

Introducción

En la actualidad existe una preocupación global sobre el impacto ambiental, con atención en el flujo de macronutrientes como el N (Schlesinger, 2009). El modelado multiagente (ABM) es una herramienta de simulación que tiene la ventaja de la espacialización del problema, donde la interacción entre agentes puede ser representada y evaluada dinámicamente (Railsback & Grimm, 2019).

Se presenta un estudio de caso donde se implementó un modelo ABM para caracterizar el flujo de N y su dinámica espacial y temporal.

Materiales y Métodos

Se implementó un modelo ABM (plataforma NetLogo v6.2; Wilensky, 1999) a partir registros de un sistema comercial (año 2019) considerando el número de animales, composición y producción de leche, perfil de la dieta (consumo de pasturas, reservas y concentrados) y el uso del suelo (rotación de cuatro años con Sorgo forrajero, Raigrás y una pradera compuesta de Alfalfa y Festuca).

El ABM calcula para cada *patch* el balance de N, donde se consideró como aportes al pool de N móvil la fertilización (urea a razón de 50 kg/ha fertilizada, promedio anual), la orina y 25% de las heces depositadas (Del Prado et al., 2006), y como pool de N inmóvil a la fijación biológica (FBN, 30 kg/ton MS de leguminosa; García et al., 1994) y el 75% restante del N en heces. Se modeló el área de pastoreo de las vaca ordeñe (126 ha). Las reservas de alimento y concentrado se producen en otra fracción del establecimiento (consideradas entradas al sistemas). Se incluyó la dinámica de las pasturas (tasas de crecimiento y su extracción de N), y se calculó la salida de compuestos nitrogenados según estándar del IPCC (2006) considerando las emisiones directas, las pérdidas por volatilización y por lixiviación. También, se calculó la eficiencia de uso del nitrógeno (EUN) de los animales (Powell et al., 2010).

Modelo ABM (dinámico)

La figura 2 y 3 muestran los resultados de las simulaciones anuales realizadas. La figura 2 considera únicamente el aporte en parcela y en el SGE de las vacas (por excreción). La figura 3 muestra la dinámica completa del N (considerando todas las entradas y salidas consideradas).

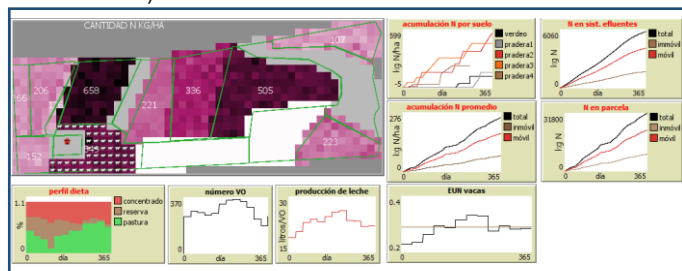


Fig. 2. Resultado del ABM considerando solo excreta animal.

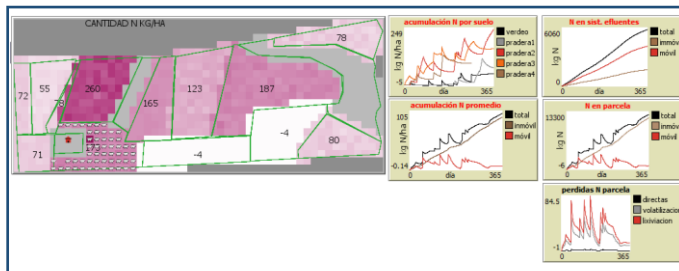


Fig. 3. Resultado del ABM incluyendo las entradas y salidas consideradass.

El aporte de N por las excretas de los animales refleja su movimiento en el sistema. En potreros menos utilizados (barbecho y pradera de 1er y 4to año) la acumulación de N es menor. Al considerar el balance completo (incluyendo salidas ambientales) la acumulación se debe al N inmóvil, principalmente proveniente de la fracción de la excreta de N en bosta y la entrada por FBN.

Conclusión

La alta carga animal (1,6 VM/ha VM) en sistemas –como el caso de estudio– que están formados por áreas destinadas exclusivamente al pastoreo pueden acumular nutrientes, lo que genera dificultades incluso en las posibilidades de aplicar efluentes en ella. El modelado ABM permite espacializar el problema considerando el movimiento de los animales entre parcelas y por ende calcular el aporte de N en parcela y las pérdidas ambientales de este elemento.

Con este avance se demuestra la utilidad de esta herramienta, considerando la interacción entre agentes, y la heterogeneidad espacial del sistema. Otros nutrientes de impacto ambiental como lo es el fósforo pueden ser incorporados en este tipo de modelos a futuro.

Resultados y discusión

Balance anual (estático)

La figura 1 presenta la proporción del total de entradas de N (53262 kg N/año), las salidas en leche (14041 kg N/año) y la proporción de las salidas ambientales (26648 kg N/año). La diferencia entradas-salidas (12573 kg N/año) se considera estocqueada en el sistema (en parcela y en el sistema de gestión de efluentes SGE).

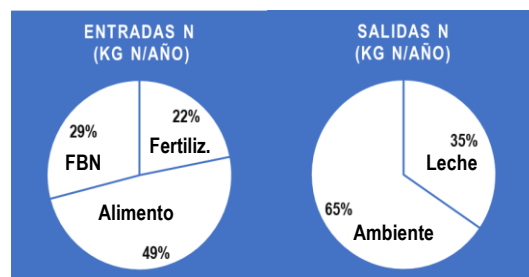


Fig. 1. Balance anual de N

Del total de salidas ambientales, 60% ocurren desde las parcelas, siendo la lixiviación la principal vía de salida del N (45%, 11442 kg N/año)