

# Balance regional de nitrógeno en el sistema de producción leche-forraje de la Comarca Lagunera, México

## Regional nitrogen balance in the milk-forage production system in the Comarca Lagunera, Mexico

Uriel Figueroa Viramontes<sup>a</sup>, Gregorio Núñez Hernández<sup>a</sup>, David Guadalupe Reta Sánchez<sup>a</sup>, Hugo Ernesto Flores López<sup>b</sup>

### RESUMEN

El sistema intensivo de producción de leche en la Comarca Lagunera se caracteriza por grandes explotaciones con más de 1,000 vacas en lactancia y áreas para la producción de forrajes de riego. El presente estudio tuvo como objetivo estimar el balance entre el nitrógeno (N) del estiércol incorporado al suelo y el requerimiento de N por los cultivos forrajeros. Se revisaron estadísticas de la SAGARPA sobre el inventario ganadero y producción de forrajes de 1999 a 2011. La producción de estiércol y la excreción de N se estimaron en función de la producción diaria de leche, mientras que el requerimiento de N de los cultivos forrajeros se estimó en base al rendimiento y a la extracción de N por los cultivos. Los forrajes ocuparon el 69 % de la superficie de riego, con 89,500 ha. La producción de forraje fue de 1.2 millones t año<sup>-1</sup> en materia seca (MS), mientras que el requerimiento de N fue de 15,070 t año<sup>-1</sup>. El inventario lechero fue de 423,000 vacas, con 53 % en lactancia. La producción de estiércol en MS fue de 842,000 t año<sup>-1</sup>, mientras que el N excretado fue de 44,154 t año<sup>-1</sup>. El balance regional expresado como [N incorporado – requerimiento de N por forrajes] fue de 187 kg ha<sup>-1</sup>, lo cual representa un exceso. Estudios previos muestran que un balance <150 kg ha<sup>-1</sup> permite una producción sustentable de leche. De acuerdo con los resultados del presente estudio, los municipios con una densidad mayor de 2.87 vacas ha<sup>-1</sup> tendrán un balance >150 kg ha<sup>-1</sup>.

**PALABRAS CLAVE:** Estiércol, Densidad de vacas, Balance de Nitrógeno.

### ABSTRACT

The intensive system of milk production in the Laguna Region is characterized by large farms with more than 1,000 milking cows and irrigated areas for forage production. The objective of this study was to estimate the balance between manure nitrogen (N) added to the soil and the requirement of N for forage crops. SAGARPA statistics were reviewed about dairy cows inventory and forage production during 1999-2011. Manure production and N excretion were estimated using daily milk production, while the crop N requirement was estimated based on crop yield and crop N removal. Forages occupied 69 % of the irrigated area, with 89,500 ha. Forage production was 1.2 million t yr<sup>-1</sup> dry matter (DM), while the N requirement was 15,070 t yr<sup>-1</sup>. The dairy cow inventory was 423,000, with 53 % lactating. Manure production in DM was 842,000 t yr<sup>-1</sup>, while the N excreted was 44,154 t yr<sup>-1</sup>. The regional balance expressed as [N incorporated – crop N requirement] was 187 kg ha<sup>-1</sup>, which represents an excess. Previous studies showed that a balance <150 kg ha<sup>-1</sup> allows a sustainable milk production. According to the results of this study, municipalities with a cow density greater than 2.87 cows ha<sup>-1</sup> will have a balance >150 kg ha<sup>-1</sup>.

**KEY WORDS:** Manure, Cow density, N efficiency, N excretion, Crop N extraction.

Recibido el 8 de septiembre de 2014. Aceptado el 28 de febrero de 2015.

<sup>a</sup> Campo Experimental La Laguna. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Blvd. José Santos Valdez no. 1200 pte. 27440 Matamoros, Coahuila. México. Tel. 871-1823177. nunez.gregorio@inifap.gob.mx. Correspondencia al segundo autor.

<sup>b</sup> Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. INIFAP. México.

## INTRODUCCIÓN

Una característica del metabolismo del bovino lechero es una baja eficiencia en el uso de nutrientes, principalmente de nitrógeno (N). La eficiencia de su uso por el bovino lechero es alrededor del 30 %, por lo que el 70 % restante es excretado<sup>(1)</sup>. Por lo anterior, el manejo inadecuado del estiércol representa un riesgo de contaminación ambiental, siendo las principales vías de contaminación la lixiviación de nitrato ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ) al agua subterránea<sup>(2)</sup>, la emisión de óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) a la atmósfera y el escurrimiento superficial de agua y sedimentos cargados de N hacia cuerpos de agua superficial<sup>(3)</sup>. La región de la Comarca Lagunera, en los estados de Coahuila y Durango, México, concentra la mayor parte del inventario de bovino de leche en México, con un promedio de 423,000 cabezas que representan alrededor de 20 % del hato nacional<sup>(4)</sup>. La producción estimada de estiércol es de 619,000 t año<sup>-1</sup> en MS<sup>(5)</sup>, con dosis de aplicación que van de 60 hasta más de 200 t ha<sup>-1</sup>, lo cual origina riesgos de contaminación<sup>(6)</sup>. Al respecto, se ha documentado la concentración excesiva de nitrato en aguas subterráneas de esta región<sup>(7)</sup>. Por la alta demanda de forrajes para la alimentación del ganado lechero, en la Comarca Lagunera se siembran en promedio 89,500 ha de forrajes, lo cual representa el 69 % de la superficie agrícola bajo riego<sup>(4)</sup>.

Una herramienta de apoyo para planificar el manejo de excretas y fertilizantes en la producción de forrajes, es el balance de N, tanto a escala regional como a nivel de unidad de producción<sup>(8)</sup>. Más aún, en algunos países de Europa se utiliza un balance de N a nivel de granja para regular el uso de nitrógeno<sup>(9)</sup>. Según la OCDE<sup>(10)</sup>, México tiene un balance de N (entradas - salidas) positivo de 22 kg ha<sup>-1</sup>, donde el 40 % de las entradas de N proviene de estiércol y 20 % de fertilizantes químicos. En la Unión Europea, todos los países registraron balances positivos (excesos) de N, con valores desde 30 kg ha<sup>-1</sup> en Grecia hasta 249 kg ha<sup>-1</sup> en Holanda<sup>(11)</sup>. En este último país, Hilhorst *et al*

## INTRODUCTION

A characteristic of the dairy cattle metabolism is low efficiency in the use of nutrients, mainly nitrogen (N). The nitrogen efficiency by dairy cattle is about 30 %, so the remaining 70 % is excreted<sup>(1)</sup>. Therefore, inappropriate manure management represents a risk of environmental pollution, being the main routes of nitrate ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ) contamination leaching to groundwater<sup>(2)</sup>, nitrous oxide ( $\text{N}_2\text{O}$ ) emission into the atmosphere and surface water runoff and sediment loaded with N<sup>(3)</sup>. The region of the Comarca Lagunera, in the states of Coahuila and Durango, concentrates most of the dairy cattle inventory in Mexico, with an average of 423,000 heads which represent around 20 % of the national herd<sup>(4)</sup>. The estimated dry matter production of manure is 619,000 t yr<sup>-1</sup><sup>(5)</sup>, with application rates ranging from 60 to more than 200 t ha<sup>-1</sup>, causing contamination risk<sup>(6)</sup>. In this regard, the excessive nitrate concentration in groundwater of this region has been documented<sup>(7)</sup>. Due to the high forage demand for feeding dairy cattle, in the Comarca Lagunera are sown an average of 89,500 ha of forage, which represents 69 % of the agricultural area under irrigation<sup>(4)</sup>.

A support tool to plan manure handling and fertilizers management on forage production, is the N balance, both at regional or farm level<sup>(8)</sup>. Moreover, in some countries of Europe the N balance at farm level contributes to regulate the use of nitrogen<sup>(9)</sup>. According to the OECD<sup>(10)</sup>, Mexico has a positive N (inputs - outputs) balance of 22 kg ha<sup>-1</sup>, where 40 % of the inputs comes from manure and 20 % from chemical fertilizers. In the European Union, all countries recorded positive (excess) N balances, with values from 30 kg ha<sup>-1</sup> in Greece up to 249 kg in Holland<sup>(11)</sup>. In this last country, Hilhorst *et al*<sup>(12)</sup> concluded that in order to optimize the system milk-forage with focus on sustainability, a balance of 158 kg ha<sup>-1</sup>, has been reached which represented a decrease of 61 % compared to the regional average with conventional management.

a/(12) concluyeron que al optimizar los procesos de producción de leche-forraje con enfoque de sustentabilidad, se alcanzó un balance de 158 kg ha<sup>-1</sup>, lo que representó una disminución de 61 % con respecto al promedio regional con manejo convencional.

Una variable del manejo de hatos lecheros relacionada con el balance de N es la densidad en número de vacas por hectárea dedicada a la producción de forraje, ya que es un indicador de la superficie disponible para reciclar el N del estiércol. En explotaciones lecheras de Wisconsin, EUA, se estimó que con una densidad de 1.1 vacas ha<sup>-1</sup>, una explotación es autosuficiente en producción de granos y forrajes y se tiene la capacidad de reciclar el estiércol(13).

Por lo anterior, el balance de nutrientes es una herramienta para identificar áreas problema y generar alternativas de manejo para reciclar de manera más eficiente los nutrientes contenidos en el estiércol, disminuyendo así riesgos de contaminación al ambiente. Además, en los sistemas intensivos de producción de forraje-leche, la compra y aplicación de fertilizantes puede representar más del 40 % del costo de producción de los cultivos(14). Por consiguiente, el presente estudio tuvo como objetivos: 1) estimar el balance regional y municipal entre el requerimiento potencial de N por los cultivos forrajeros y el N excretado potencial por el ganado bovino lechero; 2) establecer la densidad adecuada de cabezas de bovino lechero por hectárea cosechada de forraje y su efecto en el balance de N.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### *Descripción del área de estudio*

La Comarca Lagunera, comprende 10 municipios del estado de Durango y cinco de Coahuila, en una superficie de 4.8 millones de hectáreas. El clima de la región se caracteriza por una temperatura media anual de 20.9 °C, veranos cálidos, con promedio de temperaturas máximas de 30.2 °C (±1.9), mínimas de 10.5 °C (±3.0) y precipitación media anual de 287 (±98) mm,

A N balance-related management variable of dairy herds is the density in the number of cows per hectare associated to forage production, since it is an indicator of the surface area available for recycling N manure. In Wisconsin, USA, dairy farms estimated that with a density of 1.1 cows ha<sup>-1</sup>, a farm is self-sufficient in grain and forage production and it has the ability to recycle the manure(13).

Therefore, the balance of nutrients is a tool to identify problem areas and to generate management alternatives to recycle more efficiently the manure nutrient content, thus reducing pollution risks to the environment. In addition, in intensive milk-forage systems production, the purchase and application of fertilizers may represent more than 40 % of the production costs(14). Consequently, the objectives of this study were: 1) Estimating regional and municipality balance between the potential requirement of N by forage crops and the potential N excreted by dairy cattle; 2) To establish the proper density of dairy cattle heads per hectare harvested for forage and its effect on N balance.

## MATERIALS AND METHODS

### *Description of the study area*

The area comprises 10 municipalities of the state of Durango and 5 from Coahuila, with an area of 4.8 million hectares. The climate is characterized by an annual average temperature of 20.9 °C, warm summers with average maximum temperatures of 30.2 °C (±1.9), minimum 10.5 °C (±3.0) and mean annual rainfall of 287 mm (±98), during the evaluation period(4). Information obtained by municipalities were: 1) Inventory of dairy cattle, total and lactating animals; 2) Annual milk production; 3) Total harvested area, and forage-harvested area; 4) Annual production of forage crops. The above information was obtained from statistical yearbooks from 1999 to 2011, available in the of SAGARPA Delegation in the

durante el periodo de evaluación<sup>(4)</sup>. Se utilizaron los datos por municipio referentes a: 1) inventario de bovino lechero, total y en lactancia; 2) producción anual de leche; 3) superficie cosechada total y de cultivos forrajeros; y 4) producción anual de cultivos forrajeros. La información anterior se obtuvo de los anuarios estadísticos de 1999 a 2011, disponibles en la Delegación de la SAGARPA en la Región Lagunera<sup>(4)</sup>. Durante el periodo de estudio la superficie agrícola total promedió 130 mil ha cosechadas bajo riego más 20 mil ha de temporal. Las áreas de temporal se concentran en seis municipios de Durango: Mapimí, San Pedro del Gallo, San Luis del Cordero, Rodeo, Simón Bolívar y San Juan de Guadalupe; como ninguno de estos municipios aporta más del 1 % del inventario de bovino lechero, para fines del presente estudio se sumaron en "Otros" y el balance de N se calculó en forma conjunta.

#### *Requerimiento de N por los cultivos*

Para estimar los requerimientos de N, se consideraron los cultivos forrajeros con más de 100 ha año<sup>-1</sup> por municipio en el periodo de evaluación. Los datos de producción de forraje verde de cada cultivo se transformaron a producción de materia seca (MS), para lo cual se utilizaron los porcentajes de MS que se anotan en el Cuadro 1. El requerimiento de N

Laguna Region<sup>(4)</sup>. During the study period, the total agricultural harvested area averaged 130,000 ha under irrigation plus 20,000 under rainfed. The rainfed areas are concentrated in six municipalities of Durango: Mapimí, San Pedro del Gallo, San Luis del Cordero, Rodeo, Simón Bolívar and San Juan de Guadalupe. As none of these municipalities provides more than 1 % of dairy cattle inventory, for purposes of the present study were added in "Others" and the N balance was calculated jointly.

#### *N requirement for the crops*

To estimate the N requirements, forage crops with more than 100 ha yr<sup>-1</sup> per municipality in the evaluation period were considered. Data of fresh forage production for each crop was transformed to dry matter production (DM), using the DM percentages recorded in Table 1. The requirement of N in forage crops was obtained by N extraction values for ton of DM yield, based on information generated mainly in the Comarca Lagunera region and Mexico<sup>(15-19)</sup>. In the case of alfalfa, it was assumed that 75 % of the total N in the forage comes from biological fixation and the remaining 25 % is taken from the soil; this because these soils are manured on a regular basis and with high levels of available N<sup>(20)</sup>.

Cuadro 1. Valores de porcentaje de materia seca a la cosecha y extracción de nitrógeno por unidad de rendimiento de acuerdo a su etapa de cosecha

Table 1. Values of dry matter percentage at harvesting and nitrogen extraction per unit yield according to its harvest stage

	Harvest stage	Dry matter (%)	Nitrogen extraction*	Reference
Maize	1/3 milkline	33	13.9	(15)
Sorghum	Dough	28	13.4	(16)
Wheat	Dough	20	11.2	(17)
Oat	Dough	20	19.2	(17)
Triticale	Dough	20	12.8	(17)
Alfalfa	Bud	24	37.6	(18)
Ryegrass	Vegetative	18	31.5	(19)

\*Kilograms of Nitrogen per ton of dry matter.

de los cultivos forrajeros se obtuvo con los valores de extracción de N por tonelada de MS de rendimiento, con base en información generada principalmente en la Comarca Lagunera y en México<sup>(15-19)</sup>. En el caso de alfalfa, se asume que el 75 % del N total en el forraje proviene de la fijación biológica y el 25 % restante lo toma del suelo; lo anterior por tratarse de suelos estercolados de manera regular y con altos contenidos de N disponible<sup>(20)</sup>.

*Producción de estiércol y excreción de nitrógeno*

Para estimar la producción de estiércol y la excreción de N se utilizaron las ecuaciones generadas por Nennich *et al*<sup>(21)</sup> (Cuadro 2), las cuales han sido utilizadas en estudios similares al presente<sup>(22,23)</sup>:

$$E_t = 0.616(PDL) + 46.2$$

$$E_{MS} = 0.0874(PDL) + 5.6$$

$$N_E = 2.82(PDL) + 346$$

Donde  $E_t$  es la producción de excreta total (kg vaca<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>),  $E_{MS}$  es la producción de excreta

*Manure production and nitrogen excretion*

Equations generated by Nennich *et al*<sup>(21)</sup> were used to estimate manure production and N excretion (Table 2), similar to other studies<sup>(22,23)</sup>:

$$E_t = 0.616(DMP) + 46.2$$

$$E_{DM} = 0.0874(DMP) + 5.6$$

$$N_E = 2.82(DMP) + 346$$

Where  $E_t$  is the production of total excreta (kg cow<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>),  $E_{DM}$  is the production of excreta in DM (kg cow<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>),  $N_E$  is the total N excreted (g cow<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>) and DMP is the daily average milk production (kg cow<sup>-1</sup>). As the used equations apply just for lactating cows, the number of cows for calculation purposes was estimated under the following assumptions: 1) From the total inventory of dairy cattle by municipality, 20 % are younger than 1-yr old and were not considered in the balance<sup>(12)</sup>; 2) Of the number of non-lactating cows, two animals are equivalent to one lactating, as it is considered by Spears *et al*<sup>(24)</sup>.

Cuadro 2. Superficie, producción y rendimiento de forraje en materia seca cosechada bajo riego en municipios de la Comarca Lagunera de 1999 a 2011 (media ± desviación estándar)

Table 2. Area, production and forage yield in dry matter, harvested under irrigation in municipalities of the Comarca Lagunera from 1999 to 2011 (mean ± standard deviation)

	Area (ha) Thousands	Production (t) Thousands	Yield (t ha <sup>-1</sup> )	NR (t yr <sup>-1</sup> )
Gómez Palacio	22.0 ± 4.2	327 ± 55	14.9 ± 1.03	4,149 ± 741
Lerdo	12.5 ± 1.8	172 ± 31	13.7 ± 1.06	2,025 ± 383
Matamoros	12.3 ± 2.8	172 ± 47	14.0 ± 1.01	2,152 ± 638
Torreón	4.8 ± 0.3	67 ± 6	13.9 ± 0.86	804 ± 78
Fco. I. Madero	11.9 ± 3.0	152 ± 50	12.8 ± 0.56	1,959 ± 546
San Pedro	7.5 ± 2.4	106 ± 42	14.2 ± 0.76	1,298 ± 480
Viesca	3.6 ± 0.4	58 ± 33	16.1 ± 0.64	574 ± 89
Tlahualilo	3.8 ± 0.9	51 ± 18	13.6 ± 1.06	586 ± 165
Nazas	2.7 ± 0.3	39 ± 8	14.3 ± 1.51	384 ± 77
Others	8.4 ± 2.5	101 ± 25	12.0 ± 1.03	1,138 ± 275
Total	89.5 ± 6.8	1,245 ± 234	13.9 ± 0.37	15,070 ± 3,107

NR= Nitrogen requirement.

en MS ( $\text{kg vaca}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ ),  $N_E$  es el N total excretado ( $\text{g vaca}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ ) y PDL es la producción promedio diaria de leche ( $\text{kg vaca}^{-1}$ ).

Como las ecuaciones utilizadas aplican a vacas lactantes, el número de vacas para fines de cálculo se estimó bajo los supuestos siguientes: 1) del inventario total de bovino lechero por municipio, el 20 % son becerras menores de un año de edad y no se consideraron en el balance<sup>(12)</sup>; 2) del número de vacas no lactantes, dos animales equivalen a uno en lactancia, como lo consideran Spears *et al*<sup>(24)</sup>.

#### *Densidad de vacas*

Se calculó la densidad ( $\text{vacas ha}^{-1}$ ) dividiendo el número de animales utilizado para el cálculo del balance, entre el número de hectáreas cosechadas de cultivos forrajeros por Municipio.

#### *Balance de N*

El balance de N por municipio se calculó como la diferencia entre el N incorporado en el estiércol y la demanda de N por los cultivos forrajeros. Es decir, en el balance de N no se utilizó el valor de N total excretado, sino que se asumió que un 30 % del N total excretado se pierde por volatilización durante el manejo, almacenamiento y aplicación de estiércol<sup>(25)</sup>.

#### *Análisis estadístico*

Los datos revisados de los anuarios estadísticos, así como los datos calculados de producción de estiércol y excreción de N, se analizaron mediante estadística descriptiva (promedio y desviación estándar). Se realizaron análisis de regresión entre la superficie cosechada de cultivos y la producción de leche con respecto a los años de evaluación; se corrieron también análisis entre el balance de N y la densidad de bovino lechero por hectárea sembrada con forrajes, de acuerdo al procedimiento de Saam *et al*<sup>(13)</sup>.

#### *Cows density*

The density ( $\text{cows ha}^{-1}$ ) was calculated by dividing the number of animals used for the calculation of the balance between the number of harvested hectares of forage crops by municipality.

#### *N balance*

N balance by municipality was calculated as the difference between the manure-N incorporated into the soil and N demand for forage crops .i.e., the value of total N excreted was not used in the N balance. It was assumed that 30 % of the total N excreted is lost through volatilization during handling, storage and manure application<sup>(25)</sup>.

#### *Statistical analysis*

Reviewed data from statistical yearbooks, as well as the calculated data of manure production and N excretion, were analyzed through descriptive statistics (average and deviation standard). Regression analyses were performed between the harvested crop area and milk production, respect to the assessment years; analysis was also ran between the N balance and dairy cattle density per hectare sown with forage, according to the procedure of Saam *et al*<sup>(13)</sup>.

## **RESULTS**

#### *Crop pattern*

The total irrigated area by crops was 130,000 ha on average for the study period, of which 69 % were harvested with forage; the most important crops by harvested area are: alfalfa, maize, sorghum and oats, as well as some areas sown with rye grass, wheat and triticale (Figure 1). During the study period, the rate of increase in the surface harvested with forages was  $4,228 \text{ ha yr}^{-1}$ , from 64,000 ha in 1999 to 115,000 ha in 2011. The crop contributing more to this increase was forage sorghum, with an increment of  $3,561 \text{ ha yr}^{-1}$  during the period from 2005 to 2011,

## RESULTADOS

### *Patrón de cultivos*

La superficie total de cultivos bajo riego fue 130 mil ha en promedio para el periodo de estudio, de las cuales 69 % fueron cosechadas con forrajes; los más importantes en la Comarca Lagunera por la superficie cosechada son: alfalfa, maíz, sorgo y avena, además de algunas áreas sembradas con ballico, trigo y triticale (Figura 1). Durante el periodo de estudio, es notoria la tasa de incremento en la superficie cosechada con forrajes de 4,228 ha año<sup>-1</sup>, pasando de 64,000 ha en 1999 a 115,000 ha en 2011. El cultivo que más aporta a este incremento es el sorgo forrajero, con un aumento de 3,561 ha año<sup>-1</sup> durante el periodo de 2005 a 2011, seguido por maíz forrajero, con un incremento de 2,584 ha año<sup>-1</sup> en el periodo de 1999 a 2007.

La producción regional de forraje en MS fue de 1.25 ( $\pm 0.23$ ) millones de toneladas año<sup>-1</sup>. El municipio que más aporta a la producción regional de forrajes es Gómez Palacio, con alrededor del 25 %, tanto de la superficie cosechada como de la producción de forraje; le siguen en importancia Lerdo, Matamoros y Francisco I. Madero. El rendimiento de forraje varió de 12.8 t ha<sup>-1</sup> de MS en Francisco I. Madero a 16.1 t en Viesca, con un promedio regional de 13.9 t (Cuadro 2).

El requerimiento de nitrógeno para la producción de forrajes fue de 15,070 t año<sup>-1</sup> en promedio, lo que da una dosis de 168 kg ha<sup>-1</sup> de N a nivel regional. El Municipio de Gómez Palacio acumula el 27.5 % del requerimiento de N regional, para una dosis promedio de 189 kg ha<sup>-1</sup>; en tanto que el menor requerimiento ocurrió en Nazas, con 2.5 % del total y una dosis de 142 kg.

### *Inventario de bovino lechero y producción de leche*

El número total de bovinos en 1999 fue de 363 mil, con 52.7 % de ellos en lactancia; para el 2000 el inventario se incrementó a 415 mil y a partir de ese año se mantuvo entre 400 y 450

followed by forage maize, with an increase of 2,584 ha yr<sup>-1</sup> in the period from 1999 to 2007.

The regional DM forage production was 1.25 ( $\pm 0.23$ ) million t yr<sup>-1</sup>. The municipality that most contributes to the regional production of forage was Gómez Palacio, with around 25 %, of both the harvested area and forage production. Lerdo, Matamoros, and Francisco I. Madero follow it in importance. Forage yield ranged from 12.8 t ha<sup>-1</sup> of DM in Francisco. I. Madero, 16.1 t in Viesca, with a regional average of 13.9 t (Table 2).

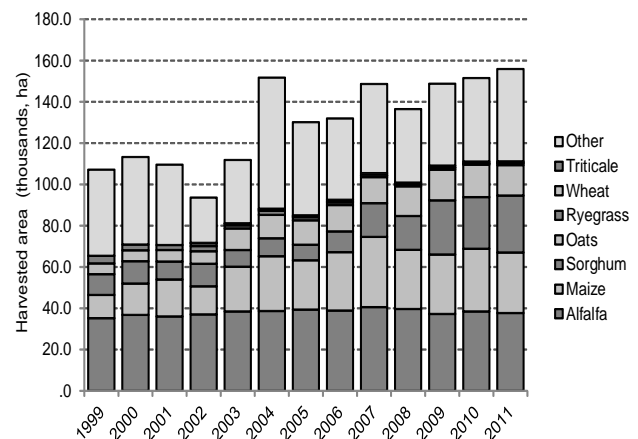
The nitrogen requirement for forage production was 15,070 t yr<sup>-1</sup> on average, which represents a dose of 168 kg N ha<sup>-1</sup> at the regional level. The municipality of Gómez Palacio builds up 27.5 % of the regional requirement, for an average rate of 189 kg ha<sup>-1</sup>, while the lower requirements occurred in Nazas, with 2.5 % of the total and a dose of 142 kg.

### *Inventory of dairy cattle and milk production*

The total number of bovines in 1999 was 363,000, with 52.7 % lactating animals; in the year of 2000 the inventory increased to 415,000 and since then, it was between 400 and 450

Figura 1. Superficie cosechada de cultivos forrajeros en la Comarca Lagunera, durante el periodo de 1999 a 2007

Figure 1. Harvested area of forage crops in the Comarca Lagunera region, during the period from 1999 to 2007



mil animales durante el periodo de estudio, con 53.1 % en lactancia. Por otra parte, la producción de leche (PL) en la región se incrementó de manera significativa a una tasa de 80.9 millones de L año<sup>-1</sup>, entre 1999 y 2008; con lo anterior, la producción regional pasó de 1,535 millones de L en 1999 a 2,255 millones de L en 2008; a partir de 2009 la producción de leche bajó pero se mantuvo alrededor de 2,100 millones de L año<sup>-1</sup>. Lo anterior es resultado de un incremento en la producción por lactancia por vaca de 7,220 L en 2001 a 9,480 L en 2008<sup>(4)</sup>.

La distribución de bovino lechero por municipio indica que el 79 % del inventario se concentra en 4 de los 15 municipios (Cuadro 3): Gómez Palacio (28 %), Lerdo (19 %), Matamoros (18 %) y Torreón (13 %). Con respecto a la densidad, el menor valor se registró en "Otros" municipios con 0.9 vacas ha<sup>-1</sup>, mientras que el municipio de Torreón registró la mayor densidad con 7.72 vacas ha<sup>-1</sup>. Los cuatro municipios que concentran el 79 % del hato lechero en la región (Gómez Palacio, Lerdo, Matamoros y Torreón), tienen una densidad promedio de 5.0 vacas

thousand, with 53.1 % lactating animals. The milk production (MP) in the region increased significantly at a rate of 80.9 million L yr<sup>-1</sup>, between 1999 and 2008; the regional production went from 1,535 million L in 1999 to 2,255 million L in 2008; from 2009 the milk production fell down but remained around 2,100 million L yr<sup>-1</sup>. The above is the result of an increase in production per lactation by 7,220 L cow<sup>-1</sup> in 2001 to 9,480 L in 2008<sup>(4)</sup>.

The distribution of dairy cattle by municipality indicates that 79 % of the inventory was concentrated on 4 of the 15 municipalities (Table 3): Gómez Palacio (28 %), Lerdo (19 %), Matamoros (18 %) and Torreón (13 %). With respect to animal density, the lowest value was recorded in "Other" municipalities with 0.9 cows ha<sup>-1</sup>, whereas the municipality of Torreón recorded the highest density with 7.72 cows ha<sup>-1</sup>. The four municipalities which account for 79 % of the dairy herd in the region (Gómez Palacio, Lerdo, Torreón and Matamoros), had an average density of 5.0 cows ha<sup>-1</sup>, whereas the rest of the municipalities averaged 1.7 cows, with a regional average of 3.2 cows.

Cuadro 3. Inventario total, vacas en lactancia y densidad de animales por hectárea cosechada de forraje de 1999 a 2011 (media ± desviación estándar)

Table 3. Total inventory, cows in lactation and animal density per hectare of harvested forage from 1999 to 2011 (mean ± standard deviation)

	Total inventory - - - Number of animals - - -	Lactating cows	Density*
Gómez Palacio	118,957 ± 13,808	57,205 ± 6,510	3.55 ± 0.50
Lerdo	82,320 ± 10,332	43,105 ± 7,256	4.48 ± 1.06
Matamoros	77,203 ± 7,829	42,817 ± 10,526	4.33 ± 0.43
Torreón	53,907 ± 20,327	30,306 ± 6,026	7.72 ± 2.49
Fco. I. Madero	41,912 ± 11,825	24,115 ± 9,085	2.92 ± 1.97
San Pedro	15,513 ± 4,802	8,684 ± 3,084	1.61 ± 0.82
Viesca	12,866 ± 4,096	6,889 ± 1,825	2.39 ± 1.12
Tlahualilo	6,593 ± 861	3,918 ± 653	1.26 ± 0.48
Nazas	4,545 ± 2,308	2,396 ± 1,254	1.09 ± 0.58
Others	9,430 ± 3,250	5,446 ± 2,192	0.89 ± 0.48
Total	423,246 ± 21,679	224,880 ± 14,378	3.24 ± 0.57

\*Cows per hectare of forage.



BALANCE DE NITRÓGENO EN EL SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE LECHE-FORRAJE

Cuadro 4. Producción de excreta y de nitrógeno en excreta, en municipios de la Comarca Lagunera de 1999 a 2011 (media ± desviación estándar)

Table 4. Manure production and nitrogen in excreta, in municipalities of the Comarca Lagunera from 1999 to 2011 (mean ± standard deviation)

	Total manure - - - Thousand of t yr <sup>-1</sup> - - -	Manure (DM) - - - t yr <sup>-1</sup> - - -	Total N in manure - - t year <sup>-1</sup> - -
Gómez Palacio	1,757 ± 195	223 ± 25	11,785 ± 1,239
Lerdo	1,240 ± 140	157 ± 18	8,353 ± 981
Matamoros	1,278 ± 198	163 ± 25	8,415 ± 1,297
Torreón	884 ± 260	113 ± 33	5,847 ± 1,718
Fco. I. Madero	699 ± 224	89 ± 29	4,617 ± 1,477
San Pedro	255 ± 83	32 ± 11	1,685 ± 543
Viesca	204 ± 54	26 ± 7	1,356 ± 362
Tlahualilo	102 ± 10	13 ± 1	695 ± 76
Nazas	71 ± 33	9 ± 4	471 ± 224
Others	134 ± 42	17 ± 5	930 ± 304
Total	6,624 ± 390	842 ± 51	44,154 ± 2,460

DM= Dry matter.

ha<sup>-1</sup>, en tanto que el resto de los municipios promedia 1.7 vacas ha<sup>-1</sup>, con una media regional de 3.2 vacas ha<sup>-1</sup>.

*Producción de estiércol*

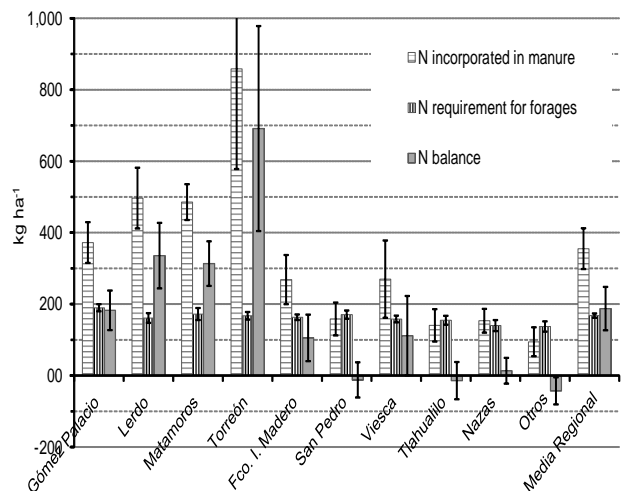
La producción de excreta total estimada en peso fresco fue de 6.624 millones de t año<sup>-1</sup>, con un 12.71 % de MS, lo que arroja una producción de estiércol en MS de 842 mil t año<sup>-1</sup> (Cuadro 4). Del valor anterior, el 80 % lo aportan las vacas en lactancia y 20 % el resto de los bovinos (vacas secas, vaquillas y becerras en desarrollo). Como la cantidad de estiércol depende principalmente del número de animales, los cuatro municipios que tienen el 79 % del inventario de bovino lechero (Gómez Palacio, Lerdo, Matamoros y Torreón), concentran 78 % del estiércol producido. El N total excretado fue cerca de 44,200 t año<sup>-1</sup>, con un mínimo de 471 t año<sup>-1</sup> en Nazas a un máximo de 11,785 t año<sup>-1</sup> en Gómez Palacio.

*Balance de N*

El balance de N del estiércol por Municipio se ilustra en la Figura 2. El N disponible para ser

Figura 2. Valores de nitrógeno disponible para ser incorporado al suelo, requerimiento de nitrógeno por forrajes y balance de nitrógeno en municipios de la Comarca Lagunera. Promedio de 1999 a 2011

Figure 2. Values of available nitrogen to be incorporated into the soil, nitrogen requirements for forages and of nitrogen balance in municipalities of the Comarca Lagunera. Average from 1999 to 2011

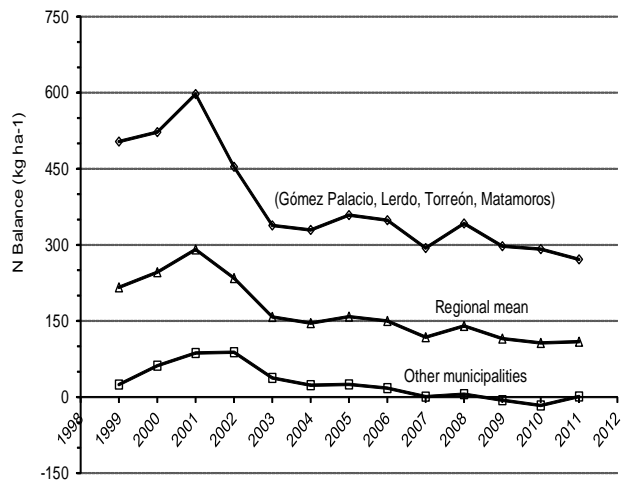


(Lines in bars are the standard deviation of the means)

incorporado al suelo corresponde al 70 % de los valores anotados en el Cuadro 4, asumiendo que el 30 % restante se pierde por volatilización<sup>(25)</sup>; los valores fluctúan de 154 kg ha<sup>-1</sup> en Nazas a 859 kg en Torreón. El requerimiento de N por cultivos forrajeros es menos variable entre municipios, con valores de 140 en Nazas a 190 kg en Gómez Palacio. El balance de N ilustrado en la Figura 3 es la diferencia entre el N del estiércol incorporado y el requerimiento de N por cultivos forrajeros; en promedio, San Pedro, Tlahualilo y "Otros" tuvieron un balance negativo, mientras que el resto tuvieron un balance positivo. Es decir, en la mayoría de los municipios el N del estiércol es mayor que el requerimiento de N por los cultivos forrajeros. Los municipios con mayor concentración de bovinos, Gómez Palacio, Lerdo, Matamoros y Torreón, tuvieron un balance promedio de 183, 336, 313 y 691 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, en tanto que los demás tuvieron balances menores de 150 kg. El balance promedio regional es positivo con 187 kg ha<sup>-1</sup> (Figura 2).

Figura 3. Balance de N en los municipios conurbados de la Comarca Lagunera, en comparación con la media Regional y el resto de los municipios

Figure 3. N balance in the neighboring municipalities of the Comarca Lagunera, compared with the Regional average and the rest of the municipalities



### Manure production

Total production estimated in fresh weight was 6.624 million t yr<sup>-1</sup>, with a 12.71 % of DM, resulting in a manure production of 842,000 t DM yr<sup>-1</sup> (Table 4). From this previous value, 80 % is provided by lactating cows and 20 % for the rest of the herd (dry cows, heifers, and growing calves). As the amount of manure depends mainly on the number of animals, four municipalities which have 79 % of the inventory of dairy cattle (Gómez Palacio, Lerdo, Torreón and Matamoros), accounted for 78 % of the manure produced. Total N excreted was almost 44,200 t yr<sup>-1</sup>, with a minimum of 471 t yr<sup>-1</sup> in Nazas, to a maximum of 11,785 t yr<sup>-1</sup> in Gómez Palacio.

### N balance

Figure 1 illustrates the N balance of the manure by municipality. The available N to be incorporated into the soil corresponds to 70 % of the values listed in Table 4, assuming that the remaining 30 % is lost by volatilization<sup>(25)</sup>; values range from 154 kg ha<sup>-1</sup> at Nazas to 859 kg in Torreón. N requirement by forage crops is less variable among municipalities, with values of 140 kg in Nazas to 190 kg in Gomez Palacio. The N balance illustrated in Figure 3 is the difference between the incorporated manure-N and the N requirement by forage crops. On average, San Pedro, Tlahualilo, and "Others" had a negative balance, while the rest had a positive balance. i.e. in most municipalities manure-N is greater than N requirement for forage crops. The municipalities with the highest concentration of cattle, Gómez Palacio, Lerdo, Matamoros and Torreón, had an average balance of 183, 336, 313 and 691 kg ha<sup>-1</sup>, respectively, while the other municipalities had balances of less than 150 kg. The regional average balance is positive, with 187 kg (Figure 2).

Analyzing the trend of the N balance (Figure 3), it can be seen that the highest average was recorded in 2001, with 291 kg ha<sup>-1</sup>; from 2002 the balance value decreases up to 109 kg in 2011 (final year of evaluation). By separating

Al analizar la tendencia del balance de N (Figura 3), se aprecia que el promedio más alto se registró en 2001, con 291 kg ha<sup>-1</sup>; a partir de 2002 se observa que el valor disminuye hasta llegar a 109 kg en 2011, último año de evaluación. Al separar los cuatro municipios que concentran el 79 % de las cabezas de bovino (Gómez Palacio, Lerdo, Torreón y Matamoros) de los demás, se aprecia que estas localidades alcanzaron un balance máximo de 597 kg en 2001 para después disminuir hasta 271 kg en 2011, es decir, siempre estuvieron por encima de 150 kg ha<sup>-1</sup>. En cambio, el resto de los municipios tuvieron siempre un balance inferior a 150 kg, alcanzando un máximo de 88 kg en 2002 y un mínimo de -16 kg en 2010. El promedio regional mostró valores de 158 kg en 2003 y 2005, y menores de 150 kg ha<sup>-1</sup> de 2006 a 2011.

Al relacionar la densidad de animales (D<sub>V</sub>, vacas ha<sup>-1</sup>) con el balance de N (B<sub>N</sub>, kg ha<sup>-1</sup>), el modelo resultante de regresión lineal se presenta en la Figura 4:

$$B_N = 106.6(D_V) - 156$$

El modelo anterior fue significativo (r<sup>2</sup>= 0.98) y predice que un sistema en equilibrio (B<sub>N</sub>= 0) se obtiene con un valor de D<sub>V</sub>= 1.6 vacas ha<sup>-1</sup>. Los municipios conurbados con el balance más positivo, o mayor exceso de N (Figura 2), son también los que tienen una mayor densidad de vacas (Figura 4).

## DISCUSIÓN

### *Patrón de cultivos*

Durante el periodo de 13 años de análisis, se observa un cambio importante en el patrón de cultivos; al inicio del periodo (1999), la alfalfa ocupó el 53.8 % de la superficie de forrajes. En ese mismo año, el maíz junto con el sorgo forrajero ocuparon el 32.5 % de la superficie, en tanto que la avena forrajera se cosechó en 7.9 % de la superficie total de forrajes. Al final del estudio (2011), se observa que la alfalfa disminuyó a un 34 %, mientras que el maíz +

the four municipalities which account for 79 % of heads of cattle (Gómez Palacio, Lerdo, Torreón and Matamoros) from the others, the information shows that those locations reached a maximum balance of 597 kg ha<sup>-1</sup> in 2001 to then decrease to 271 kg in 2011, i.e., they were always above 150 kg. The rest of the municipalities always had a balance of less than 150 kg, reaching a maximum of 88 kg in 2002 and a minimum of -16 kg in 2010. The regional average showed values of 158 kg in 2003 and 2005, and less than 150 kg from 2006 to 2011.

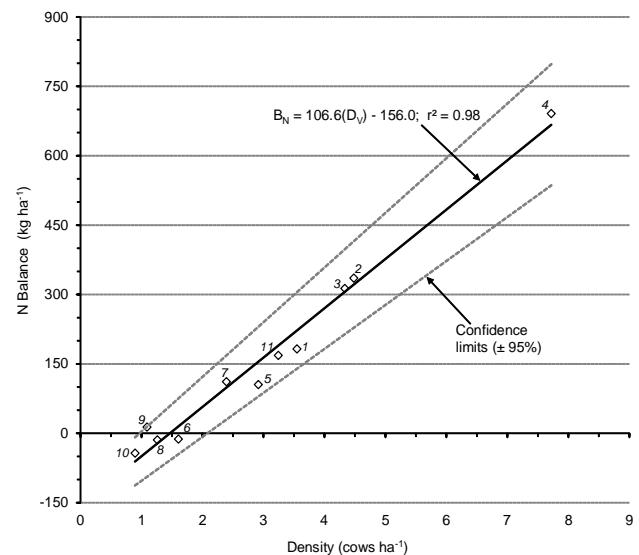
By relating the animal density (C<sub>D</sub> cows ha<sup>-1</sup>) with the N balance (N<sub>B</sub> kg ha<sup>-1</sup>), the resulting linear regression model is presented in Figure 4:

$$N_B = 106.6(C_D) - 156$$

The previous model was significant (r<sup>2</sup>= 0.98) and predicts that a system in equilibrium (N<sub>B</sub>= 0) is obtained with a value of C<sub>D</sub>= 1.6 cows ha<sup>-1</sup>. The municipalities with the most positive balance, or greater N excess (Figure 2), are

Figura 4. Relación entre la densidad de vacas y el balance de nitrógeno (datos promedio de 1999 a 2007)

Figure 4. Relationship between the density of cows and the nitrogen balance (average data from 1999 to 2007)



sorgo aumentaron a un 51.2 % y la avena a un 13.3 % (Figura 1). Estos cambios en el patrón, incrementan la demanda de N en la región, al disminuir el N fijado biológicamente por la alfalfa e incrementarse los cultivos que son fertilizados convencionalmente<sup>(26)</sup>; además, con este cambio en el patrón de cultivos se incrementa la eficiencia de uso de agua a nivel regional y no se afecta la producción de leche<sup>(27)</sup>.

El rendimiento promedio regional de 13.9 t ha<sup>-1</sup> de MS corresponde a todos los cultivos forrajeros, el cual es superior al valor de 9.9 t ha<sup>-1</sup> encontrado por Hillhorst *et al.*<sup>(12)</sup> en una granja experimental en Holanda. A nivel de unidad de producción, en la Región Lagunera el rendimiento de MS por hectárea puede ser mayor, ya que la alfalfa tiene un rendimiento promedio de 16 t ha<sup>-1</sup>; además, en áreas regadas con agua de noria (64 % de la superficie) es común tener dos a tres cosechas en el mismo año, con rendimientos experimentales de 25 y 18 t ha<sup>-1</sup> de MS en maíz forrajero sembrado en primavera y verano, respectivamente, y de 12 t ha<sup>-1</sup> de MS con cereales de invierno<sup>(28)</sup>.

#### *Producción de estiércol*

Existen diferentes constantes para estimar la producción de estiércol en especies animales<sup>(5,29)</sup>. Fortis *et al.*<sup>(5)</sup> estimaron una producción de 619 mil t año<sup>-1</sup> de estiércol (MS) en la Comarca Lagunera, en base a estadísticas del 2008; el valor es menor al promedio estimado en el presente estudio de 842 mil t año<sup>-1</sup>. En la región de Delicias, Chih., con el uso de las ecuaciones de Nennich *et al.*<sup>(21)</sup>, se estimó una producción de 2.9 millones de t año<sup>-1</sup> de estiércol total (peso recién excretado), con una población de ganado lechero de 56,800 cabezas<sup>(22)</sup>. Estas ecuaciones tienen la ventaja que están basadas en el nivel de producción de leche y pueden utilizarse a nivel de unidad de producción.

Con respecto a la estimación del N excretado, el bovino lechero tiene una eficiencia baja en el uso del N ingerido, ya que alrededor del 70

also those who have a higher cow density (Figure 4).

## **DISCUSSION**

### *Crop pattern*

During the 13 yr analyzed period, it has been a major change in the crops pattern of the Comarca Lagunera. At the beginning of the period (1999), alfalfa held 53.8 % of the forage area; in that same year, maize along with the sorghum occupied 32.5 % of the area, whereas oats forage harvested 7.9 %. At the end of the study (2011), alfalfa decreased to a 34 %, while maize + sorghum increased to 51.2 % and oats 13.3 % of the crops forage area (Figure 1). These changes in the pattern increased the N demand in the region, by decreasing the N biologically fixed by alfalfa and increasing the crops conventionally fertilized<sup>(26)</sup>; it increases also the water use efficiency at the regional level without affecting the milk production<sup>(27)</sup>.

The regional average yield of 13.9 t DM ha<sup>-1</sup> corresponds to all forage crops, which is greater than the 9.9 t ha<sup>-1</sup> found by Hillhorst *et al.*<sup>(12)</sup> in an experimental farm in the Netherlands. At farm level, in the Comarca Lagunera Region DM yield per hectare can be greater, as alfalfa has an average yield of 16 t ha<sup>-1</sup>. In addition, in irrigated areas with groundwater (64 % of the area) is common to have two or three crops in the same year, with experimental yields of 25 and 18 t DM ha<sup>-1</sup> in maize forage planted in spring and summer, respectively, and 12 t DM ha<sup>-1</sup> with winter cereals<sup>(28)</sup>.

### *Manure production*

There are different constants to estimate manure production in animal species<sup>(5,29)</sup>. Fortis *et al.*<sup>(5)</sup> estimated a production of 619,000 t DM yr<sup>-1</sup> in the Comarca Lagunera, based on statistics from 2008; the value is less than the average estimated in this study of 842,000 t. In the region of Delicias, Chih., with the use of the Nennich *et al.* equations<sup>(21)</sup> a total manure production of 2.9 million t yr<sup>-1</sup> was estimated

% del N en la ingesta es excretado<sup>(1)</sup>. Los principales factores asociados con la excreción de N son el consumo de materia seca, contenido de proteína cruda en la dieta, producción de leche, peso vivo del animal y días en lactancia<sup>(21)</sup>. En el presente estudio se estimó una excreción de N de 44,154 t año<sup>-1</sup>; sin embargo, si se considera la producción de estiércol en MS estimada (842 mil t año<sup>-1</sup>), con una concentración promedio de N total de 1.61 %<sup>(30)</sup>, nos da un contenido de N total de 13,557 t año<sup>-1</sup>; la diferencia representa un 69.3 % de pérdidas de N durante el manejo, almacenamiento y aplicación de estiércol. El proceso que más contribuye a las pérdidas anteriores es la volatilización de amoníaco, ya que se han estimado valores de 25 a 50 % del N total<sup>(31)</sup>. En el presente estudio se asumió un 30 % de pérdida de N por volatilización; parte de esta alta volatilización se debe a que alrededor de 38 % del N excretado principalmente en la orina, está en forma ureica o amoniacal<sup>(6)</sup>; la urea en presencia de ureasa se hidroliza a amonio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) y éste se transforma a amoníaco (NH<sub>3</sub>) en condiciones de pH alcalino<sup>(32)</sup>, condición común en los suelos calcáreos del Norte de México. Por otro lado, el manejo de estiércol mediante digestión anaeróbica (biodigestor) puede reducir las pérdidas por volatilización de amoníaco a valores entre 5 y 10 %<sup>(33)</sup>, y es una tecnología que se está utilizando y extendiendo en la Comarca Lagunera.

#### *Balance de N*

El balance de la Figura 2 indica un exceso de N a nivel regional de 168 kg ha<sup>-1</sup>, con una variación de -43 (Otros municipios) a 691 kg ha<sup>-1</sup> (Torreón). Estos valores son comparables con los encontrados en otros estudios. A nivel de unidad de producción, en Australia estimaron un balance promedio de 193 kg ha<sup>-1</sup>, con una variación de 47 a 601 kg<sup>(34)</sup>. Un estudio en 120 granjas de Bélgica<sup>(35)</sup> encontró un balance en exceso de 238 kg. El balance promedio obtenido en el presente estudio es muy superior al estimado a nivel nacional de 22 kg ha<sup>-1</sup><sup>(10)</sup>,

(freshly excreted weight), with a dairy cattle population of 56,800 heads<sup>(22)</sup>. These equations have the advantage that are based on the milk production and can be used at the farm level.

With respect to estimation of the excreted N, dairy cattle has a low efficiency in the use of the ingested N, because 70 % of N intake is excreted<sup>(1)</sup>. Main factors associated with excretion of N are dry matter intake, content of crude protein in the diet, milk production, live weight and days in lactation<sup>(21)</sup>. An excretion of 44,154 t yr<sup>-1</sup> was estimated in the present study; however, taking into account the manure production in DM (842,000 t yr<sup>-1</sup>), with an average total N concentration of 1.61 %<sup>(30)</sup>, results a total N content of 13,557 t yr<sup>-1</sup>. The difference represents a 69.3 % of N losses during handling, storage and manure application. The process that contributes most to the previous losses is ammonia volatilization, estimated as 25 to 50 % from the total N<sup>(31)</sup>. In the present study it was assumed a 30 % N loss by volatilization. Part of this high volatilization is because around 38 % of the excreted N, mostly in the urine, is in the form of urea or ammonia<sup>(6)</sup>. Urea in the presence of urease is hydrolyzed to ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) and this turns in to ammonia (NH<sub>3</sub>) in conditions of alkaline pH<sup>(32)</sup>, a common condition in calcareous soils in the North of Mexico. On the other hand, the management of manure by anaerobic digestion (biodigester) can reduce losses by ammonia volatilization to values between 5 and 10 %<sup>(33)</sup>; this technology is now in use and extending in the Comarca Lagunera.

#### *N balance*

Balance in Figure 2 indicates an excess of N at the regional level of 168 kg ha<sup>-1</sup>, with a variation of -43 kg (other municipalities) to 691 kg ha<sup>-1</sup> (Torreón). These values are comparable with those found in other studies. At farm level, in Australia an average balance of 193 kg ha<sup>-1</sup> was estimated, with a variation of 47 to 601 kg<sup>(34)</sup>. A study of 120 farms in Belgium<sup>(35)</sup>

pero cercano al valor de 150 kg sugerido como máximo para mantener la sustentabilidad del sistema de producción<sup>(35)</sup>. En el presente estudio, los municipios con mayor densidad de vacas tuvieron un balance superior a 150 kg ha<sup>-1</sup> durante todo el periodo evaluado, aunque con una clara tendencia a disminuir, con un máximo de 1,343 kg en 2001, a 508 kg en 2011 (Figura 3). Los 11 municipios restantes registraron un balance máximo de 88 kg en 2002, a -16 kg ha<sup>-1</sup> en 2010.

La disminución del balance de N se debe al incremento en la superficie cosechada de forrajes, y a que el inventario de bovinos permaneció estable del 2000 en adelante. Una práctica para bajar el balance de N es mover los excedentes de estiércol a los municipios deficitarios de N o fuera de la Comarca Lagunera. Éste es el enfoque que sugiere la FAO<sup>(36)</sup>, es decir, integrar zonas ganaderas con zonas vecinas de producción agrícola donde se puedan reciclar los nutrientes del estiércol. Sin embargo, el costo de aplicación de estiércol bovino representa de un 25 a un 148 % del costo de aplicar fertilizantes, dependiendo de la dosis requerida por el cultivo; además, la distancia máxima a la que se puede mover estiércol para igualar el costo del fertilizante que se dejaría de aplicar, puede variar desde 1 a 92 km<sup>(37)</sup>.

#### *Densidad de animales*

De acuerdo con el modelo de regresión entre la densidad de animales ( $D_V$ ) y el balance de N ( $B_N$ ), el valor de  $D_V$  para que el sistema tenga un balance de 150 kg ha<sup>-1</sup> es de 2.87 vacas ha<sup>-1</sup>. Este valor es superior al estimado para Wisconsin por Saam *et al.*<sup>(13)</sup>, quienes señalan que más de 1.1 vacas ha<sup>-1</sup> generan excesos de N. Sin embargo, Van Horn *et al.*<sup>(1)</sup> en Florida, estimaron un balance de N a nivel de granja, en el que 1 ha puede reciclar el estiércol de 10.4 vacas; en este balance la incorporación de estiércol es en forma líquida y los cultivos extraen 55.1 % del N excretado en tres cosechas al año, con un rendimiento de 29 t ha<sup>-1</sup> de MS.

found an excess balance of 238 kg. The average balance obtained in this study is higher than the estimated at national level of 22 kg<sup>(10)</sup>, but close to the maximum value of 150 kg suggested to maintain the sustainability of the production system<sup>(35)</sup>. In the present study, the municipalities with the highest cows density had a balance greater than 150 kg ha<sup>-1</sup> throughout the period evaluated, although with a clear downward trend, with a maximum of 1,343 kg in 2001, to 508 kg in 2011 (Figure 3). The remaining 11 municipalities recorded a maximum balance of 88 kg in 2002, and -16 kg in 2010.

The decrease of the N balance is due to the increase in the harvested area with forage crops, and that inventory of dairy cattle remained steady from 2000 onwards. A practice to lower the N balance is to move manure surplus to N-deficit municipalities or outside the Comarca Lagunera. This is the approach suggested by FAO<sup>(36)</sup>, i.e., integrate livestock areas with neighboring areas of agricultural production where nutrients from manure can be recycled. However, the cost of cattle manure application accounts for 25 to 148 % of the cost for applying fertilizers, depending on the dose required for crops; in addition, the maximum distance to which manure can be moved to match the cost of fertilizer that would apply, can vary from 1 to 92 km<sup>(37)</sup>.

#### *Animal density*

According to the regression model between animal density ( $A_D$ ) and N balance ( $N_B$ ), the  $A_D$  value for a balanced system of 150 kg ha<sup>-1</sup> is 2.87 cows ha<sup>-1</sup>. This value is greater than estimations in Wisconsin by Saam *et al.*<sup>(13)</sup>, who point out that more than 1.1 cows ha<sup>-1</sup> generate an excesses of N. However, Van Horn *et al.*<sup>(1)</sup> in Florida, report that at farm level, 1 ha can recycle manure of 10.4 cows; in this balance the manure incorporation is in liquid form and crops used 55.1 % of excreted N in three crops per year, with 29 t DM ha<sup>-1</sup> yield. In the Comarca Lagunera, during the study 66,400 ha were cultivated with irrigation, including 38,000 ha

En la Comarca Lagunera, durante el periodo de estudio se cultivaron en promedio 66,400 ha con agua de bombeo, incluyendo 38,000 ha de alfalfa<sup>(4)</sup>, por lo que la diferencia de 28,400 ha son susceptibles de obtener dos o tres cosechas por año. Al incluir en esta superficie un segundo cultivo (62 % de la superficie con maíz y 38 % con sorgo), la producción de MS se incrementa de 13.9 a 25.0 t ha<sup>-1</sup>, con la cual se puede incrementar la densidad a 6.7 vacas ha<sup>-1</sup>, manteniendo un balance de N <150 kg ha<sup>-1</sup>.

### CONCLUSIONES E IMPLICACIONES

Se estimó el balance regional de N entre el que se produce en el estiércol de bovino lechero y el requerimiento de N de los cultivos forrajeros en la Región Lagunera; el balance promedio regional fue de 187 kg ha<sup>-1</sup>, el cual indica un exceso de N. A través de los años, el balance de N mostró una tendencia a la baja en todos los municipios, con un máximo de 291 kg ha<sup>-1</sup> en 2001 a 109 kg ha<sup>-1</sup> en 2011. Se encontró una relación positiva entre la densidad de vacas por hectárea y el balance de N. Los municipios con una densidad mayor de 2.87 vacas ha<sup>-1</sup> tuvieron un balance de N >150 kg ha<sup>-1</sup>, asumiendo un solo cultivo por año, lo cual representa mayores riesgos de contaminación. En este sistema intensivo con dos cosechas de forrajes al año, común en esta región, se puede incrementar la densidad a 6.7 vacas ha<sup>-1</sup>, manteniendo un balance de N <150 kg ha<sup>-1</sup>.

### LITERATURA CITADA

1. Van Horn HH, Newton GL, Kunkle WE. Ruminant nutrition from an environmental perspective: factors affecting whole-farm nutrient balance. *J Anim Sci* 1996;3082-3102.
2. Díez JJ, Roman RR, Caballero R, Caballero A. Nitrate leaching from soils under a maize-wheat-maize sequence, two irrigation schedules and three types of fertilizers. *Agr Ecosys Environ* 1997;65:189-199.
3. Lowrance R, Johnson JC, Newton GL, Williams RG. Denitrification from soils of a year-round forage production system fertilized with liquid dairy manure. *J Environ Qual* 1998;27:1504-1511.

of alfalfa<sup>(4)</sup>, so the rest of the 28,400 ha are suitable to obtain two or three harvests per year. By including a second crop (62 % of the area with maize and 38 % with sorghum), the DM production increases from 13.9 to 25.0 t ha<sup>-1</sup>, increasing the density at 6.7 cows ha<sup>-1</sup>, while maintaining a N balance of <150 kg ha<sup>-1</sup>.

### CONCLUSIONS AND IMPLICATIONS

The regional N balance between dairy cattle manure and the requirement of forage crops in the Comarca Lagunera Region was estimated; the regional average balance was 187 kg ha<sup>-1</sup>, which indicates an excess of N. Over the years, the N balance showed a downward trend in all municipalities, with a maximum of 291 kg ha<sup>-1</sup> in 2001 to 109 kg in 2011. It was found a positive relationship between the cows density per hectare and the N balance. The municipalities with a density greater than 2.87 cows ha<sup>-1</sup> had a N balance of >150 kg ha<sup>-1</sup>, assuming a single crop per year, which represents higher contamination risk. In this intensive system with two forage crops per year (common in this region), the density could increase to 6.7 cows ha<sup>-1</sup>, while maintaining a N balance of <150 kg ha<sup>-1</sup>.

*End of english version*

4. SAGARPA. Anuario estadístico de la producción agropecuaria. Delegación Comarca Lagunera. [www.sagarpa.gob.mx/dlg/laguna/ANUARIO%202007.pdf](http://www.sagarpa.gob.mx/dlg/laguna/ANUARIO%202007.pdf). Consultado 11 julio, 2013.
5. Fortis HM, Leos RJA, Orona CI, García HJL, Salazar SE, Preciado RP, *et al.* Uso de estiércol bovino en la Comarca Lagunera. En: Orona CI, Salazar SE, Fortis HM editores. *Agricultura orgánica*. 2ª ed. FAZ-UJED. SMCS. Gómez Palacio, Dgo; 2009:105-128.
6. Figueroa VU, Nuñez HG, Delgado JA, Cueto WJA, Flores MJP. Estimación de la producción de estiércol y de la excreción de nitrógeno, fósforo y potasio por bovino lechero en la Comarca Lagunera, En: Orona CI, Salazar SE, Fortis HM editores. *Agricultura orgánica*. 2ª ed. FAZ-UJED. SMCS. Gómez Palacio, Dgo; 2009:128-151.
7. Martínez RJG, Castellanos RJZ, Rivera GM, Nuñez HG, Faz CR. Contaminación por nitratos en acuíferos del norte de México y del estado de Guanajuato. *Agrofaz* 2006;6(3):379-387.

8. Meisinger JJ, Calderón FJ, Jenkinson DS. Soil nitrogen budgets. In: Schepers JS, Raun WR editors. Nitrogen in agricultural systems. Agronomy Monograph No. 49. Am Soc Agron. Crop Sci Soc Agr. Soil Sci Am Soc. Madison, WI. 2008:505-562.
9. Menzi H, Gerber P. Nutrient balances for improving the use-efficiency of non-renewable resources: experiences from Switzerland and Southeast Asia. In: Frossard E, Blum WEH, Warkentin BP editors. Function of soils for human societies and the environment. Geol Soc. London 2006; Spec Pub 266:171-181.
10. OECD. Environmental performance of agriculture at a glance. Organization for Economic Co-operation and Development. Paris. 2008.
11. Oenema O. Governmental policies and measures regulating nitrogen and phosphorus from animal manure in Europe agriculture. J Anim Sci 2004;82:E196-206.
12. Hilhorst GJ, Oenema J, Van Keulen H. Nitrogen management on experimental dairy farm "De Marke"; farming systems, objectives and results. Netherlands J Agr Sci 2001;49:135-151.
13. Saam H, Powell JM, Jackson-Smith DB, Bland WL, Posner JL. Use of animal density to estimate manure nutrient recycling ability of Wisconsin dairy farms. Agr Syst 2005;84:343-357.
14. FIRA. El mercado de los fertilizantes en México: situación actual y perspectivas 2009. Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura. México. 2009.
15. Núñez HG, Peña RA, González CF, Faz CR. Características de híbridos de maíz de alto rendimiento y calidad nutricional de forraje. En: Maíz forrajero de alto rendimiento y calidad nutricional. INIFAP, Libro Científico No. 3. Matamoros, Coah. México, Campo Experimental La Laguna, 2006:45-97.
16. Núñez HG, Faz CR, Ochoa ME, Figueroa VU, Sanchez DJI, Reta SD, Quiroga GM. Producción y calidad nutritiva del forraje de variedades de sorgo forrajero, grano y nevadura café. Agrofaz 2010;10:391-398.
17. Lozano RAJ. Triticales forrajeros para la región lagunera. Revista Agropecuaria Laguna. Sociedad Cooperativa Agropecuaria de la Comarca Lagunera. 2002;29:4-5.
18. Camacho GJL, García MJG. Dry matter yield and nutritive value of four alfalfa varieties associated with White clover, perennial ryegrass, tall fescue and orchard grass. Vet Mex 2003;34:149-177.
19. Zamora VVM, Lozano RAJ, Lopez BA, Reyes VMH, Diaz SH, Martinez RJM, Fuentes RJM. Classification of forage triticales in accordance with dry matter yield and nutritional quality in two locations in Coahuila. Tec Pecu Mex 2002;40:229-242.
20. Russelle MP. Biological dinitrogen fixation in agriculture. In: Schepers JS, Raun WR editors. Nitrogen in agricultural systems. Agronomy Monograph No. 49. Am Soc Agr Crop Sci Soc Agr Soil Sci Soc Am. Madison, WI. 2008:281-359.
21. Nennich TD, Harrison JH, VanWieringen LM, Meyer D, Heinrichs AJ, Weiss WP, *et al.* Prediction of manure and nutrient excretion from dairy cattle. J Dairy Sci 2005;88:3721-3733.
22. Rivas LBA, Segovia LA, Morales MHA, Hermosillo NJG, Magaña MJE. Plan de gestión para el desarrollo sostenible de explotaciones lecheras de la cuenca de Delicias. Tecnología Chihuahua 2008;11(1):41-56.
23. Powell JM, Li Y, Wu Z, Broderick GA, Holmes BJ. Rapid assessment of feed and manure nutrient management on confinement dairy farms. Nutrient Cycling in Agroecosys 2008;82:107-115.
24. Spears RA, Kohn RA, Young AJ. Whole-farm nitrogen balance on western dairy farms. J Dairy Sci 2003;86:4178-4186.
25. Moreira VR, Satter LD. Effect of scraping frequency in a freestall barn on volatile nitrogen loss from dairy manure. J Dairy Sci 2006;89:2579-2587.
26. Russelle MP, Birr AS. Large-scale assessment of symbiotic dinitrogen fixation by crops: soybean and alfalfa in the Mississippi river basin. Agron J 2004;96:1754-1760.
27. Núñez HG, Faz CR, Cantú BJE, Figueroa VU, Martínez RG. Modelo para el análisis de alternativas de forrajes para optimizar el agua de riego en la producción de leche en la Región Lagunera. Agrofaz 2008;8:49-55.
28. Núñez HG, Faz CR, Martínez RG. Sistemas de triple cosecha anual de forrajes para la Región Lagunera. Agrofaz 2007;7:1-12.
29. NRCS. Agricultural waste management field handbook. Natural Resource Conservation Service. USDA. Washington, DC. 1999.
30. Fontaine MS. Caracterización de desechos orgánicos de establos bovinos lecheros en la Comarca Lagunera y evaluación preliminar de pérdidas de nitrógeno por volatilización [Tesis Doctoral]. Facultad de Agricultura y Zootecnia: Universidad Juárez del Estado de Durango; 2011.
31. Hristov AN, Hanigan M, Cole A, Todd R, McAllister TA, Ndegwa PM, Rotz A. Review: Ammonia emissions from dairy farms and beef feedlots. Can J Anim Sci 2011;91:1-35.
32. Meisinger JJ, Jokela WE. Ammonia volatilization from dairy and poultry manure. In: Managing, nutrients and pathogens from animal agriculture. NRAES-130. Ithaca, NY. Nat Res Agr Engin Serv 2000:334-354.
33. Oenema O, Tamminga S. Nitrogen in global animal production and management options for improving nitrogen use efficiency. Sci in China ser. C Life Sci 2005;48:871-887.
34. Gourley CJP, Dougherty WJ, Weaver DM, Aarons SR, Awty IM, Gibson DM, *et al.* Farm-scale nitrogen, phosphorus, potassium and sulfur balances and use efficiencies on Australian dairy farms. Anim Prod Sci 2012;52:929-944.
35. Nevens F, Verbruggen I, Reheul D, Hofman G. Farm gate nitrogen surpluses and nitrogen use efficiency of specialized dairy farms in Flanders: evolution and future goals. Agr Syst 2006;88:142-155.
36. FAO. Integración por zonas de la ganadería y de la agricultura especializadas (AWI) - Opciones para el manejo de efluentes de granjas porcícolas de la zona Centro de México. Depósito de documentos de la FAO. <http://www.fao.org/wairdocs/LEAD/X6372S/x6372s00.htm#Contents>. Consultado 18 mar, 2014.
37. Araji AA, Abdo ZO, Joyce P. Efficient use of animal manure on cropland –economic analysis. Bioresource Tech 2001;79:179-191.