

COMUNICACIÓN CORTA

BALANCE DE NITRÓGENO EN FINCAS PARA LA PRODUCCIÓN DE LECHE EN COSTA RICA¹

José Pablo Jiménez-Castro², Jorge Alberto Elizondo-Salazar³

RESUMEN

Balace de nitrógeno en fincas para la producción de leche en Costa Rica. El objetivo del presente trabajo fue cuantificar el aprovechamiento de N en once fincas lecheras. La investigación se efectuó en Costa Rica en las provincias de San José, Cartago y Alajuela. Se utilizaron datos de compras de insumos, ventas de leche, compra y salida de animales, entre los meses de enero a diciembre del 2010. Se emplearon tres indicadores que permitieron analizar la eficiencia de las fincas. El número total de animales varió entre 39 y 242. La producción anual de leche fue de 300 880 kg, con un contenido de proteína cruda promedio que varió entre 3,08 y 3,39%. El área varió entre 1 y 116 ha. Las once fincas importaron en promedio 4636 (± 3491) kg de nitrógeno, donde un 75% provenía de alimentos y solamente un 25% era proveniente de fertilizantes. Las fincas exportaron 1572 (± 1177) kg de nitrógeno, donde un 93% egresó de la finca en la leche vendida y solamente un 7% en la venta de animales. El total de N exportado varió entre 717 y 4716 kg. Las fincas ingresaron 16,95 ($\pm 7,37$) g N/kg de leche producida. En general, el balance de N fue positivo para todas las fincas, lo que indica que ingresó más del que salió en forma de producto, y permaneció el 65% del N importado. Las estrategias para reducir la excreción de N deben ir orientadas a mejorar las dietas ofrecidas, debido a que la mayor proporción de estos nutrientes ingresan por medio de la alimentación.

Palabras clave: balance de nutrientes, eutrificación, ganado de leche, nutrición animal.

ABSTRACT

Nitrogen balance on Costa Rican dairy farms. The objective of this study was to quantify the use of N in 11 dairy farms located in the provinces of San Jose, Cartago and Alajuela. Data such as feed purchases, milk sales, purchase and removal of animals was compiled and analyzed between January and December 2010. In order to evaluate the use of N, three indicators that allowed analyzing farm efficiency were used. Total number of animals ranged from 39 to 242. Annual milk production was 300880 kg with an average crude protein content that ranged between 3.08 and 3.39%. Farm area varied from 1 to 116 ha. The 11 farms imported on average 4636 (± 3491) kg of nitrogen, of which 75% came from feed and only 25% from fertilizers. Farms in turn exported 1572 (± 1177) kg of nitrogen, of which 93% was exported as milk and only 7% as animals. Also, total N exported ranged between 717 and 4716 kg, while farms imported 16.95 (± 7.37) g of N per kg of milk produced. In general, N balance was positive for all farms, indicating that more N entered the farm that came out in the form of product, showing that up to 65% of all imported N remained in the farms. Our results suggests that strategies to reduce N excretion should be developed, including improvements in the diet, since the largest N input is through imported feed.

Keywords: nutrient balance, eutrophication, dairy cattle, animal nutrition.

¹ Recibido: 30 de julio, 2013. Aceptado: 18 de marzo, 2014. Proyecto inscrito en la Vicerrectoría de Investigación No. 737-A9-247, Universidad de Costa Rica.

² Escuela de Ciencias Agrarias, Facultad de la Tierra y el Mar. Universidad Nacional de Costa Rica, Heredia, Costa Rica. josepablo.jimenez@gmail.com

³ Estación Experimental Alfredo Volio Mata. Facultad de Ciencias Agroalimentarias, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. jorge.elizondosalazar@ucr.ac.cr



INTRODUCCIÓN

Durante las últimas tres décadas, la producción de leche en Costa Rica se incrementó de 308 millones de kilogramos (en el año 1980) a 953 millones de kilogramos de leche (en el año 2011), representando un aumento anual promedio de 7% (Cámara Nacional de Productores de Leche, 2012). El incremento en la producción, junto con mejoras en tecnologías y técnicas de manejo, ha requerido que la importación de materias primas a las fincas sea abastecida mediante el uso intensivo de alimentos balanceados, sales minerales y fertilizantes químicos.

Dentro de este esquema, el nitrógeno (N) es el nutriente más ampliamente utilizado en la fertilización agrícola, ya que las formas más disponibles en el suelo son generalmente insuficientes para satisfacer los requerimientos de los forrajes y otros cultivos (Follet, 2001; Keeney y Hatfield, 2001). Es además el elemento encontrado en mayores cantidades en el estiércol bovino y juega un importante papel en la contaminación de aguas subterráneas, aguas superficiales y el aire (NRC, 2003).

Actualmente, los productores de leche se encuentran bajo la presión de utilizar sistemas productivos más eficientes y que sean menos contaminantes, pero no se ha asociado un costo directo a la cantidad de N que es excretado en las fincas lecheras en Costa Rica. Sin embargo, algunos países de Europa (Bélgica, Dinamarca, Francia y Holanda) cobran impuestos o multas a los finqueros basados en la cantidad de N excretado en la finca (OECD, 2004).

No se conoce con certeza el tipo de regulaciones que se puedan implementar en nuestro país, y para estar en concordancia con ellas, es necesario contar con información que permita cuantificar la cantidad de nitrógeno que ingresa y que sale de las fincas.

Es difícil medir, de manera rutinaria, la cantidad de N que se pierde en una finca y si se utilizan estrategias para controlar un tipo de pérdida (por ejemplo, volatilización) usualmente conlleva a incrementos en otro tipo de pérdida (por ejemplo lixiviación) (Spears et al., 2003). Por lo tanto, el balance de N en una finca (total de ingresos de N menos total de egresos en forma de productos) es considerado la mejor forma práctica de estimar la cantidad de N que permanece en la finca y que puede representar un riesgo potencial para el ambiente (Kohn et al., 1997).

El balance de nutrientes en una finca lechera, es una herramienta agroambiental que permite considerar sistemas de manejo que disminuyan las pérdidas de los elementos al medio ambiente (Parris, 1999; Funaki y Parris, 2005).

Usualmente, las entradas de N en alimentos y fertilizantes son mayores que las salidas en leche, animales vendidos y cultivos (Satter, 2001; Vande-Haar y St-Pierre, 2006). Estos excedentes tienden a incrementarse conforme se intensifica la producción y aumenta la carga animal en las fincas (Halberg et al., 2005). Las mayores pérdidas de nitrógeno del suelo se deben a la remoción por cosechas y a la lixiviación. Sin embargo, bajo ciertas condiciones, algunas formas inorgánicas de nitrógeno se pueden convertir a gases y perderse hacia la atmósfera. Las principales rutas son la denitrificación y la volatilización (Elizondo, 2006).

En Costa Rica, no existe ningún tipo de información científica respecto a la utilización de N en fincas lecheras, por lo que el presente trabajo tiene como objetivo cuantificar el aprovechamiento de N en algunas fincas de vocación lechera.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en once fincas lecheras ubicadas en los cantones de Alfaro Ruiz, Naranjo, Poás y San Carlos en la provincia de Alajuela; Goicoechea y Vásquez de Coronado en la provincia de San José y Oreamuno en la provincia de Cartago. Se utilizaron datos de compras de insumos, ventas de leche, compra y salida de animales, entre los meses de enero a diciembre del año 2010. Se siguió la metodología utilizada por Spears et al., (2003) donde todos los datos utilizados fueron con base en materia seca. Los índices de aprovechamiento de N fueron calculados con base en la metodología implementada por Bouldin y Klausner (2002), Koelsch y Lesoing (1999) y Spears et al. (2003).

Para el estudio, se consideraron aquellas fincas en las que el sistema de producción se llevara a cabo en una sola localidad. Debían poseer información de compras de fertilizantes, incluyendo la cantidad y la fórmula química. Era necesario que contaran con información de compras de alimentos balanceados, sales minerales, pacas de heno u otros subproductos utilizados en la alimentación animal. Era indispensable

que contaran con información de la cantidad de leche entregada a la planta industrializadora, incluyendo el porcentaje de proteína, igualmente el mantener registros de entrada y salida de animales de las fincas.

Las lecherías son especializadas, es decir el ordeño se hace de forma mecánica en salas de ordeño. No se consideró importante la raza de los animales, pero primordialmente las fincas trabajaban con animales de la raza Holstein, Jersey y cruce HolsteinxJersey.

Estimación de la cantidad de nitrógeno importado

El N proveniente de los fertilizantes se calculó de acuerdo a las compras realizadas y luego corregido por el porcentaje de N en la fórmula química; mientras que el proveniente del alimento balanceado se calculó según las compras registradas, corregidas por el porcentaje de proteína cruda (PC) y dividido entre 6,25 (NRC, 2001) para obtener la cantidad de N ingresado.

Inicialmente se quiso considerar el tamaño de las fincas, pero se determinó que no todas contaban con información exacta y detallada del área, por lo que no fue posible relacionar el ingreso de N con respecto al área de las fincas. Para eliminar el efecto del tamaño de la finca, las entradas de N fueron expresadas con base en la producción de leche, como gramos de N/kg de leche producida (Spears et al., 2003; Herrero et al., 2006). Así mismo, se calculó la proporción de nutrientes que ingresan por alimentos (incluyendo estos balanceados, subproductos agrícolas, reemplazadores lácteos y pacas de heno), fertilizantes y otros suplementos, con base en el ingreso total. Estos resultados permiten conocer la principal entrada de nutrientes a las fincas.

Estimación de la cantidad de nitrógeno exportado

El N exportado a través de la leche, se calculó mediante la cantidad de esta entregada a la planta industrializadora, corregida por el valor de proteína y dividido por el factor de 6,38 (Moorby y Theobald, 1999) para conocer el equivalente de N. Para la estimación de la cantidad de N exportado a través de los animales que salen de la finca, se utilizó los valores de 2,6% y 2,4% de nitrógeno de acuerdo al peso vivo para terneras y vacas, respectivamente (Pearson e Ison, 1997).

Cálculo de índices de aprovechamiento de nitrógeno

Para evaluar el aprovechamiento de N, se utilizaron 3 indicadores:

- 1- Indicador de Uso de N (IUN, %) como cociente entre la cantidad de N que permanece en la finca y el total ingresado, lo cual muestra las ineficiencias del sistema (Bouldin y Klausner, 2002; Herrero et al., 2006).
- 2- Indicador de Consumo de N (ICN), cociente entre la entrada y salida de N (entrada N/salida N), que permite evaluar en cuántas veces las entradas de N a la finca superan a la salida a través de los insumos considerados (Koelsch y Lesoing, 1999; Herrero et al., 2006).
- 3- Eficiencia Global del Balance (EGB, %), indica qué proporción del total de nutrientes que ingresan a la finca, salen del mismo (salida N/entrada N x 100) (Spears et al., 2003; Herrero et al., 2006).

El cálculo de estos índices permite analizar la eficiencia individual de las fincas (Jarvis, 1993; Dou et al., 1998) y compararlos con otros sistemas de producción (Halberg et al., 1995; Haygarth et al., 1998).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características generales de las fincas evaluadas

Las fincas analizadas presentaron un amplio rango en las variables evaluadas (Cuadro 1). El número total de animales varió entre 39 y 242. La producción promedio anual de leche para las once fincas fue de 300 880 kg, con un contenido de proteína cruda que estuvo entre 3,08 y 3,39%. El área de las fincas varió entre 1 y 116 ha. Los sistemas de manejo para alimentación de los animales fueron muy diversos, encontrándose pastoreo rotacional, estabulación y semi-estabulación. En cuanto a los ingredientes utilizados para alimentar a los animales, se presentó también una gran variabilidad. La mayoría de las fincas suplían alimentos balanceados, pero también se encontró caña de azúcar, melaza de caña, pulpa de cítricos, pacas de heno, silopacas, maíz molido,

Cuadro 1. Resumen de parámetros seleccionados para once fincas lecheras ubicadas en las provincias de Alajuela, San José y Cartago, Costa Rica. 2010.

Parámetro	Promedio	DE ¹	Mínimo	Máximo
Número total de vacas	67	33	30	150
Número de reemplazos	39	24	9	92
Producción de leche total, kg/año	300 880	229 839	137 406	907 894
Producción de leche, kg/vaca/día	19	6	10	26
Proteína cruda en leche, %	3,16	0,08	3,08	3,39
Área, ha	26	32	1	116

¹Desviación estándar.

destilados de maíz, cascarilla de soya, harina de soya, semolina de arroz, afrecho de arroz, cáscara de piña y cáscara de banano maduro.

Entrada de nitrógeno

Con respecto a la importación de N para las fincas evaluadas, el mayor ingreso de N se dio a través de la compra de alimentos (Figura 1). En promedio, las once fincas importaron 4636 (± 3491) kg de nitrógeno donde

un 75% provenía de alimentos y solamente un 25% era proveniente de fertilizantes. Otros estudios han demostrado también que la variable que aporta la mayor cantidad de N es por el ingreso de alimentos al sistema (Spears et al., 2003; Hristov et al., 2006). Sin embargo, en el estudio de Hristov et al. (2006), la proporción de N importado a través de alimentos fue del 90%.

Con respecto a las cantidades importadas, 2250 kg de N correspondieron a la menor importación, mientras que 14 618 kg correspondieron a la mayor.

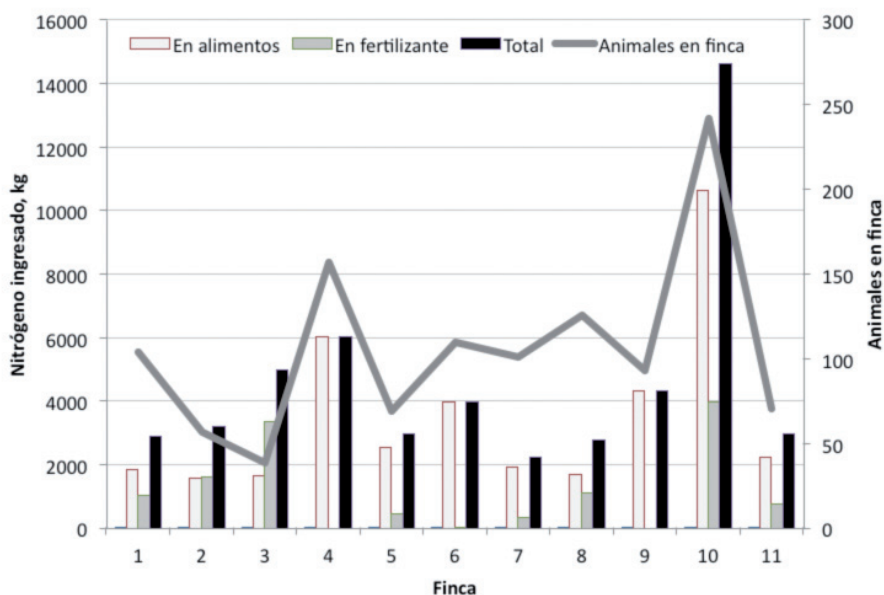


Figura 1. Importación de nitrógeno (kg) en alimentos y fertilizantes, en once fincas lecheras ubicadas en las provincias de Alajuela, San José y Cartago, Costa Rica. 2010

La fijación de N por medio de leguminosas podría hacer un importante aporte, pero ninguna de las fincas estudiadas contaban con leguminosas en los potreros. Otros estudios han reportado que el aporte de N por medio de leguminosas puede llegar a ser el segundo en importancia (Hristov et al., 2006).

La importación de N a través de la compra de animales fue prácticamente nula, especialmente cuando se observó que la mayoría de explotaciones no compraron ningún tipo de animal durante la duración del estudio.

Salida de nitrógeno

Cuando se consideró la cantidad de N que sale de las fincas, los datos obtenidos muestran que en general las fincas exportaron la mayor proporción de N a través de la venta de leche (Figura 2). En promedio, las once fincas estudiadas exportaron en total 1572 (± 1177) kg de nitrógeno, donde un 93% egresó de la finca en la leche vendida y solamente un 7% en la venta de animales. El total de N exportado varió entre 717 y 4716 kg. En un estudio reportado por Hristov et

al. (2006) en los Estados Unidos se indica que en ocho fincas analizadas, solamente el 54% del N exportado se hizo a través de la leche, valor muy por debajo al obtenido en nuestro estudio. Sin embargo, es importante recalcar que esta gran diferencia puede deberse a que en dicho estudio, algunas de las explotaciones vendían forrajes, estiércol y otros productos agrícolas producidos en el lugar, situación que no se dio en las fincas de nuestro país. Dichos autores indican también que la proporción de N exportado como animales (vendidos o de desecho) fue de 8%, resultado muy similar al obtenido en el presente estudio.

Balace de nitrógeno

El balance es la diferencia entre las entradas y las salidas esperadas (venta de leche y animales). Los sistemas ganaderos con un balance positivo significativo, donde las entradas son mayores que las salidas, concentran nutrientes que posteriormente pueden convertirse en un riesgo para la calidad del agua y el aire. En contraste, sistemas que han alcanzado un balance, representan un sistema de

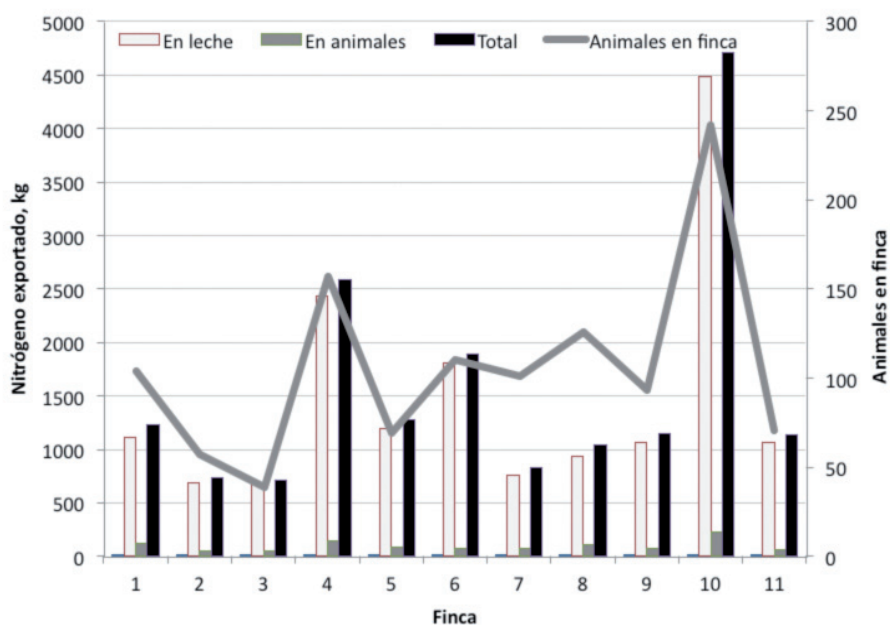


Figura 2. Exportación de nitrógeno (kg) en leche y animales, en once fincas lecheras ubicadas en las provincias de Alajuela, San José y Cartago, Costa Rica. 2010.

producción potencialmente sustentable (Hart et al., 1997).

Los resultados muestran un balance positivo de N en las once explotaciones estudiadas, lo que indica que más N ingresó a las fincas que el que salió de ellas en forma de producto (Figura 3). Una porción significativa del N que se queda en la finca (presente en las heces y la orina) se volatiliza a la atmósfera como amoníaco (NH_3), mientras que otra porción puede ser transportada hacia aguas superficiales en el agua de escorrentía o filtrarse a través del suelo hacia aguas subterráneas en forma de nitratos (Rotz, 2004). Las pérdidas por NH_3 presente en el estiércol son grandes y ocurren rápidamente una vez que las heces se mezclan con la orina. El N en las heces es predominantemente N indigestible del alimento, N microbiano y N de origen endógeno. La forma principal de N en la orina es urea y el NH_3 emitido en las explotaciones pecuarias es principalmente producto de la degradación de la urea. Cuando se mezcla con las heces, la urea rápidamente se convierte en NH_3 . Dependiendo de factores como pH, velocidad del aire, temperatura y concentración, una alta proporción del amoníaco puede volatilizarse fácilmente hacia el medio (Hristov et al., 2006).

En el ambiente, el amoníaco reacciona fácilmente con cloruros y óxidos formando partículas contaminantes, que son una mezcla de partículas sólidas y líquidas

que se encuentran suspendidas en el aire. Las partículas contaminantes son un inconveniente para la salud humana ya que contribuyen a problemas cardiovasculares y complicaciones respiratorias (Kaiser, 2005), también reducen la visibilidad y contribuyen a que el nitrógeno sea transportado hacia otras localidades donde puede ser depositado en forma húmeda o seca, provocando acidez del suelo, eutrofización de los ecosistemas y la muerte de plantas y animales (Pearson y Stewart, 1993). Por estas razones, las regulaciones ambientales en muchos países desarrollados han hecho que las explotaciones animales tengan que cuantificar y ajustar el balance o flujo del nitrógeno con el fin de minimizar la excreción de este nutriente al ambiente.

Gramos de nitrógeno por kilogramo de leche producida

Con el objetivo de eliminar el efecto del tamaño de la finca, la entrada de N fue expresada como gramos de N/kg de leche producida (Spears et al., 2003; Herrero et al., 2006). Los datos obtenidos indican que en promedio las fincas ingresaron 16,95 ($\pm 7,37$) g N/kg de leche producida. El mayor ingreso de N se observó en la finca 3, la cual requirió de 36,28 g de N para producir un kilogramo de leche; mientras que la finca 6 llegó a importar 9,93 g de N por cada kilogramo

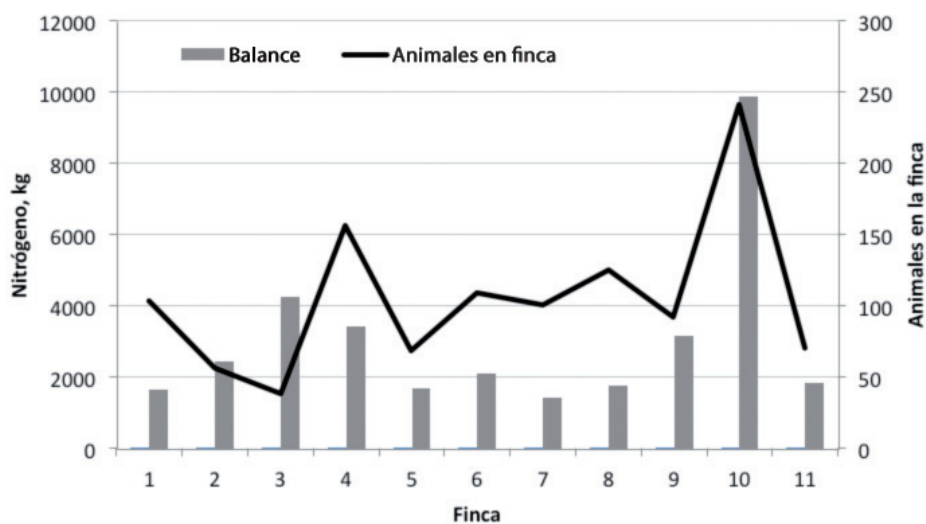


Figura 3. Balance de nitrógeno (kg) entradas y salidas (alimentos y fertilizantes/leche y animales) para once fincas lecheras ubicadas en las provincias de Alajuela, San José y Cartago, Costa Rica. 2010.

de leche producida. En un estudio similar, Laws et al. (2002) al evaluar 86 fincas lecheras, reportaron ingresos de 24,63 g de N/kg de leche producida, mientras que Spears et al. (2003) reportaron un ingreso de 22,29 g de N/kg de leche en un ensayo realizado en dieciocho fincas, cada una con un hato promedio de 700 animales.

La diferencia entre estudios pudo deberse a una serie importante de factores como nivel de producción de los animales, utilización de fertilizantes, tipo de alimentación, cantidad de alimento balanceado ofrecido, entre otros.

Análisis de los índices de aprovechamiento de nutrientes

Los resultados de los índices de aprovechamiento de N de las once fincas evaluadas se observan en el Cuadro 2. Estos índices muestran concretamente la eficiencia o ineficiencia de la utilización de los nutrientes.

El primer indicador analizado fue la Eficiencia Global del Balance (EGB), el cual indica la proporción de nutrientes que salen de la finca en la leche, con respecto a las entradas (Spears et al., 2003; Herrero et al.,

2006). Valores altos en este indicador, demuestran mejores aprovechamientos de los nutrientes. El promedio anual de la EGB de N fue de 35% (± 10), con valores máximos y mínimos de 47 y 14%, respectivamente.

Considerando datos de diversos autores (Kuipers et al., 1999; Domburg et al., 2000; Laws et al., 2002; Spears et al., 2003; Herrero et al., 2006; García et al., 2007), se obtiene un promedio de EGB de N de 23,73%, menor a lo encontrado en el presente estudio. Es posible que las condiciones particulares de Costa Rica, como radiación solar, precipitación, estacionalidad climatológica y fertilidad de los suelos, favorezcan la producción de forraje; en comparación con países de otras regiones con climas más adversos, como inviernos más fríos y prolongados, que dependen de insumos externos o que no tienen la posibilidad de producir forraje todo el año.

El siguiente índice analizado fue el Indicador de Uso de N (IUN), el cual muestra las ineficiencias en el uso de los nutrientes, al representar la cantidad que permanece en las fincas (Bouldin y Klausner, 2002; Herrero et al., 2006). Los valores altos de este indicador se refieren al porcentaje de nutrientes que permanecen en las fincas y que constituyen una posible amenaza para el ambiente.

El IUN promedio fue de 65% (± 10), con valores máximos y mínimos de 86 y 53%, respectivamente. Otras investigaciones reportan valores de IUN de 76% (Kuipers et al., 1999; Domburg et al., 2000; Laws et al., 2002; Spears et al., 2003; Herrero et al., 2006; García et al., 2007). Para las fincas evaluadas en la presente investigación, esto indica que en promedio 3064 kg (± 2437) de N permanecen en ellas, encontrándose un valor mínimo y máximo de 1422 y 9901 kg, respectivamente.

Por último, el Indicador de Consumo de N (ICN), permite evaluar el número de veces que la entrada de N supera la salida del mismo (Koelsch y Lesoing, 1999; Herrero et al., 2006). Por lo tanto, valores altos de este indicador reflejan mayores ineficiencias, debido a que se requiere más insumos por unidad producida. El ICN muestra un promedio anual de 3,21 ($\pm 1,41$) con valores máximos y mínimos de 6,95 y 2,11; respectivamente. En este sentido, utilizando los datos reportados por Kuipers et al. (1999), Domburg et al. (2000), Laws et al. (2002), Spears et al. (2003), Herrero et al. (2006) y García et al. (2007), se obtuvo que en promedio el ICN fue de 4,36.

Cuadro 2. Índices de aprovechamiento (%) de N para once fincas lecheras ubicadas en las provincias de Alajuela, San José y Cartago, Costa Rica. 2010.

Finca	EGB, %	IUN, %	ICN
1	43	57	2,34
2	23	77	4,36
3	14	86	6,95
4	43	57	2,33
5	43	57	2,33
6	47	53	2,11
7	37	63	2,72
8	37	63	2,68
9	27	73	3,76
10	32	68	3,10
11	38	62	2,64
Promedio	35	65	3,21

EGB: Eficiencia global del balance

IUN: Indicador de uso del nitrógeno

ICN: Indicador de consumo de nitrógeno.

En general, el balance de N fue positivo para todas las fincas, lo que indica que ingresa más N del que sale de ellas en forma de producto (principalmente leche y algo de carne). Diversos autores han reportado eficiencias globales que oscilan entre 15% (Aarts et al., 1992) y 46% (Bacon et al., 1990). El promedio de eficiencia encontrado en el presente estudio fue de 35%. Esto significa que 65% del N que ingresa a las fincas no se puede contabilizar en producto (leche y/o carne). Una alta proporción de este N probablemente se perdió a través de la volatilización, lixiviación o escorrentía, y representa una alta porción del flujo de N en estas fincas.

En un estudio realizado por Hristov et al. (2006) se determinó que la eficiencia fue de 41% y la reportada por Spears et al. (2003) fue de 36%.

Es necesario comprender que para los sistemas pecuarios, la recuperación de N en producto, es menos eficiente que los sistemas agrícolas, por lo que los sistemas pecuarios intensivos pueden generar una gran cantidad de nutrientes en exceso que si no se utilizan adecuadamente, pueden convertirse en un peligro potencial para el ambiente (Goulding et al., 2008).

Es muy probable que en Costa Rica no se tenga una idea clara de la magnitud del problema, pero por ejemplo, en un análisis hecho en el 2011, se calculó que el exceso de N en el ambiente, le cuesta a la Unión Europea entre 100 y 457 billones de dólares por año (Sutton et al., 2011). Indican los mismos autores que es la primera vez que se le da un valor económico a los problemas ocasionados por la contaminación con N, incluyendo las contribuciones al cambio climático y a las pérdidas en la biodiversidad.

Estrategias para aumentar el aprovechamiento de N

La producción animal y particularmente las lecherías, están inevitablemente asociadas con la producción de residuos y en consecuencia, con algún grado de contaminación ambiental, por lo que las estrategias para reducir la excreción de N en las lecherías deben comenzar mejorando la eficiencia en la utilización de N a través de los animales (Elizondo, 2006).

Este estudio revela que la alimentación es la principal entrada de nutrientes a las fincas, por lo que la primera estrategia para reducir la excreción de N, es eliminar el exceso de proteína de la dieta (Wu et al., 2001).

La relación entre el consumo y la excreción de N en leche, orina y heces ha sido documentada por diversos autores. Mulligan et al. (2004) y Wu y Satter (2000) por ejemplo, demostraron que al reducir el contenido proteico de la ración, se redujo la excreción total de N. Otros autores plantean que conforme se produce más leche por animal, los requerimientos de proteína para mantenimiento se diluyen, es decir, la leche se puede producir con menor cantidad de N consumido y excretado (Rotz, 2004). Sin embargo, otros investigadores sugieren que la estrategia de mayor importancia para disminuir la excreción de N relacionada con el manejo nutricional, se logra mediante una mayor digestibilidad y valor biológico de los alimentos e incorporando una mayor proporción de proteínas no degradables a nivel ruminal (Tamminga, 1996; Van Horn et al., 1996; Herrero et al., 2006). Por su parte, Burkholder et al. (2004) encontraron que alterando la fuente de almidones de la dieta para mejorar la digestibilidad de los nutrientes se puede reducir la excreción de N en el estiércol y por lo tanto, la emisión de amoníaco.

En el caso de los sistemas de pastoreo, es deseable que la mayor cantidad de orina y heces quede distribuida en los potreros, en donde la cantidad y distribución de estos residuos dependerán del manejo que se realice, pudiendo llegar a valores del 70 al 80% del total de heces producidas; mientras que la cantidad restante es la que se depositará en la sala de ordeño, desde la cual pueden ser recolectadas para utilizarse como abono (White et al., 2001).

La reutilización, tanto de la excreta (sólida) como de los efluentes (líquidos), es un paso importante para disminuir la utilización de fertilizantes químicos, y por consecuencia, mejorar los balances de N en las fincas lecheras de nuestro país y del mundo (Herrero et al., 2006).

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su más sincero agradecimiento a los dueños de las fincas y a sus colaboradores. El agradecimiento es igualmente extensivo a los técnicos del Programa Agroambiental de la Cooperativa de Productores de Leche Dos Pinos R.L. por la colaboración brindada durante la ejecución de la presente investigación.

LITERATURA CITADA

- Aarts, H.F., E.E. Biewinga, y H. Van Keulen. 1992. Dairy farming systems based on efficient nutrient management. *Neth. K. Agric. Sci.* 40:285-299.
- Bacon, S.C., L.E. Lanyon, y R.M. Schlauder. 1990. Plant nutrient flow in the managed pathways of an intensive dairy farm. *Agron. J.* 82:755-761.
- Bouldin, D., y S. Klausner. 2002. Managing nutrients in manure: General principles and applications to dairy manure in New York. En: J.L. Hatfield, y B.A. Stewart, editores, *Animal waste utilization: Effective use of manure as a soil resource*. Lewis publishers, USA. p. 65-88.
- Burkholder, K., A. Guyton, J. McKinney, y K. Knowlton. 2004. The effect of steam flaked or dry ground corn and supplemental phytic acid on nitrogen partitioning in lactating dairy cows and ammonia emission from manure. *J. Dairy Sci.* 87:2546-2553.
- Cámara Nacional de Productores de Leche. 2012. Información del sector 2012. San José, Costa Rica. http://www.proleche.com/recursos/documentos/2-Situacion_actual_y_perspectivas_del_sector_lacteo_costarricense_Lic_Jorge_Manuel_Gonzalez_E_Costa_Rica.pdf (Consultado 23 marzo 2013).
- Domburg, P., A. Edwards, A. Sinclair, y N. Chalmers. 2000. Assessing nitrogen and phosphorus efficiency at farm and catchment scale using nutrient budgets. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 80:1946-1952.
- Dou, Z., L.E. Lanyon, J.D. Ferguson, R.A. Kohn, R.C. Boston, y W. Chalupa. 1998. An integrated approach to managing nitrogen on dairy farms: evaluation of farm performance using the Dairy Nitrogen Planner. *Agron. J.* 90:573-581.
- Elizondo, J. 2006. El nitrógeno en los sistemas ganaderos de leche. *Agron. Mesoam.* 17(1):69-77.
- Follett, R. 2001. Nitrogen transformation and transport processes. En: R. Follett, y J. Hatfield, editores, *Nitrogen in the environment: Sources, problems and management*. Elsevier Science, The Netherlands. p. 17-44.
- Funaki, Y., y K. Parris. 2005. The OECD agricultural nutrient balance indicators: establishing a consistent OECD set of nitrogen and phosphorus coefficients. En: *European Commission Workshop-Nitrogen and Phosphorus in Livestock manure*. Paris, France. 10 p.
- García, M.I., J. Castro, R. Novoa, D. Báez, y J. López. 2007. Caracterización del balance y la eficiencia en la utilización del nitrógeno, fósforo y potasio en las explotaciones de vacuno de leche en Galicia. Centro de Investigaciones Agrarias de Mabegondo, Xunta de Galicia. En: XLVI Reunión Científica de la SEEP. p. 440-446.
- Goulding, K., S. Jarvis, y A. Whitmore. 2008. Optimizing nutrient management for farm systems. *Phil. Trans. R. Soc. B.* 363:667-680.
- Halberg, N., E. Steen, y I. Sillebak, I. 1995. Nitrogen turnover on organic and conventional mixed farms. *J. Agric. Environ. Ethics.* 8:30-51.
- Halberg, N., H. Van Der Werf, C. Basset-Mens, R. Dalgaard, y I.J.M. De Boer. 2005. Environmental assessment tools for the evaluation and improvement of European livestock production systems. *Livestock Production Sci.* 96:33-50.
- Hart, J., E. Marx, N. Christensen, y J. Moore. 1997. Nutrient management strategies. *J. Dairy Sci.* (80):2659-2666.
- Haygarth, M., P. Chapman, S. Jarvis, y R. Smith. 1998. Phosphorus budgets for two contrasting UK grassland farming systems. *Soil Use Management* 14:160-167.
- Herrero, M.A., S.B. Gil, M.C. Flores, G.M. Sardi, y A.A. Orlando. 2006. Balances de nitrógeno y fósforo a escala predial, en sistemas lecheros pastoriles en Argentina. *InVet.* 8(1):9-21.
- Hristov, A., W. Hazen, y J. Ellsworth. 2006. Efficiency of use of imported nitrogen, phosphorous, and potassium and potential for reducing phosphorous imports on Idaho dairy farms. *J. Dairy Sci.* 89:3702-3712.
- Jarvis, S. 1993. Nitrogen cycling and losses from dairy farms. *Soil Use Management* 9:99-105.
- Kaiser, J. 2005. Mounting evidence indicates fine-particle pollution. *Science* 307:1858-1861.
- Keeney, D., y J. Hatfield. 2001. The nitrogen cycle, historical perspective and current, and potential future concerns. En: R. Follett, y J. Hatfield, editores, *Nitrogen in the environment: Sources, problems and management*. Elsevier Science, The Netherlands. p. 3-6.
- Kohn, R.A., Z. Dou, J.D. Ferguson, y R.C. Boston. 1997. A sensitivity analysis of nitrogen losses from dairy farms. *J. Environ. Mgmt.* 50:417-428.
- Koelsch, R., y G. Lesoing. 1999. Nutrient balance on Nebraska livestock confinement systems. *J. Dairy Sci.* 82(suppl. 2):63-71.
- Kuipers, A., F. Mandersloot, y R. Zom. 1999. An approach to nutrient management on dairy farms. *J. Dairy Sci.* 77:84-89.
- Laws, J., K. Smith, B. Cottrill, y R. Dewhurst. 2002. Nitrogen and phosphorus excretion by UK dairy cows.

- Institute of Grassland and Environmental Research. United Kingdom.
- Moorby, J., y V. Theobald. 1999. The effect of duodenal ammonia infusions on milk production and nitrogen balance of the dairy cow. *J. Dairy Sci.* 82:2440-2442.
- Mulligan, F., P. Dillon, J. Callan, M. Rath, y F. O'mara. 2004. Supplementary concentrate type affects nitrogen excretion of grazing dairy cows. *J. Dairy Sci.* 87: 3451-3460.
- NRC (National Research Council). 2001. Nutrient requirements of dairy cattle. 7th rev. ed. Natl. Acad. Sci., Washington, DC.
- NRC (National Research Council). 2003. Air emissions from feeding operations: Current knowledge, future needs. National Academy Press, Washington, DC, USA.
- OECD (Organization for Economic Co-operation and Development). 2004. Agriculture, trade, and environment: The dairy sector. Organization for Economic Co-operation and Development, Paris, France.
- Parris, K. 1999. Environmental indicators for agriculture: overview in OECD countries. En: E.F. Brouwer, y B. Crabtree, editores, Environmental indicators and agricultural policy. Wallingford, United Kingdom, Cabi Publishing. p. 25-44.
- Pearson, C., y R. Ison. 1997. Agronomy of grassland systems. 2 ed. Cambridge University Press, United Kingdom.
- Pearson, J., y G.R. Stewart. 1993. The deposition of atmospheric ammonia and its effects on plants. Tansley review no. 56: *New Phytol.* 125:283-305.
- Rotz, C. 2004. Management to reduce nitrogen losses in animal production. *J. Animal Sci.* 82:119-137.
- Satter, L. 2001. Nutrient management in dairy production systems. En: K. Kanwar, y R. Baggett, editores, Proceedings Babcock Institute 3rd Technical Workshop. Madison, Wisconsin, USA. p. 38-53.
- Spears, R., R. Kohn, y A. Young. 2003. Whole-farm nitrogen balance on western dairy farms. *J. Dairy Sci.* 86: 4178-4186.
- Sutton, M., O. Oenema, J. Erisman, A. Lei, H. Grinsven, y W. Winiwater. 2011. Too much of a good thing. *Nature* 472:159-161.
- Tamminga, S. 1996. A review on environmental impacts of nutritional strategies in ruminants. *J. Dairy Sci.* 74: 3112-3124.
- Van Horn, H., G. Newton, y W. Kunkle. 1996. Ruminant nutrition from an environmental perspective: Factors affecting whole-farm nutrient balance. *J. Animal Sci.* 74:3082-3102.
- VandeHaar, M., y N. St-Pierre. 2006. Major advances in nutrition: relevance to the sustainability of the dairy industry. *J. Dairy Sci.* 89:1280-1291.
- White, S., R. Sheffield, S. Washburn, L. King, y J. Green. 2001. Spatial and time distribution on dairy cattle excreta in an intensive pasture system. *J. Environmental Quality* 30:2180-2187.
- Wu, Z., y L. Satter. 2000. Milk production during the complete lactation of dairy cows fed diets containing different amounts of protein. *J. Dairy Sci.* 83:1042-1051.
- Wu, Z., L. Satter, A. Blohowiak, R. Stauffacher, y J. Wilson. 2001. Milk production, estimated phosphorus excretion and bone characteristics of dairy cows fed different amounts of phosphorus for two or three years. *J. Dairy Sc.* 84:1738-1748.