



Jornada de Lechería

de INIA La Estanzuela

Tecnologías para Sistemas Pastoriles Eficientes y Sostenibles





INIA La Estanzuela

Julio de 2024

Serie de Actividades de Difusión N°806 (SAD 806)

ISSN: 1688-9258.

Jornada de Lechería de INIA La Estanzuela

Tecnologías para Sistemas Pastoriles Eficientes y Sostenibles

Editado por la Unidad de Comunicación y Transferencia de Tecnología de INIA.



BALANCE PREDIAL Y ESTRATEGIAS PARA AUMENTAR LA EFICIENCIA DE UTILIZACIÓN DE NITRÓGENO Y REDUCIR EL RIESGO DE PÉRDIDAS AL AMBIENTE

Sofía Stirling¹, Agustín Nuñez², Valentina Rubio², Fernando A. Lattanzi³

¹ Sistema Lechero INIA

² Área Recursos Naturales, Producción y Ambiente INIA

³ Área Pasturas y Forrajes INIA


El nitrógeno en los sistemas lecheros

El nitrógeno es un nutriente esencial en la producción lechera, pero su gestión inadecuada puede resultar en pérdidas significativas al medio ambiente. En el ciclo del nitrógeno, la intensificación de la producción lechera se ha vinculado con un aumento del excedente de nitrógeno, una disminución de la eficiencia de uso del nitrógeno, la acumulación temporal del mismo en el suelo y un aumento en el riesgo de pérdidas al ambiente. Esto ocurre porque la eficiencia de uso de nitrógeno en los sistemas lecheros está limitada por la capacidad biológica de los animales para convertir el nitrógeno del alimento en leche y carne, y en menor medida, por la capacidad de los cultivos y pasturas para transformar el nitrógeno del suelo en granos y forraje. El excedente de nitrógeno en el sistema que no es utilizado por los animales o capturado por las plantas puede resultar en consecuencias ambientales perjudiciales, incluida la contaminación del agua por la lixiviación de nitratos, el calentamiento global debido a las emisiones de óxido nitroso y la contaminación del aire por las emisiones de amoníaco.

Balanceando el nitrógeno en la portera del predio - Resultados de la investigación

¿Qué herramientas hay disponibles para conocer el excedente de nitrógeno a nivel predial?

El balance predial de nitrógeno es un indicador sencillo y vigente que responde a los cambios en las prácticas de gestión de los predios. Es útil y creíble tanto para el productor como para el sector



en general. Esta herramienta permite, con datos fácilmente disponibles a nivel de predio (ej. venta de leche, compra de fertilizante y concentrados), calcular las entradas y salidas de nitrógeno, conocer el excedente de nitrógeno y su eficiencia de utilización. Veamos cómo se calcula y qué información nos aporta (Figura 1).

Primero, se deben delimitar las fronteras del predio, que en un sistema lechero puede ser la superficie vaca masa o superficie lechera, por ejemplo. Luego, se contabilizan las entradas de nitrógeno al sistema: (1) nitrógeno que entra como fertilizante, (2) nitrógeno que ingresa a través de concentrados y reservas forrajeras, (3) nitrógeno fijado biológicamente por leguminosas y microorganismos del suelo y (4) nitrógeno atmosférico que se deposita en forma de lluvia. Por otro lado, se contabilizan las salidas de nitrógeno del sistema, principalmente en la leche y, en menor proporción, en el peso vivo. Con las entradas y salidas conocidas, se calculan los siguientes indicadores: el **excedente de nitrógeno** como la diferencia entre las entradas y salidas de nitrógeno, y la **eficiencia de utilización de nitrógeno** como la relación entre las salidas y entradas de nitrógeno. Si las entradas de nitrógeno son muy superiores a las salidas, la eficiencia de utilización de nitrógeno será baja (ej. un predio que importa mucho concentrado y fertilizante, pero tiene bajo nivel de producción) y viceversa.

¿Cómo es el balance predial de nitrógeno de los sistemas lecheros de Uruguay y de las estrategias de intensificación propuestas?

Los sistemas de producción lechera en Uruguay tienen la oportunidad de aumentar la producción de leche mediante una mayor utilización del forraje de producción propia, incrementando la carga animal. Estudios nacionales muestran que duplicar la carga animal respecto al promedio del sector es biológicamente factible y mejora significativamente el desempeño biofísico y económico de los sistemas lecheros (Fariña y Chilibroste, 2019; Stirling, 2021; Stirling et al., 2021; Ortega et al., 2024). Estos resultados han proporcionado una dirección clara para la intensificación de los sistemas lecheros comerciales. Sin embargo, las estrategias de intensificación se caracterizan por un aumento de la dependencia de fertilizantes nitrogenados y suplementos importados, lo que hace necesario estudiar detalladamente el impacto de la intensificación en el flujo de nitrógeno en sistemas pastoriles.

Para conocer el estado actual de la lechería nacional y el efecto de la intensificación en términos de uso de nitrógeno, se llevó a cabo un trabajo conjunto con técnicos e investigadores de INALE, Facultad de Agronomía y el INIA (Stirling et al., 2024a). Este estudio analizó la situación inicial de la lechería nacional utilizando modelos basados en las encuestas lecheras de 2014 y 2019, así como seis sistemas intensificados evaluados en estudios experimentales de alta productividad por hectárea en condiciones de secano. Estos sistemas incluyen los modelos CRS desarrollados por la Facultad de Agronomía y 10MIL del INIA La Estanzuela, ambos escalados para representar el tambo promedio de Uruguay mediante el Modelo M4.

Balance predial de nitrógeno

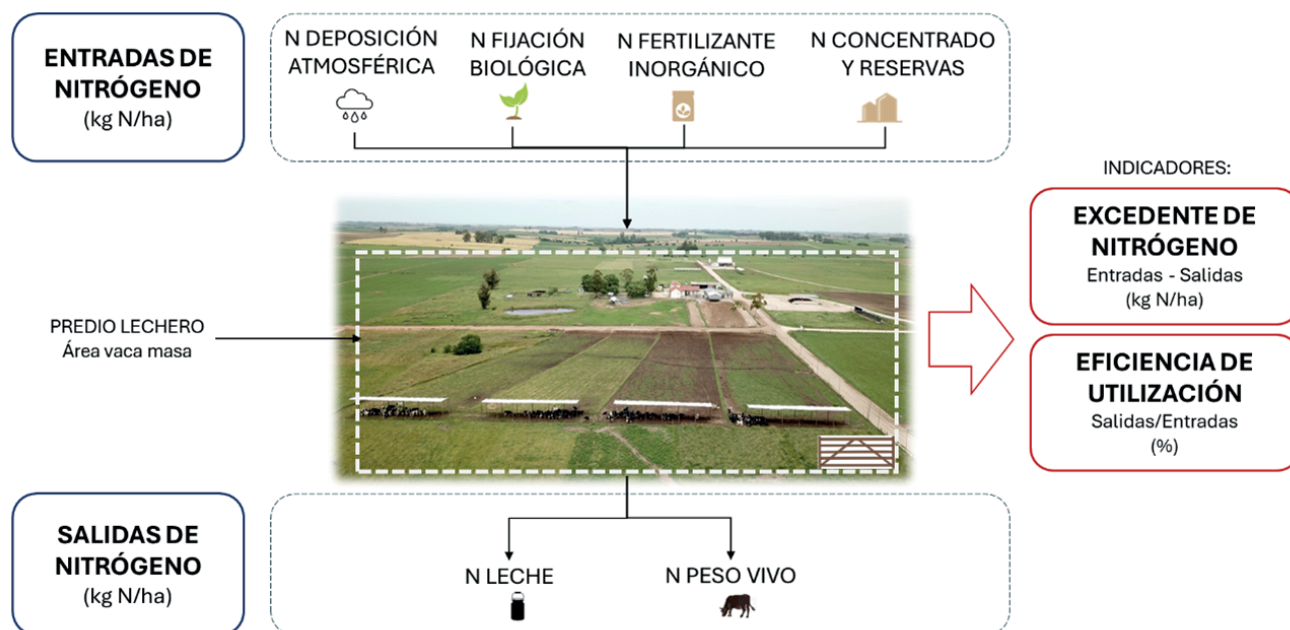


Figura 1. Esquema de balance predial de nitrógeno (N). La imagen es representativa de un predio lechero, en este caso, la Unidad de Lechería de INIA La Estanzuela.

Se constató que la lechería nacional promedio presenta un excedente de nitrógeno bajo (71 kg N/ha) en comparación con los sistemas intensificados (122-299 kg N/ha) (Figura 2). La intensificación de los sistemas lecheros que logran mejores resultados económicos implica un aumento en el excedente de nitrógeno a nivel predial, es decir, entradas de nitrógeno que no se convierten en productos animales y, por lo tanto, pueden perderse al medio ambiente. Se observó que a medida que aumenta la productividad por hectárea, aumentan las entradas de nitrógeno al sistema, principalmente por mayor uso de fertilizante y concentrado para soportar la mayor demanda de alimentos debido a la mayor carga animal (Figura 3).

Conocer el flujo del nitrógeno a nivel predial - oportunidades para reducir el riesgo de pérdidas al ambiente

Conocer cómo el nitrógeno ingresa y circula a través de un sistema lechero nos ayuda a entender que oportunidades hay de reciclaje y por donde puede potencialmente perderse en el medio ambiente. Actualmente estamos determinando a escala de sistema productivo y en dimensión espacio-temporal, donde se encuentran los mayores riesgos de pérdidas de nitrógeno en sistemas pastoriles intensificados. Para ello combinamos dos metodologías: modelación de sistemas y estudios controlados con mediciones experimentales.

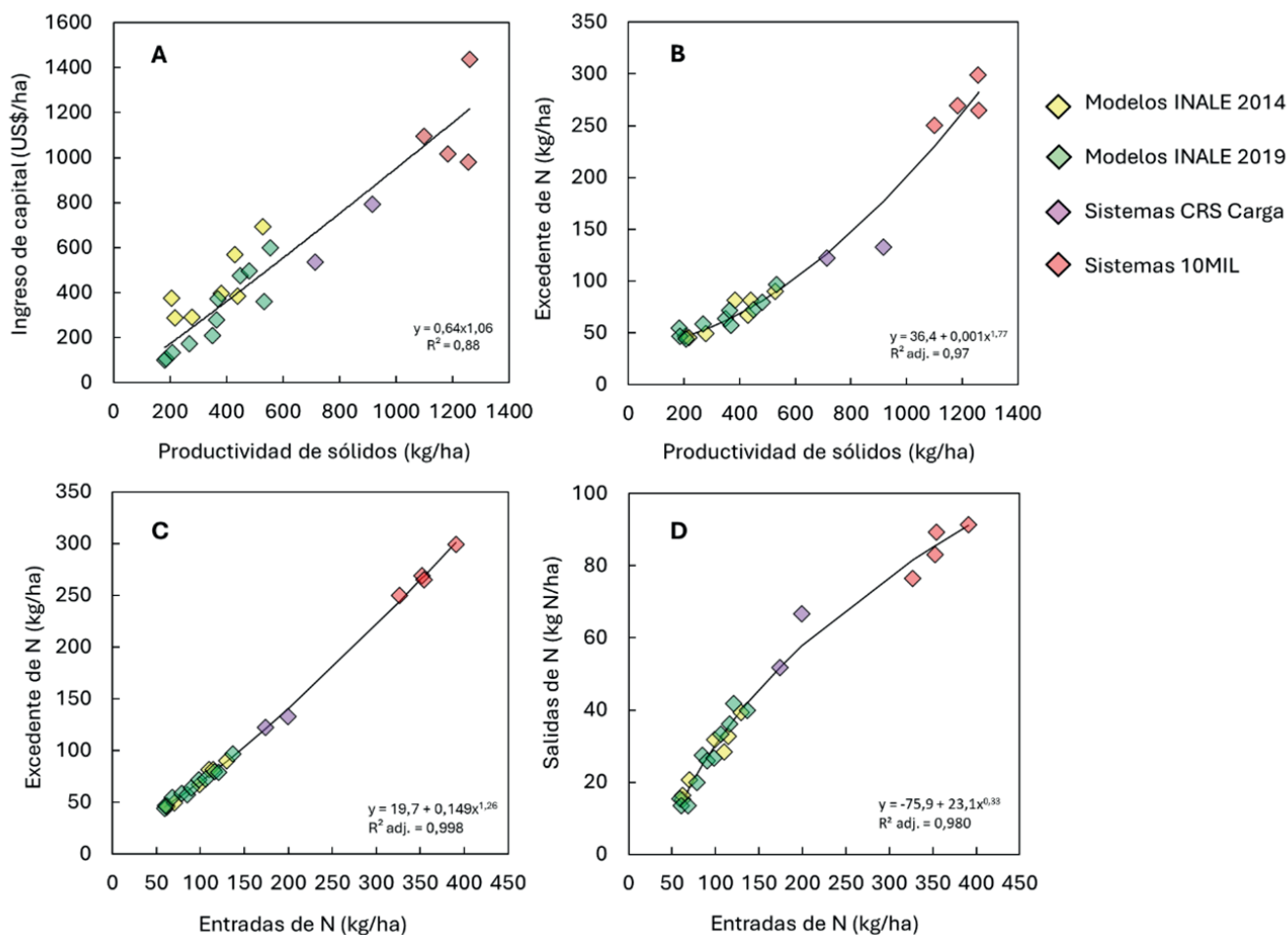


Figura 2. Relación entre productividad de sólidos e ingreso de capital (A); productividad de sólidos y excedente de nitrógeno (B); entradas y excedente de nitrógeno (C); entradas y salidas de nitrógeno (D) en sistemas lecheros nacionales (Modelos INALE 2014 - 2019) y sistemas lecheros intensificados (CRS carga y 10MIL). Resultados publicados en Stirling et al (2024a).

Modelación del flujo de nitrógeno para identificar lugares y momentos críticos de pérdidas al ambiente

La modelación de sistemas lecheros intensificados (Sistemas 10MIL; 2 - 2,5 vacas/ha) permitió predecir las pérdidas de especies reactivas de nitrógeno al ambiente y su partición relativa al aire y agua (Stirling et al., 2024b). Hicimos dos preguntas claves al modelo ambiental Overseer Science y estos fueron los resultados (Figura 3):

1. ¿Cuáles son las principales vías de pérdida de nitrógeno al ambiente? El modelo predijo que las pérdidas de nitrógeno ocurren principalmente por lixiviación (43%) y volatilización (41%), y en menor medida por desnitrificación (10%). Nos enfocamos en la lixiviación debido al alto riesgo de contaminación de aguas subterráneas. La lixiviación depende mucho del clima, siendo mayor en años con alta percolación y menor en años secos.

2. ¿Dónde y cuándo hay mayor riesgo de pérdidas por lixiviación de nitratos? El modelo predijo tres zonas principales de riesgo:

- Zona de encierro a cielo abierto y sin infraestructura de recolección de efluentes – se identificó como la principal área crítica debido a que se trata de sistemas de alta carga, donde los animales pasan una alta proporción del tiempo encerrados (~ 45%) por restricciones de pastoreo (bajas tasas de crecimiento, estrés por calor, exceso hídrico, etc.). Esto genera la acumulación de excretas que si no son recolectadas y gestionadas correctamente pueden generar pérdidas de nitrógeno al medio ambiente.
- Rotación anual con cultivos – se identificó como la segunda área crítica debido a que, durante el barbecho, cuando el suelo está desnudo, se produce acumulación de nitratos, lo que genera riesgo de pérdidas por lavado, particularmente en momentos de balance hídrico positivo.
- Parches de orina – se identificó como un área de acumulación de nitratos, pero con menor magnitud de riesgo en comparación con los anteriores.

Conocer y gestionar eficazmente estos puntos críticos mejorará la productividad del sistema y disminuirá el riesgo de contaminación.



Figura 3. Esquema representativo del proceso de modelación y de la circulación de nitrógeno a nivel predial. Las líneas continuas simbolizan los flujos conocidos (entradas y salidas del predio) y las líneas discontinuas simbolizan los flujos predichos por el modelo. Los símbolos de “peligro” representan las zonas de riesgo de lixiviación de nitrato al ambiente.

Mediciones experimentales

Los trabajos experimentales en marcha se enfocan principalmente en las pérdidas de nitrógeno por lixiviación, principal riesgo de contaminación local identificado en los ejercicios de modelación. Por este motivo, el objetivo es generar información local que permita caracterizar la dinámica del nitrógeno y las pérdidas de nitratos por lixiviación en las distintas fases de una rotación lechera intensiva. Se identifican tres fases de la rotación que pueden tener diferente comportamiento con respecto a la dinámica del nitrógeno y sus posibles pérdidas por lixiviación:

1. Fase anual de la rotación, que incluye los períodos de barbecho y la producción de verdeos de invierno y cultivos de maíz
2. Fase de pasturas gramíneas, con producción de Festuca en base al uso de fertilizante nitrogenado inorgánico
3. Fase de pasturas mezcla de leguminosas y gramíneas (Alfalfa-Dactylis) donde la entrada de nitrógeno se da por medio de la fijación biológica. Además, las mayores pérdidas de N en pastoreo ocurren desde los parches de orina.

Para monitorear adecuadamente la dinámica del nitrógeno en las fases identificadas, en la primavera 2023 se instalaron dos experimentos sobre potreros de la Unidad de Lechería de INIA La Estanzuela con distinta base forrajera: Alfalfa-Dactylis o Festuca. En cada experimento hay tratamientos que representan distintas fases de la rotación lechera: la pastura base, la concentración de nitrógeno en parches de orina y la fase anual de cultivos (Figura 4). Dada la importancia de los barbechos en las pérdidas estimadas de nitrógeno, se están comparando también dos estrategias de cultivo (maíz temprano vs. tardío) que difieren en el momento del año en que ocurren los barbechos. Mediciones detalladas en cada tratamiento permitirán conocer el balance de nitrógeno y su asociación con la evolución del nitrógeno inorgánico y humedad del suelo (principales determinantes del riesgo de lixiviación), así como la presencia de nitratos en la solución del suelo por debajo de la zona de mayor exploración radicular. Esta información permitirá entender mejor la relación entre los balances de nitrógeno, su dinámica y las pérdidas por lixiviación en sistemas pastoriles intensificados, generando coeficientes locales que informen los trabajos de simulación y permitan evaluar medidas de mitigación.



Figura 4. Foto del experimento instalado en la Unidad de Lechería de INIA La Estanzuela en la que se puede apreciar distintas fases de la rotación lechera: la pastura base, los parches de orina y la fase anual de cultivos (maíz).

Implicancias prácticas - ¿Cómo podemos mejorar la eficiencia de uso del nitrógeno a nivel predial?

El animal es principal determinante de la eficiencia de uso de nitrógeno en un sistema lechero y gran parte del excedente de nitrógeno se deposita en el predio en forma de excreta. Por tanto, todas las medidas de manejo destinadas a reducir la excreción de nitrógeno y a gestionar eficientemente las excretas, reducirán el riesgo de pérdidas al ambiente. Las pasturas y los cultivos también determinan, aunque en menor medida, la eficiencia de uso del nitrógeno del sistema.

Medidas de manejo para mejorar la gestión de nitrógeno a nivel predial:



Reducir la excreción de nitrógeno por parte del animal - Ajuste de dietas.

Mediante la formulación periódica de la dieta y el ajuste del nivel de proteína según los requerimientos del animal, evitamos el exceso en el suministro de nitrógeno, logrando mayor eficiencia y reduciendo la excreción. Esta medida tiene repercusiones ambientales y económicas favorables, ya que optimiza el ingreso de nitrógeno al predio en forma de suplemento.



Aumentar la recirculación de nitrógeno en el sistema - Gestión de efluentes.

El animal excreta el nitrógeno no convertido en producto, en forma de orina y heces. Capturar y gestionar los efluentes de las zonas de encierro, pistas de alimentación y sala de ordeño con infraestructura adecuada permitirá aprovechar el nitrógeno excretado y aumentar su eficiencia de uso en el predio. El uso de efluentes como fertilizante orgánico, es una forma de reutilizar el nitrógeno excedente para la producción de forraje y reducir el uso de fertilizante inorgánico (ej. urea).




Fertilización de pasturas y cultivos - Lugar y momento adecuado.

La aplicación de nitrógeno debe realizarse en el lugar, momento y cantidad adecuados según los requerimientos de las plantas para aumentar la eficiencia y minimizar el riesgo de pérdida al ambiente. Algunas medidas de manejo incluyen fertilizar según los requerimientos de las pasturas o cultivos, usar urea protegida de lenta liberación, y evitar altas dosis de fertilización en momentos de exceso hídrico o alta percolación.

Mensajes finales

Los trabajos realizados en materia de nitrógeno en los sistemas lecheros nos permiten conocer el estado actual de los sistemas lecheros de Uruguay y estar un paso adelante respecto a los potenciales efectos de la intensificación lechera.

- La lechería nacional presenta un excedente de nitrógeno relativamente bajo en comparación con sistemas lecheros intensificados, tanto de otros países exportadores de leche, como los propuestos por la investigación a nivel nacional. Estamos a tiempo de lograr un proceso de intensificación sostenible en materia de gestión de nitrógeno.
- Identificar los puntos críticos de pérdidas de excedente de nitrógeno al ambiente, tanto con modelación como a nivel experimental, nos permite conocer con más detalle nuestros sistemas y las oportunidades de recirculación de nitrógeno a nivel predial y reducción de pérdidas al medio ambiente.
- Una adecuada infraestructura para la correcta gestión de excretas, no solo en la sala de ordeño, sino también en las zonas de encierro, aparece como una condición ineludible en el proceso de crecimiento e intensificación de los sistemas lecheros.
- Las medidas de manejo propuestas para aumentar la eficiencia de uso de nitrógeno a nivel predial son aplicables y tienen beneficios ambientales y económicos en el sistema.
- Esperamos que la información generada sirva para guiar a los avances tecnológicos y la formulación de políticas, fomentando medidas de manejo innovadoras y sostenibles que contribuyan a lograr un sector lechero más responsable con el medio ambiente y económicamente sostenible.

Material de interés y referencias		Acceso
<p>Balancing nitrogen at the farm gate: Economic-environmental sustainability trade-off in pastoral dairy systems of Uruguay. <i>Agrociencia Uruguay</i>, 28(NE1), e1243.</p>	<p> Agrociencia Uruguay 2024 Volume 28 Number NE1 Article e1243 DOI: 10.31285/AGRO.28.1243 ISSN 2730-5066</p> <p>Advances and trends of dairy production in Uruguay</p> <p>Balancing nitrogen at the farm gate: Economic-environmental sustainability trade-off in pastoral dairy systems of Uruguay</p> <p>Stirling, S. ¹; Lussich, F. ^{1*}; Ortega, G. ²; La Manna, A. ¹; Pedemonte, A. ²; Artagaveytia, J. ²; Guidice, G. ²; Fariña, S. ¹; Chilibroste, P. ²; Lallanzi, F. A. ¹</p> <p>¹Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA), Colonia, Uruguay ²Universidad de la República, Facultad de Agronomía, Paysandú, Uruguay ³Instituto Nacional de la Leche, Montevideo, Uruguay ⁴University of Tennessee, Department of Biosystems Engineering and Soil Science, Knoxville, USA</p>	

Referencias

Ortega, G., Berberian, N., & Chilbroste, P. (2024). The effects of stocking rate, residual sward height, and forage supplementation on forage production, feeding strategies, and productivity of milking dairy cows. *Frontiers in Animal Science*, 5, 1319150. <https://doi.org/10.3389/fanim.2024.1319150>

Stirling, S. (2021). Estrategias de intensificación para sistemas lecheros pastoriles en Uruguay: análisis biofísico y del potencial impacto ambiental. Tesis de Doctorado. Facultad de Veterinaria. Universidad de la República.

Stirling, S., Delaby, L., Mendoza, A., & Fariña, S. (2021). Intensification strategies for temperate hot-summer grazing dairy systems in South America: Effects of feeding strategy and cow genotype. *Journal of Dairy Science*, 104(12), 12647–12663. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-20507>

Stirling, S., Lussich, F., Ortega, G., La Manna, A., Pedemonte, A., Artagaveytia, J., Guidice, G., Fariña, S., Chilbroste, P., & Lattanzi, F. A. (2024a). Balancing nitrogen at the farm gate: Economic-environmental sustainability trade-off in pastoral dairy systems of Uruguay. *Agrociencia Uruguay*, 28(NE1), e1243. <https://doi.org/10.31285/AGRO.28.1243>

Stirling, S., Lattanzi, F. A., Fariña, S., & Vibart, R. (2024b). Nitrogen loss partitioning and emissions in intensive subtropical hybrid dairy systems. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. <https://doi.org/10.1007/s10705-024-10359-4>