistemas de tipo feedlot si el análisis se realiza con la metodología de Huella de Carbono (desde la cuna a la portera del predio) (Rotz et al. 2010, Flysjo et al. 2011).

La Huella de Carbono de la producción de leche fue analizada para dos sistemas de producción contrastantes: un sistema pastoril (Nueva Zelanda) y un sistema estabulado (Suecia) (Flysjo et al 2011)

Comparación de sistema pastoril y sistema confinado (Flysjo et al. 2011)

	Pastoril (N. Zelanda)	Confinado (Suecia)
Producción leche por vaca (LCGP)	4118	8274
Peso vivo (kg)	456	600
Periodo de lactancia/Periodo seco (días)	280/85	305/60
Estabulación (meses)	0	9,5
Pastura en la dieta	90%	10%
Concentrado (kg/vaca)	0	3300
CO₂ eq (kg/litro leche)	1,0	1,2

Las mayores emisiones del sistema confinado se debieron a las emisiones de la producción y distribución del alimento concentrado y al manejo del estiércol



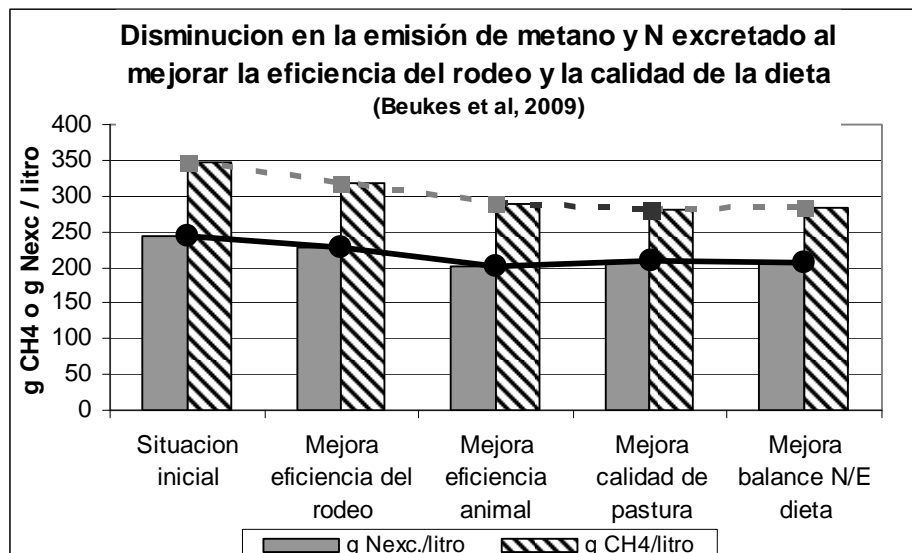
Sin duda, el enfoque que tiene mas impacto en nuestro país, es el “rediseño” de los sistemas productivos: la clave está en mantener la producción de leche, reduciendo el consumo de MS a nivel de todo el sistema.

Para sistemas de producción de leche y por medio de la modelación, Beukes et al. (2009) evaluaron la mejora esperable en términos de emisiones de GEI en función de los siguientes ajustes:

- *reducción en el numero de animales improductivos* (por disminución de loa animales de remplazo (EPP mas baja) y mejora del % de parición): los animales no productivos emiten CH₄ y N urinario sin contribuir a la producción del sistema (leche)
- *aumento de la eficiencia de conversión del alimento utilizando animales con mayor potencial genético*: las vacas de mayor productividad, producen mas leche a partir de la misma cantidad de alimento y además menos animales son necesarios para producir la misma cantidad de leche por unidad de superficie (al ser menor la cantidad de alimento requerido, menos metano será emitido)

- *mejora de la calidad de la dieta*: pasturas mas digeribles, uso de leguminosas en vez de fertilizante N y un buen equilibrio de la relación N/energía de la dieta

Según Beukes et al (2009) existiría potencial para disminuir las emisiones de GEI entre 27-32%, y aumentar la rentabilidad mediante el ahorro en vacas y en fertilizantes.



Investigación nacional

En el 2009, la Universidad de la Republica creó el Centro Interdisciplinario de Respuesta al Cambio y Variabilidad Climática con el objetivo general de aportar fundamentos académicos a la elaboración de una estrategia nacional para responder al cambio climático en diversos sistemas productivos.

Una de las líneas de trabajo actuales es el cálculo de la Huella de Carbono de la leche y de la carne, apuntando a cuantificar las emisiones de GEI que se producen en el proceso de producción tanto directamente como indirectamente (emisiones por la producción de los insumos utilizados) y cuales serian las estrategias de mitigación. Este análisis se hace a dos niveles: comparación de sistemas de producción (predios) y estimaciones a nivel nacional (país). Este trabajo se esta realizando en conjunto con el MGAP, INIA, LATU (y en el caso de la carne, también con INAC), con apoyo además de FAO y PNUD.

Además se han empezado mediciones directas de GEI en sistemas de producción de leche, realizando las primeras mediciones a nivel nacional de emisiones de metano en vacas lecheras, con diferentes dietas para lograr obtener coeficientes de emisión ajustados a nuestros sistemas de producción.

Comentarios finales

El cambio y la variabilidad climática tienen impactos en la productividad de los sistemas ganaderos, pero sobre todo impactos económicos y políticos indirectos en el comportamiento de los mercados internacionales, constituyendo la principal amenaza actual para países agroexportadores. La posible imposición de barreras al comercio recaerá sobre las empresas exportadoras, lo cual impone la necesidad de adoptar mecanismos que permitan auditar a través de terceros sus procesos productivos.

Uruguay tiene algunas ventajas para emprender el análisis de Huella de Carbono de productos derivados de la leche. Dispone de una trazabilidad del producto que habilita a un seguimiento de las condiciones ambientales de producción y una integración vertical fuerte en la lechería que asegura que el eslabón de la cadena que mas emite (la fase primaria debido a los propios procesos biológicos de producción) no pierda su capacidad de negociación, quedando como principal responsable de las emisiones en la HC de los productos derivados de la leche.

Finalmente, es necesario tener presente que las medidas de mitigación de la Huella de Carbono, forman parte de indicadores ambientales mas globales que consideran también impactos en la calidad del agua, en la conservación del suelo y en la biodiversidad ecológica que contribuye a dar estabilidad a los sistemas de producción (Huella Ecológica).

Consideraciones sobre emisiones de óxido nítrico en la lechería de Uruguay

Verónica Ciganda¹

Introducción

El problema del cambio climático en el mundo causado por la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) se ha constituido en una de las preocupaciones ambientales más importantes de la actualidad. Entre los principales GEI se encuentra el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄) y el óxido nítrico (N₂O). Probablemente, la actividad humana sea la mayor responsable de aumentar la concentración de N₂O en la atmósfera (Bouwman y Boumans, 2002) y una de las fuentes de mayor importancia que contribuyen a la emisión de gases como el N₂O, son las prácticas agrícolas. Se estima que entre el 20 y el 30% del total de N₂O emitido anualmente es producido directamente por los campos destinados a la agricultura (Di y Cameron, 2006). Entre los suelos agrícolas, los pastizales son la mayor fuente de N₂O, especialmente los utilizados para el pastoreo de animales (Luo et al., 2010).

En el Uruguay, se carece de información cuantificada respecto al total de emisiones de N₂O, por lo tanto, los inventarios nacionales anuales de GEI presentados ante la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC) son realizados en base a factores de emisión del gas por defecto recomendados por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC), para todos los suelos agrícolas a nivel mundial o en base a factores de emisión estimados para el país. Estos inventarios reportan que las emisiones de CH₄ y de N₂O han sido responsables en un 62% y 38%, respectivamente, del total de emisiones nacionales. Nuestra actividad agrícola es responsable de > 90% de las emisiones de N₂O, contribuyendo la ganadería en su conjunto en > 80%.

En las pasturas destinadas al pastoreo animal se producen importantes emisiones de N₂O (Oenema et al., 1997; Sagggar et al., 2004; Carter, 2007) debido a que los animales devuelven al suelo altas concentraciones de N y C disponible mediante la excreción (Sagggar et al., 2004). Esto se debe a que las pasturas, en general, poseen mayor cantidad de N de lo que el animal requiere para la síntesis de proteínas y aminoácidos. El problema se agudiza en sistemas de producción intensiva (Oenema et al., 1997). La retención de N en los productos animales, ya sea leche, carne o lana, varía generalmente entre el 5 y 20% del N ingerido, siendo el resto excretado con las heces u orina (Oenema et al., 1997, 2005). Ello afecta profundamente los procesos de pérdida y transformación de N en el suelo (Allen et al., 1996). La cantidad de N excretado en la orina excede la capacidad de ser utilizado por las plantas de las pasturas de manera que existe un remanente de N en el suelo.

En Uruguay se ha estimado que el ganado lechero excreta 92.9 kg N/cabeza /año y representa el 3% del rodeo nacional. Esto contrasta con el ganado no lechero, el cual se encuentra mayoritariamente bajo un manejo no intensivo, reduciendo su excreta de N a un promedio 50.3 kg N/cabeza /año (Tercera Comunicación Nacional, 2010) a la vez que representa la mayoría del rodeo nacional.

Una vez que el N está disponible en el suelo, los principales factores que controlan las emisiones de N₂O son el contenido de humedad del suelo, su capacidad de difusión de oxígeno, la temperatura, la textura, el contenido de carbono orgánico y la acidez (pH).

Objetivo

El objetivo general de este estudio ha sido cuantificar las emisiones nacionales de óxido nítrico provenientes de bovinos en condiciones de pastoreo sobre pastura natural y pastura cultivada.

¹ Ing. Agr. (MSc), Programa de Producción y Sustentabilidad Ambiental, INIA La Estanzuela.

Metodología

Dos experimentos de campo fueron instalados en el predio de la Estación Experimental La Estanzuela (Colonia). Un experimento se instaló sobre una pastura cultivada (mezcla de gramínea y leguminosa) y el otro bajo pastura natural utilizando un diseño estadístico de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Los tratamientos, evaluados en otoño y primavera, fueron la aplicación de orina bovina vs. el control (agua). En cada experimento se instalaron ocho cámaras de flujo cerrado de acero inoxidable de 40 cm de diámetro y 25 cm de altura. La base de cada cámara se insertó en el suelo hasta 12 cm. La orina se colectó de animales pastando el mismo sitio experimental. Inmediatamente antes de aplicar los tratamientos en las cámaras, se colectó y acidificó una submuestra de orina para determinar su contenido de nitrógeno. El muestreo de gas se realizó durante ocho semanas pos-aplicación de tratamiento. Cada muestreo constó de la toma de una muestra en tiempo 0, a los 15 minutos y a los 30 minutos. La concentración de N_2O en las muestras fue analizada por cromatografía de gas.

Resultados y Discusión

Los valores de flujo de N_2O obtenidos en este estudio fueron variables y oscilaron entre ~ 0 y $1134.5 \mu g N-N_2O m^{-2} h^{-1}$ (Figura 1). Se observó que en períodos en los que se registró un contenido de agua volumétrico del suelo bajo ($\leq 17,7\%$) se registraron valores $\leq 5,6 \mu g N-N_2O m^{-2} h^{-1}$. En una investigación realizada en diferentes tipos de suelo en Nueva Zelanda, con aplicación de orina bovina sintética, se obtuvieron valores de flujo de emisión de N_2O entre 300 y $4900 \mu g N-N_2O m^{-2} h^{-1}$ (de Klein et al., 2003), valores sensiblemente mayores a los registrados en el presente estudio. Los patrones del flujo de emisión de N_2O mostraron variabilidad a lo largo de los períodos de muestreo en ambos experimentos observándose, en algunos casos, picos agudos de emisión. En general, estos picos siguieron a los eventos de precipitación. Los períodos que presentaron baja humedad del suelo, mantuvieron las emisiones de N_2O en valores bajos, al igual que lo observado por Velthof et al. (1996) y Williams et al. (1999).

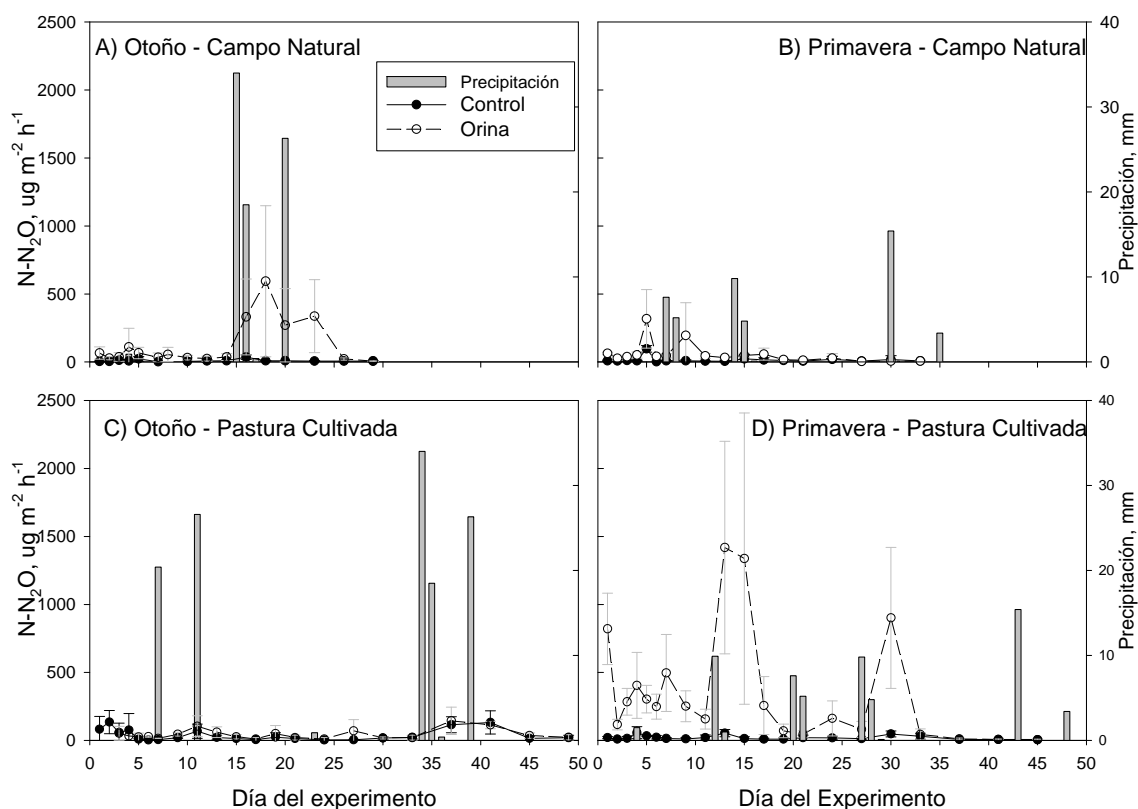


Figura 1. Emisiones de óxido nitroso luego de la aplicación de orina (-o-) o control (-●-) y precipitación (barras) para los experimentos sobre pastura cultivada y campo natural evaluados en otoño y primavera.

La estación del año (otoño vs. primavera) no mostró resultados consistentes entre ambos experimentos: en el caso del experimento en campo natural, la estación no afectó las emisiones de N_2O mientras que sí fueron afectadas en el experimento sobre pastura cultivada observándose mayores valores de emisión en primavera (Figura 2).

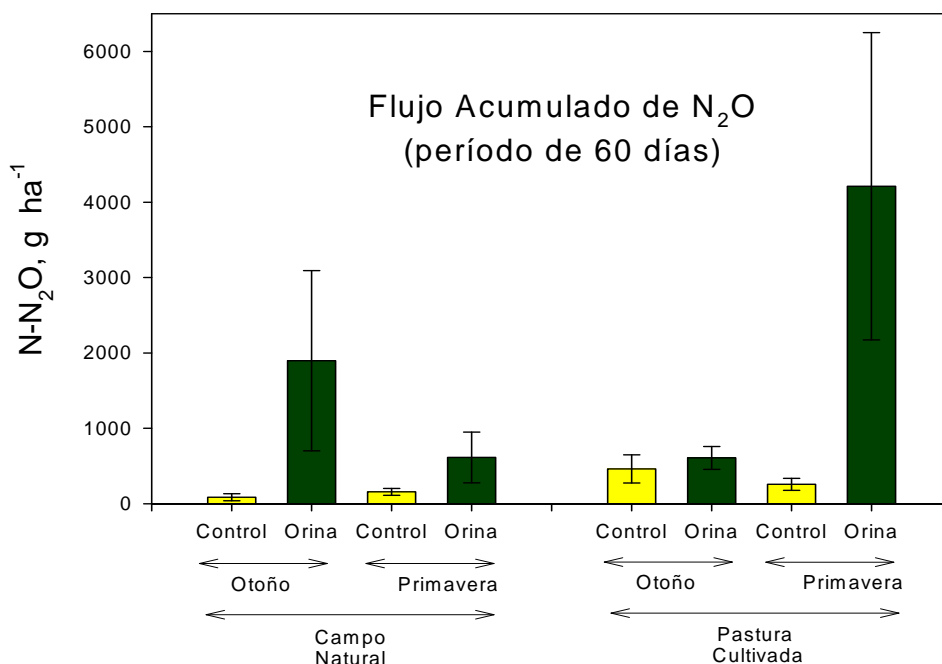


Figura 2. Flujo acumulado de N_2O para un período de 60 días según estación del año (otoño y primavera) y tratamiento (orina y control) en campo natural y pastura cultivada.

Las emisiones de N_2O debido a la aplicación de orina fueron en promedio superiores al tratamiento control, excepto en las mediciones de otoño en el experimento de pastura cultivada.

Si bien se trata de experimentos independientes y de resultados primarios, los valores de las emisiones observadas en el experimento de pastura cultivada fueron superiores a los de campo natural lo que indicaría mayores emisiones en manejos más intensivos.

Referencias

- Allen, A.G., Jarvis, S.C., Headon, D.M., 1996. Nitrous oxide emissions from soils due to inputs of nitrogen from excreta return by livestock on grazed grassland in the UK. *Soil Biology & Biochemistry* 28, 597-607.
- Bouwman, A.F., Boumans, L.J.M., Batjes, N.H., 2002. Modelling global annual N_2O and NO emissions from fertilized fields. *Global Biogeochem. Cycles* 16, 1080.
- Carter, M.S., 2007. Contribution of nitrification and denitrification to N_2O emissions from urine patches. *Soil Biol. Biochem.* 39, 2091-2102.
- de Klein, C.A.M., Barton, L., Sherlock, R.R., Zheng, L., Littlejohn, R.P., 2003. Estimating a nitrous oxide emission factor for animal urine from some New Zealand pastoral soils. *Aust. J. Soil Res.* 41, 381-399.
- Di, H.J., Cameron, K.C., 2006. Nitrous oxide emissions from two dairy pasture soils as affected by different rates of a fine particle suspension nitrification inhibitor, dicyandiamide. *Biol. Fertil. Soils* 42, 472-480.
- Luo J., de Klein C.A.M., Ledgard S.F., Saggart S., 2010. Management options to reduce nitrous oxide emissions from intensively grazed pastures: A review. *Agr., Ec. & Env.* 136, 282-291.
- Oenema, O., Velthof, G.L., Yamulki, S., Jarvis, S.C., 1997. Nitrous oxide emissions from grazed grassland. *Soil Use Manage.* 13, 288-295.

- Oenema, O., Wrage, N., Velthof, G.L., van Groenigen, J.W., Dolfing, J., Kuikman, P.J., 2005. Trends in global nitrous oxide emissions from animal production systems. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 72, 51–65.
- Saggar, S., Andrew, R.M., Tate, K.R., Hedley, C.B., Rodda, N.J., Townsend, J.A., 2004. Modelling nitrous oxide emissions from New Zealand dairy grazed pastures. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 68, 243–255.
- Velthof, G.L., Brader, A.B., Oenema, O., 1996. Seasonal variations in nitrous oxide losses from managed grasslands in The Netherlands. *Plant and Soil* 181, 263±274.
- Williams D.L., Ineson P., Coward P.A., 1999. Temporal variations in nitrous oxide fluxes from urine-affected grassland. *Soil Biology and Biochemistry* 31, 779±788.

La Calidad de los Suelos bajo Producción Lechera en los Principales Departamentos de la Cuenca: Carbono y Nitrógeno

Alejandro Morón^{1*}, Juan Molfino², Wilfredo Ibáñez¹, Jorge Sawchik³, Alvaro Califra², Emigdio Lazbal⁴, Alejandro La Manna³, Enrique Malcuori⁵

Introducción

La producción lechera es uno de los sectores que integra el proceso de intensificación productiva que desarrolla el agro uruguayo en los últimos años. Esta se concentra especialmente en tres departamentos: Colonia, San José y Florida. La alimentación animal está basada principalmente en pasturas mejoradas cosechadas directamente por los animales la cual es complementada por el suministro de granos y reservas forrajeras de origen predial o extra-predial.

Al igual que en las otras actividades agropecuarias que atraviesan un proceso de intensificación surgen interrogantes sobre los impactos ambientales en suelo, agua y atmosfera. No existen antecedentes de evaluaciones objetivas, cuantitativas, del impacto en la calidad de los suelos involucrados en esta actividad.

El objetivo central del proyecto de investigación se centró en conocer cuál es el estado actual de la calidad de los suelos en las principales áreas de producción lechera. Este proyecto de investigación generó información que fue presentada y publicada en diferentes eventos (Morón, 2009; Morón et al 2006, 2008a, 2008b, 2010). En el presente trabajo se presentan los promedios y distribuciones de carbono orgánico (C org) y nitrógeno (N) en el suelo así como sus respectivos valores de referencia para cada tipo de suelo involucrado.

Materiales y Métodos

Durante los años 2005 y 2006 se seleccionaron y visitaron 86 predios dedicados a la producción lechera en los departamentos de Colonia, San José y Florida. Los criterios utilizados para la selección de los predios se realizó en base a los tipos de suelo dominantes y también considerando la productividad de los establecimientos y tipos de laboreo (convencional, siembra directa). Mayores detalles pueden ser consultados en: Molfino & Califra (2008) y Morón et al (2010).

Para cada establecimiento se fijaron dos sitios de muestreo que representaban dos momentos de la rotación forrajera del establecimiento. Es así que se seleccionaron praderas de tercer año y verdeos de invierno, ubicados en similares ambientes edáficos. Cabe acotar que el tipo de rotación dominante en los departamentos seleccionados incluye un año de verdeos (invierno y verano) y luego 3 años de pastura de leguminosas con o sin gramíneas. Por otra parte en cada predio se trató de obtener una referencia, para praderas y verdeos, de suelo imperturbado. En general ubicado debajo de un alambrado viejo próximo al sitio de muestreo. Se prestó especial atención en la selección del suelo de referencia para que el mismo no presentara alteraciones. Paralelamente, para cada situación de muestreo se elaboró un formulario de levantamiento de datos que contemplaba los principales aspectos de manejo de suelos y nutrientes del predio.

En cada sitio de muestreo (pradera, verdeo de invierno y suelo imperturbado), se tomaron 3 muestras de suelo compuestas de no menos de 20 tomas a dos profundidades: 0-7.5 y 7.5-15 cm. Las muestras fueron almacenadas y se procedió a la realización de diferentes determinaciones de laboratorio con el objetivo de seleccionar indicadores que permitan interpretar el estado de los suelos. En este trabajo se presenta la información generada de los análisis de:

¹ INIA La Estanzuela, (retirado). E-mail: alejandromoron.uy@gmail.com

² Dirección Nacional de Recursos Naturales Renovables, MGAP (retirado)

³ INIA La Estanzuela

⁴ Asociación Nacional de Productores de Leche

⁵ CONAPROLE

- * C orgánico (Tinsley, 1967)
- * N total (combustión a 900 °C y posterior detección de N₂ por conductividad térmica. LECO)
- * Potencial de Mineralización de Nitrógeno, PMN (Morón & Sawchik, 2002)

El diseño estadístico es una factorial con los siguientes factores y sus respectivos niveles entre paréntesis: departamento (3) x cultivo (2) x ubicación (2) x profundidad (2). En parcelas al azar, donde las repeticiones están dadas por cada establecimiento.

Resultados y Discusión

En la Tabla 1 se observa la distribución de los diferentes Ambientes Edáficos en los 86 establecimientos de producción lechera seleccionados en Colonia, San José y Florida.

Tabla 1. Ambientes edáficos de los 86 establecimientos seleccionados (Molfinio & Califra, 2008).

Departamento	A	B	C	D	E	F	Totales
San José	13	10	2	2			27
Florida	15		7		7		29
Colonia	11		7	2		10	30
Totales	39	10	16	4	7	10	86

Nota: según Carta de Suelos 1:1.000.000 (MAP, 1976) A= Li +TIRd+LC+Ri, B= Ky, C= SGG, D= Ky arenoso, E= IM, F= EP-LB

La distribución de los Ambientes Edáficos es desigual en los departamentos y eso responde a la diferente superficie ocupada por cada tipo de suelo en la producción lechera de cada departamento. Los suelos variaron desde Brunosoles háplicos e Inceptisoles hasta Vertisoles, siendo la mayoría Brunosoles.

En la figura 1 se presenta el valor promedio de C orgánico en los potreros en producción así como en los respectivos suelos de referencia. No existieron diferencias significativas entre las fases de la rotación forrajera. Existe una disminución significativa ($p < 0.0001$) de los potreros en producción. Esta diferencia promedio si bien es importante y puede catalogarse como moderada esconde una importante variabilidad de situaciones.

En la figura 2 puede observarse como se distribuyen las diferencias entre los valores de los potreros y sus respectivos suelos de referencia. Se observa que el 80 % de los predios tienen valores de C orgánico inferiores a la referencia. Existen aproximadamente un 30 % de los potreros en producción que presentan disminuciones o pérdidas de C orgánico en los 0-15 cm superiores del suelo mayores al 30 %. Esto afecta negativamente propiedades químicas, biológicas y físicas del suelo que pueden traducirse en menores productividades de las pasturas y cultivos.

En la figura 3 se presenta los valores promedio de N total tanto en los potreros en producción como en los respectivos suelos de referencia. En promedio se observa una pérdida significativa de 16 % del N total en los suelos de los potreros en producción. No existieron diferencias significativas entre las fases de la rotación forrajera. Al igual que C orgánico, en N total existen variaciones importantes entre potreros en los niveles de pérdida. En la figura 4 se observa que, aproximadamente, un 30 % de los potreros tienen pérdidas mayores al 25 % del N total.

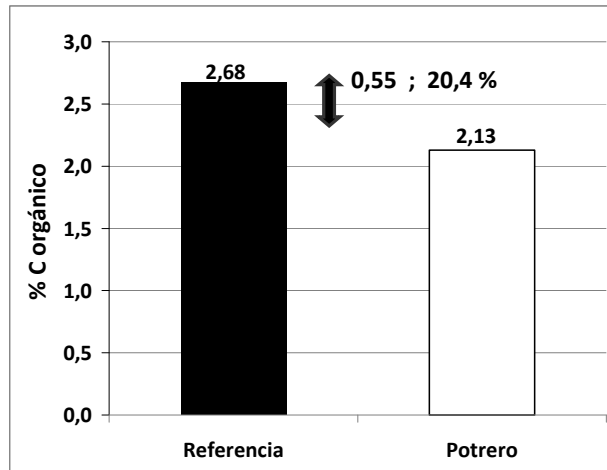


Figura 1. Contenido promedio de C orgánico en 0-15 cm en 86 predios lecheros de Colonia, S. José y Florida.

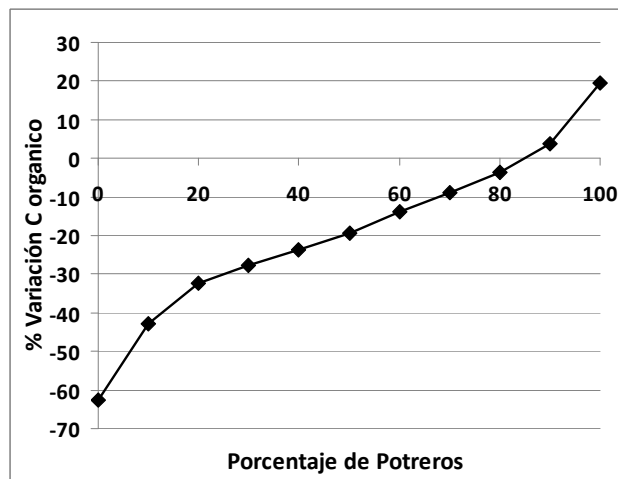


Figura 2. Distribución de la diferencia (C orgánico potrero - C orgánico referencia) en 166 potreros en producción lechera en Colonia, San José y Florida (0-15 cm).

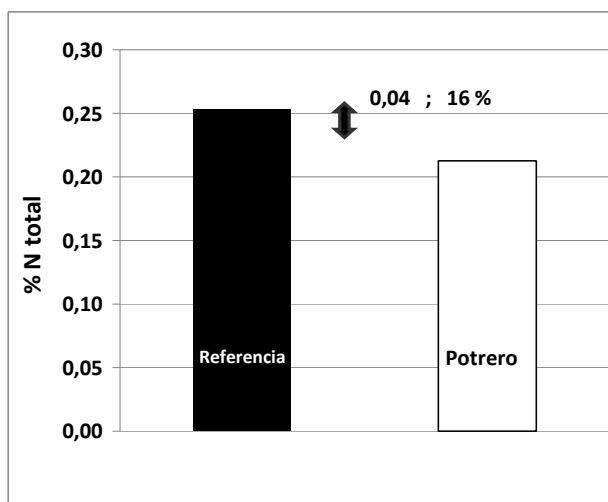


Figura 3. Nitrógeno total en 0-15 cm en 86 predios lecheros de Colonia, San José y Florida.

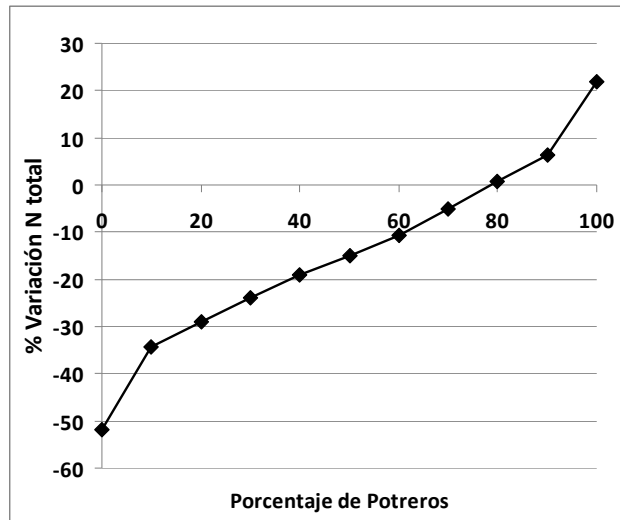


Figura 4. Distribución de la diferencia (N total potrero - N total referencia) en 166 potreros en producción lechera en Colonia, San José y Florida (0-15 cm).

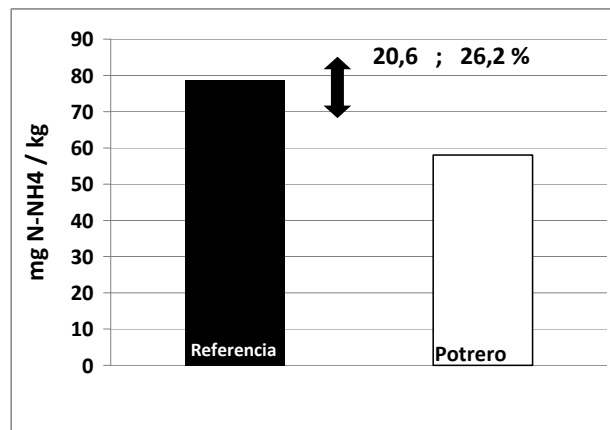


Figura 5. Potencial de Mineralización de Nitrógeno en 0-15 cm en 86 predios lecheros de Colonia, San José y Florida.

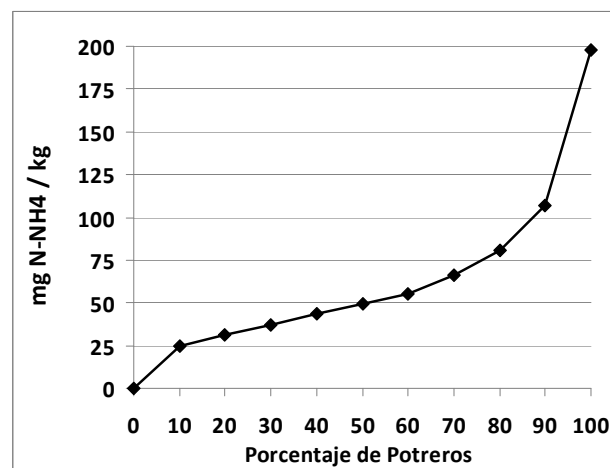


Figura 6. Distribución del Potencial de Mineralización de Nitrógeno en 165 potreros en producción lechera en Colonia, San José y Florida (0-15 cm)

El potencial de mineralización de nitrógeno es un indicador biológico de la capacidad de aporte de nitrógeno del suelo que generalmente presenta alta sensibilidad para detectar cambios. En la figura 5 se observa pérdidas significativas en la capacidad de aportar N de los suelos en producción. No obstante debe señalarse que el valor promedio de los potreros en producción es un valor que expresa una capacidad de aporte de N interesante. Pero cabe mencionar que, aproximadamente, un 40 % de los potreros (figura 6) sumando el aporte del suelo más las dosis comúnmente utilizadas de fertilizantes nitrogenados difícilmente puedan producir verdeos de altos rendimientos.

La posibilidad de utilizar los análisis antes mencionados como indicadores de la calidad del suelo exige contar con valores de referencia que permitan interpretar dichos análisis. La generación de valores de referencia tiene varias aproximaciones (Liburne et al, 2004; Sparling & Schipper, 2004; Sparling et al, 2004). En este caso se utilizó una aproximación estadística. Se consideró que los valores de referencia de la variable de interés están comprendidos entre Q1 (primer cuartil) y el Q3 (tercer cuartil). En este rango están los valores más comunes y comprenden el 50 % de los valores observados. Las tablas 2 y 3 presentan los valores de referencia para C orgánico y PMN para los diferentes suelos.

Tabla 2. Valores de Referencia de C orgánico (%) para seis Ambientes Edáficos en la profundidad 0-7,5 cm.

Ambiente Edáfico	A	B	C	D	E	F
Q1	2.68	2.50	2.70	2.23	2.36	2.82
Q3	3.69	3.60	3.53	3.26	3.70	3.77

Tabla 3. Valores de Referencia de PMN (mg N-NH₄⁺ / kg) para seis Ambientes Edáficos en la profundidad 0-7,5 cm.

Ambiente Edáfico	A	B	C	D	E	F
Q1	73	67	65	56	64	88
Q3	161	139	111	100	133	213

La utilización de esta información puede ser de gran utilidad para promover un uso sustentable del recurso suelo (Morón, 2011)

Bibliografía citada

- Lilburne, L.; Sparling, G.; Schipper, L. 2004. Soil quality monitoring in New Zealand: development of an interpretative framework. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 104:535-544
- MAP (Ministerio de Agricultura y Pesca). 1976. Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay. Escala 1:1.000.000.
- Molfino, J.; Califra, A. 2008. Proyecto: Calidad del Suelo en Áreas de Pasturas bajo Producción Lechera / INIA / PDT. In: Jornada Técnica Calidad de Suelos. Serie Actividades de Difusión N° 556. 14-16 p.
- Morón, A. 2009. Effect of dairy production on soil organic carbon in main regions of Uruguay. In: *Soil Organic Matters*. Rothamsted Research, Harpenden, UK. p. 19
- Morón, A. 2011. Como promover un uso sustentable del recurso suelo en Uruguay. *El País Agropecuario*. Año 17, N° 196 p 36-38
- Morón, A.; Molfino, J.; Sawchik, J.; Califra, A.; Lazbal, E.; La Manna, A.; Malcuori, E. 2006. Calidad del Suelo en las Principales Áreas de Producción Lechera de Uruguay: Avances en el Departamento de Colonia. In: CD XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Salta – Jujuy, Argentina.

- Morón, A.; Molfino, J.; Sawchik, J.; Califra, A.; Lazbal, E.; Ibáñez, W.; La Manna, A.; Malcuori, E. 2008a. Calidad del suelo en las principales áreas de producción lechera de Uruguay: Avances en el Departamento de Florida. In: Actividades de Difusión INIA, Jornada Técnica Lechería Paso Severino-Florida, N° 549. p
- Morón, A.; Molfino, J.; Sawchik, J.; Califra, A.; Lazbal, E.; La Manna, A.; Malcuori, E. 2008b. The physical soil quality in the main areas of pastures in dairy production in Uruguay. In: CD XVIII International Grassland Congress, China 2008.
- Morón, A.; Molfino, J.; Ibáñez, W.; Sawchik, J.; Califra, A.; Lazbal, E.; La Manna, A.; Malcuori, E. 2010. Valores de Referencia para la Calidad de los Suelos de las Principales Áreas bajo Producción Lechera de Uruguay. In: Reunión Técnica Dinámica de las propiedades del suelo bajo diferentes usos y manejos de la Sociedad Uruguaya de la Ciencia del Suelo - ISTRO. Uruguay (Colonia, 2010). CD
- Morón, A.; Sawchik, J. 2002. Soil quality indicators in a long-term crop-pasture rotation experiment in Uruguay. In: CD-ROM 17 World Congress of Soil Science, Symposium n° 32, Paper 1327, Thailand.
- Sparling, G.; Schipper, L.A.; Bettjeman, Hill, R. 2004. Soil quality monitoring in New Zealand: practical lessons from a 6-year trial. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 104:523-534
- Sparling, G.; Schipper, L. 2004. Soil quality monitoring in New Zealand: trends and issues arising from a broad-scale survey. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 104:545-552
- Tinsley, J. 1967. Soil Science. Manual of Experiments. University of Aberdeen (UK). Department of Soil Science. 124 p.

Los sistemas lecheros y su impacto en el recurso suelo

Roberto Díaz-Rossello¹ y Henry Durán²

A mediados de la década del 70 la producción lechera del país rompe el estancamiento productivo que la caracterizó por más de 40 años, iniciando un proceso de crecimiento que muestra su mayor dinamismo en los últimos 25 años. Desde el origen el sistema de producción se basó en la rotación forrajera, con alternancia de praderas y cultivos forrajeros anuales, pero progresivamente ocurrieron grandes cambios que impactan sobre la dinámica de carbono y la sustentabilidad de los suelos. Muchos procesos de intensificación productiva conllevan la degradación de ese recurso.

Los sistemas de producción de granos siempre son observados como el subsector más preocupante en relación a la sustentabilidad del recurso suelo, principalmente cuando constituyen sistemas continuos de agricultura anual. La lechería no ha sido objeto de muchos estudios a pesar que sus sistemas productivos han involucrado un proceso muy intensivo de laboreo del suelo hasta la reciente adopción de la siembra directa. Presentan alta frecuencia de cultivos anuales en las rotaciones predominantes y constituye un rubro ganadero de alta extracción y exportación extra predial de nutrientes desde el suelo.

El gran indicador para evaluar la condición de los suelos es indiscutiblemente el contenido de materia orgánica o carbono orgánico (CO). Es el elemento al cual se asocian la mayor parte de las propiedades químicas y físicas del suelo y por consiguiente también su productividad. La evolución del contenido de CO en función de los sistemas productivos que desarrolle la lechería del país es clave no solamente para asegurar su productividad futura, sino que también comprometerá su futuro comercio internacional. El desarrollo de la huella de carbono, como enfoque para el seguimiento de la potencial contribución o mitigación de las emisiones de gases con efecto invernadero, será un requisito creciente en las exigencias de comercialización de las cadenas productivas.

Sistemas productivos de leche como el australiano y el neozelandés, con mucha participación en el comercio internacional, han hecho foco de alta preocupación sobre la situación de pérdida progresiva de CO que tienen los suelos de sus regiones dedicadas a la producción lechera. Los antecedentes de información experimental sobre sistemas mixtos con rotaciones de pasturas y cultivos, generados en los experimentos de largo plazo de La Estanzuela, evidenciaron cierta sostenibilidad del CO del suelo. Sin embargo, se obtuvieron sin pastoreo animal, lo que dejó siempre abierta la interrogante de su sostenibilidad con los efectos del pastoreo y las condiciones propias de un rubro tan intensivo como la lechería.

El CO del suelo de las parcelas de los Sistemas Lecheros de La Estanzuela fue analizado a partir de 1974 y en diversos momentos a lo largo de los últimos cuarenta años. Esta información constituye una inestimable base para estudiar y comprender cómo los sistemas reales de producción lechera provocaron grandes cambios en el manejo del suelo y la calidad del mismo. Se trata de información inédita que se analiza por primera vez y que permite visualizar las oportunidades y amenazas en la sostenibilidad productiva y algunos impactos ambientales de la lechería uruguaya.

En base a los registros de manejo de las parcelas de los sistemas de producción se caracterizaron y cuantificaron las principales variables que se presume pueden tener efectos significativos en la dinámica del CO del suelo (Cuadro 1).

Estas variables se cuantifican para cuatro grandes sistemas de producción lechera que presentaban claros contrastes de manejo del suelo y que ocurrieron en diferentes períodos y/o grupos de parcelas: Secuencias no Planificadas (S1) 1966-1983, Rotación Planificada (R1) 1984-1998, Rotación Planificada Avanzada (R3) 2003-2010, y Rotación del Sistema Intensivo (R2) 1999-2010. Dieciséis parcelas estuvieron siempre en el Sistema General de la Unidad de Lechería con los períodos de manejo S1, R1 y R3, asociadas con 3 parcelas permanentes en campo natural donde se realizaron confinamientos nocturnos y/o en períodos de mal tiempo con alimentación por reservas forrajeras y concentrados. Seis parcelas corresponden al Sistema Intensivo Actual (R2) y que fueran manejadas hasta 1998 como S1 y R1; una parcela permanente en campo natural integra este sistema.

Cuadro 1. Indicadores de uso del suelo y de productividad de las rotaciones predominantes en la Unidad de Lechería de INIA durante los últimos 44 años.

Sistemas de Producción		S1	R1	R3	R2
Período de Aplicación		1966 - 1983	1984 - 1998	2003 - 2010	1999 - 2010
% de uso del tiempo anual por unidad de rotación	Pastura y Cultivos	72	78	81	80
	Barbechos	28	22	19	20
Barbecho por unidad de rotación (meses)	Totales	20	16	13	12
	En invierno	4	0	2	0
Tipo de Laboreo		LC	LC	SD	SD
Laboreos Anuales por Unidad de Rotación	Profundos	15	0	9	0
	Superficiales	15	0	12	0
	Total	30	0	21	0
Productividad de las pasturas por tecnología empleada		bajo	medio	alto	alto
Nivel de Gramilla		alto	medio	bajo	bajo
Uso anual máximo de N (kg ha ⁻¹)		38	31	35	31
Productividad de Leche (L ha ⁻¹ año ⁻¹)		< 3000	3000-6500	6500-8500	8500-11500
Ingreso de Concentrados y Forrajes Kg/vaca/año * (vacas/ha) = (kg MS ha ⁻¹)		500*0.7=350	800*0.9=720	1200*1=1200	1700*1.4=2380

En el Cuadro 1 puede apreciarse como a medida que transcurren los años fueron aplicándose sistemas cada vez más intensivos y con grandes cambios técnicos, aunque en general se mantuvo un sistema mixto con 50 % del tiempo dedicado a cultivos anuales y 50 % a pasturas de mezclas de leguminosas y gramíneas. De un muy intenso laboreo convencional en S1 se progresa hacia reducciones del laboreo en R1 y posteriormente a siembra directa en R3 y R2. En forma paralela se fueron reduciendo los tiempos de barbecho improductivo, aumentando la productividad de las pasturas y también aumentando la cantidad de reservas y concentrados de origen extrapredial. Naturalmente todos esos cambios técnicos se vieron acompañados de grandes aumentos de la producción de leche.

Los 11 factores considerados en el cuadro 1 generan diferentes tendencias sobre el balance de CO. (1) La proporción de pasturas en el tiempo total de la rotación favorece la acumulación. (2) La proporción del tiempo en barbecho incrementa el riesgo de pérdida por suelo descubierto a la erosión. (3) Los meses de invierno en barbecho coadyuvan a la pérdida porque son más frecuentes los escurrimientos erosivos superficiales. (4) El laboreo convencional facilita pérdidas por mineralización mientras que la siembra directa promueve la acumulación superficial. (5 y 6). La mayor frecuencia de operaciones de laboreos superficiales y profundos promueve pérdidas por mineralización y erosión. (7) La tecnología de manejo de pasturas principalmente por los factores de fertilización y pastoreo controlado aumentan su productividad y contribución de CO. (8) La gramilla es una maleza que hace grandes aportes de materia orgánica y por ser estolonífera su presencia disminuye el riesgo de pérdida de CO por erosión, (9) La cantidad de fertilizantes nitrogenados empleados en la rotación contribuyen a incrementar la productividad de los cultivos forrajeros y a que los residuos se estabilicen como CO en el suelo. (10) La mayor productividad de leche implica principalmente mayor extracción de N del sistema lo que disminuye la capacidad de acumulación de CO. (11) El ingreso extra predial de forrajes y concentrados es una vía directa de incremento de CO en el suelo.

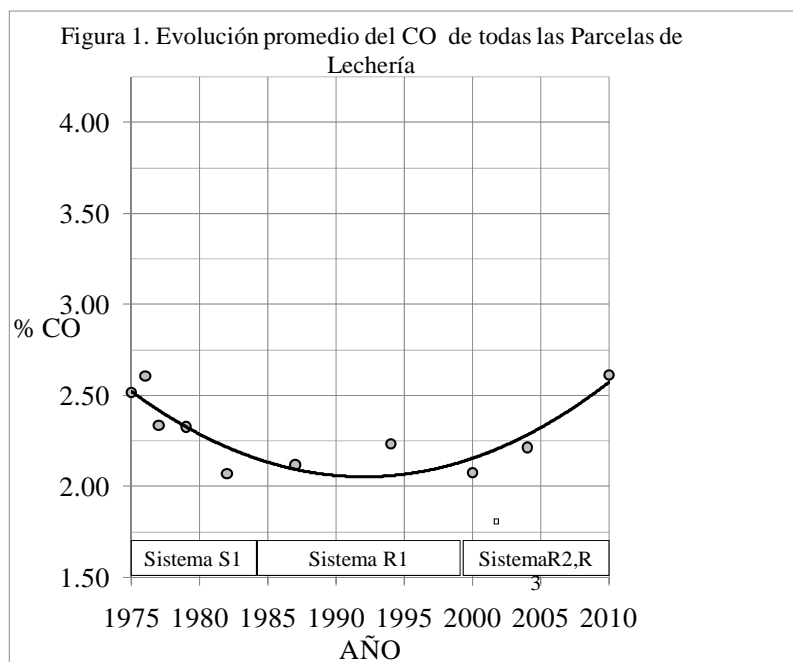
En la figura 1 se aprecia como las modificaciones extremas en laboreo, carga animal e importación de forrajes determinaron dos períodos contrastantes en la dinámica del CO del suelo. Los primeros 17 años, presentaron fuertes pérdidas de CO a tasas anuales promedio estimadas de 0.89 t ha⁻¹ año⁻¹. Las ganancias de CO esperables durante la fase de pasturas de la rotación, aparentemente no fueron suficientes para compensar las pérdidas de CO debidas principalmente al intenso laboreo en la fase de cultivos forrajeros. Esta tendencia se revirtió en los siguientes 18 años con ganancias de CO de 0.94 t ha⁻¹ año⁻¹. Tres factores principales de manejo se discuten para explicar el rápido incremento de CO: la confluencia y sinergia de los sistemas mixtos

realizados en siembra directa, mejoras de la productividad de las pasturas y cultivos e importación de alimentos al sistema.

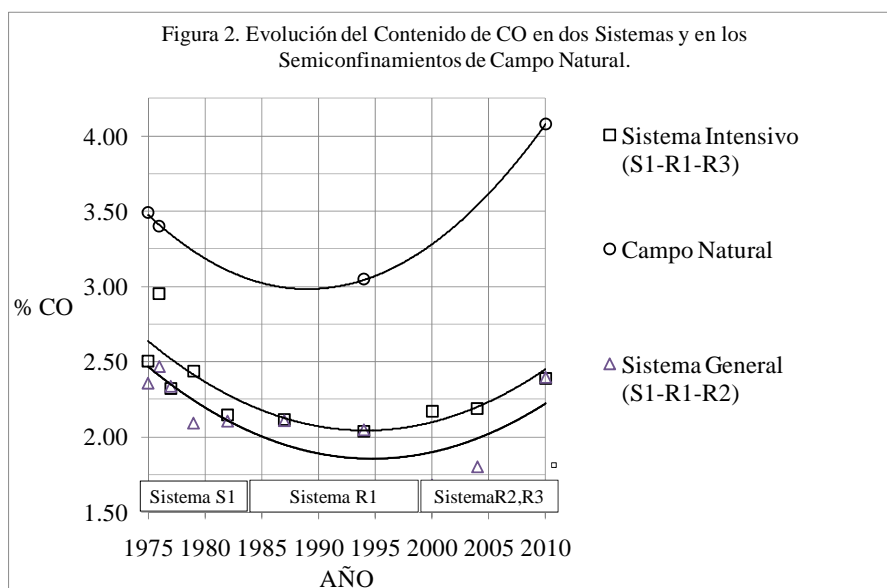
Claramente estos resultados cuestionan dar por cierto que simplemente por realizar una rotación de cultivos anuales con pasturas mezcla de leguminosas y gramíneas perennes se alcanza un balance neutro o positivo de CO. En el caso del sistema S1 la alta frecuencia de laboreos, los grandes períodos en barbecho sin cobertura y los pastoreos en condiciones excesivamente húmedas generaron pérdidas de CO que no pudieron ser compensadas por la contribución de las pasturas de la rotación. De hecho, las pérdidas de CO que se registraron en S1 son tan altas ($1.2\% \text{ año}^{-1}$) como las verificadas en una rotación agrícola continua en la misma Unidad de Suelos (Díaz-Rossello, 1994).

En el período del sistema R1 se estabiliza el contenido de CO y comienza una lenta recuperación que se incrementa notablemente con los sistemas R2 y R3. Durante la aplicación del sistema R1 los factores que serían más importantes en mejorar la acumulación de CO son: la reducción de las operaciones de laboreo, la mejora del manejo con incremento de la productividad de las pasturas y la disminución de los periodos de barbecho sin cobertura, principalmente en invierno.

A partir del año 1995 se acelera la acumulación de CO con progresivas reducciones del laboreo e ingreso en SD. Simultáneamente aumenta la productividad de las pasturas y el ingreso de forrajes y concentrados extra prediales que se puede suponer que también contribuyen a la acumulación de CO. En relativamente pocos años se logra sobrepasar significativamente el nivel de CO con que se inició la evaluación en 1974. No hay ningún indicio aún de disminución en el ritmo de acumulación con el uso de la actual rotación forrajera bajo SD. Se alienta así la posibilidad de mayor restauración de las condiciones de fertilidad con estos sistemas productivos.



El sistema general de la Unidad de Lechería y el sistema intensivo solamente difieren en el manejo de los últimos 10 años y aún no muestran diferencias claras de acumulación de CO (Figura 2). Se espera que estas diferencias comiencen a manifestarse luego de más años de operación de los sistemas.



Tal cual ocurre en los tambos comerciales, existe un grupo de parcelas que se destinan al confinamiento del ganado, ya sea para evitar los pastoreos de pasturas cultivadas en períodos de lluvia, como para suministrar concentrados, henos y silos en forma confinada, y que se denominan genéricamente “campo natural mejorado”. Las parcelas de estos semi-confinamientos muestran la misma dinámica general del CO que las parcelas del resto del sistema manejadas bajo rotación de pasturas y cultivos (Figura 2). Se aprecia un período de fuertes pérdidas hasta comienzos de la década del 90 y luego recuperaciones muy importantes. En primer lugar cabe preguntarse por qué se registró un ciclo de fuertes pérdidas de CO, cuando en el campo natural mejorado no se efectuaban laboreos ni períodos de barbechos improductivos, que fueron los factores con mayor asociación a los cambios de CO en el Sistema General y el Sistema Intensivo.

La explicación a este comportamiento se puede encontrar en cuatro características de manejo de estas parcelas durante el período del sistema S1: 1) Hasta inicios de los años 90 no se daban concentrados ni reservas en semi-confinamiento por lo que no había traslado sistemático de nutrientes ni un ingreso extra predial de CO a esos potreros. 2) En el mismo período no se habían consolidado mejoras acumulativas del tapiz natural por fertilización fosforada e introducción sistemática de leguminosas. 3) Hasta los años 90 la carga animal de estos potreros fue considerablemente más baja que en el último periodo estudiado.

En el período del sistema R1 se equilibran pérdidas y ganancias y en los sistemas R2 y R3 se aprecian muy fuertes ganancias de CO con probable origen en: las mejoras en la productividad del tapiz, los incrementos muy importantes de las reservas forrajeras y de concentrados que se suministran en esas parcelas, el fuerte traslado de nutrientes por uso de altas cargas animales y períodos de ocupación más extensos al no depender exclusivamente del forraje en pie sino de los suplementos usados.

Lo más relevante de esta información cuantitativa es la intensidad de la recuperación o secuestro de carbono por el suelo. Las parcelas de semi-confinamiento presentan un incremento promedio de 1.10% de CO.

Conclusiones

La evolución del manejo del suelo como consecuencia de los cambios técnicos de los sistemas productivos de la Unidad de Lechería puede considerarse representativa de los cambios ocurridos y en proceso en la cuenca lechera nacional. Quizás en la Unidad de Lechería sucedieron con cierta anticipación, pero reflejan la situación actual de los sistemas comerciales cuya productividad por vaca masa transitan desde 4500 L ha⁻¹ a niveles superiores a 6500 L ha⁻¹. Los trabajos de relevamiento del estado actual de los suelos dedicados a lechería cuantificaron un deterioro del contenido original de CO del orden del 22%. Complementariamente, el presente trabajo diagnostica una situación promisoriosa de posible restauración de la fertilidad productiva y de notable capacidad de secuestro de carbono (aproximadamente 2 % de acumulación anual) con la

misma tecnología que viene siendo adoptada en la actualidad por los productores lecheros más intensivos.

La fijación biológica de nitrógeno por las pasturas de leguminosas en la rotación parece haber sido el factor clave para sostener un balance positivo del CO₂, cuando los demás factores de manejo (laboreo, tiempo en barbecho, etc.) se modificaron para reducir las pérdidas por mineralización y erosión.

El diagnóstico realizado sobre la acumulación de CO₂ en las parcelas de semi-confinamiento plantea la oportunidad de capitalizar esa condición de los suelos, con inmejorable situación de fertilidad, incorporándolos a la fase agrícola del sistema. Si esto no fuera posible por restricciones operativas del establecimiento se abren dos estrategias a considerar y valorar; a) dispersar las áreas de suministro de concentrados y reservas hacia mayor número de parcelas de la rotación o b) concentrar esos suministros en patios de alimentación diseñados para hacer viable el reciclaje de los efluentes hacia las parcelas con pasturas.

Estas alternativas deben ser evaluadas considerando no solamente los beneficios productivos sino de contaminación ambiental y su posible manejo a la luz de las capacidades y restricciones para su implementación propias de cada establecimiento. Cabe interrogarse acerca de la necesidad de desarrollo de tecnologías apropiadas para su manejo por la investigación local, ya que el área que ocupan estos potreros en los establecimientos lecheros es muy significativa y también lo es la dimensión de las oportunidades productivas y amenazas ambientales que se plantean.

En síntesis el sendero tecnológico de los sistemas lecheros en desarrollo y adopción comercial muestra una situación muy promisoriosa en términos de acumulación y secuestro de carbono por la naturaleza del sistema que se emplea basado en la complementación del sistema mixto con la siembra directa.