



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

**EFFECTO AMBIENTAL DEL FLUJO DE NITRÓGENO EN SISTEMAS DE  
PRODUCCIÓN DE LECHE EN PEQUEÑA ESCALA EN EL ALTIPLANO  
CENTRAL DE MEXICO**

# Tesis

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
DOCTOR EN CIENCIAS AMBIENTALES

PRESENTA:

Mc. Dixan Pozo Leyva

**TUTOR ACADÉMICO:**

Dr. Carlos M. Arriaga Jordán

**TUTORES ADJUNTOS:**

Dra. Patricia Balderas Hernández

Dr. Rafael Olea Pérez



Toluca, 2019

## RESUMEN

El objetivo de esta tesis fue determinar el efecto ambiental del flujo del nitrógeno (N) en sistemas de producción de leche en pequeña escala (SPLPE) en el Altiplano Central Mexicano (municipio de Aculco) del Estado de México e identificar puntos críticos y de oportunidades. Los SPLPE son la forma de producción más ampliamente distribuida en el ámbito local e internacional, siendo vulnerables económica y ambientalmente. Se evaluaron 12 hatos, seis en pastoreo (P) y 6 con praderas de corte (C) en los que se cuantificaron las entradas y salidas de N, de mayo del 2016 hasta abril del 2017, dividido en época del año y anual, los resultados se expresaron en kg/N/ha, kg/N/vaca y kg/N/hato. Se estimó el metano proveniente de la fermentación entérica y las emisiones de GEI del manejo de purines, empleando la metodología de Nivel 2 del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC). El análisis estadístico fue por ANOVA empleando el software Minitab® V-10. La entrada de N a los hatos en el periodo evaluado solo respondió a la compra de fertilizantes y alimentos, mientras que las salidas de N fueron por la venta de leche y animales. En la compra de fertilizantes kg/N/ha se observaron diferencias estadísticas ( $P < 0.05$ ) para época del año y estrategias de alimentación, en kg/N/vaca estas diferencias solo se observaron para la época del año. Las entradas por alimentación kg/N/ha y kg/N/vaca muestran diferencias estadísticas ( $P < 0.05$ ) en cuanto a la estrategia de alimentación, al igual que en la venta de leche kg/N/ha. En cambio, en las salidas de leche expresadas en kg/N/vaca no mostró diferencias por ninguna de las variables. Para la venta de animales kg/N/ha se observan diferencias en todas las variables y para kg/N/vaca sólo se observan diferencias en la interacción entre estrategia de alimentación y época del año. El balance de N en kg/N/ha mostró diferencias estadísticas para época del año y la interacción entre época del año y SA. Por su parte al expresarse en kg/N/vaca mostró diferencias en el SA y la interacción entre época del año y el SA. La eficiencia de utilización de N (EUN) promedio para kg/N/ha y kg/N/vaca fue del 19 %. Los SPL con mejor EUN combinaron bajo uso de fertilizantes, con bajos ingresos de alimentos. El N ofrecido en la ración, la conversión en coproductos leche-carne y las emisiones de gases con efecto invernadero (GEI) procedentes de la gestión de N, no mostraron diferencias significativas ( $P > 0.05$ ) para ninguna de las variables evaluadas. En esta investigación la estrategia de alimentación y el manejo de excretas no influyeron en las emisiones de GEI.

## ABSTRACT

The objective of this thesis was to determine the environmental effect of N flow in small-scale milk production systems (SPLPE) in the Central Mexican High Plateau (Aculco municipality) of the State of Mexico and identify critical points and opportunities. The SPLPE are the most widely distributed form of production in the local and international environment, being economically and environmentally vulnerable. 12 herds were evaluated, six in grazing (G) and six with cut meadows (C) in which N entries and exits were quantified, from May 2016 to April 2017, divided into season and year, Results were expressed in kg/N/ha, kg/N/cow and kg/N/hato. The methane for enteric fermentation and GHG emissions from manure management was estimated, using the level 2 methodology of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). The statistical analysis was by ANOVA using the software Minitab® V-14. The entry of N to the herds in the evaluated period only responded to the purchase of fertilizers and food, while the exits of N were for the sale of milk and animals. In the purchase of fertilizers kg/N/ha statistical differences were observed ( $P < 0.05$ ) for time of year and feeding strategies, in kg/N/cow these differences were only observed for the time of year. Feeding inputs kg/N/ha and kg/N/cow only show statistical differences ( $P < 0.05$ ) in terms of feeding strategy, as in the sale of milk kg/N/ha. On the other hand, milk outputs expressed in kg/N/cow showed no differences for any of the variables. For the sale of animal kg/N/ha differences are observed in all the variables and for kg/N/cow only differences in the interaction between feeding strategy and time of year are observed. The balance of N in kg/N/ha showed statistical differences for time of year and the interaction between time of year and SA. For its part, when expressed in kg/N/cow, it showed differences in the SA and the interaction between time of year and the SA. The efficiency of utilization of N (EUN) average for kg/N/ha and kg/N/cow is 19%, observing the highest efficiency for grazing in the dry season. The SPL with better EUN combined low fertilizer use, with low food income. The N offered in the ration, the conversion into milk-meat by-products and the emissions of greenhouse gases (GHG) from N losses due to the management of N, did not show significant differences ( $P > 0.05$ ) for any of the evaluated variables. In this research, the feeding strategy and the handling of excreta did not influence GHG emissions.

## Contenido

|                                                                                      |      |
|--------------------------------------------------------------------------------------|------|
| RESUMEN.....                                                                         | IV   |
| ABSTRACT.....                                                                        | V    |
| INTRODUCCIÓN GENERAL.....                                                            | VIII |
| Planteamiento del problema de investigación.....                                     | IX   |
| Preguntas de investigación.....                                                      | X    |
| Hipótesis.....                                                                       | X    |
| Objetivo General.....                                                                | X    |
| Objetivos Específicos.....                                                           | XI   |
| CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO.....                                                       | 13   |
| 1.1. Nitrógeno en el ambiente.....                                                   | 13   |
| 1.1.1. Flujo de nitrógeno en los sistemas ganaderos.....                             | 14   |
| 1.2. Efectos de la ganadería en el ambiente.....                                     | 15   |
| 1.3. Alimentación del ganado (relación nitrógeno-ambiente).....                      | 16   |
| 1.4. Manejo de purines (relación nitrógeno-ambiente).....                            | 17   |
| 1.4.1. Descomposición del purín.....                                                 | 18   |
| 1.4.2. Efecto del purín en al ambiente.....                                          | 19   |
| 1.5. Emisiones de gases con efecto invernadero y la producción ganadera.....         | 20   |
| 1.5.1. Metano (CH <sub>4</sub> ) y producción ganadera.....                          | 21   |
| 1.5.2. Óxido Nitroso (N <sub>2</sub> O) y producción ganadera.....                   | 22   |
| CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS.....                                                | 25   |
| 2.1. Características ambientales de la zona de estudio.....                          | 25   |
| 2.2. Caracterización de los sistemas de producción de leche en pequeña escala.....   | 25   |
| 2.3. Determinación del balance de N en los sistemas de producción de leche.....      | 27   |
| 2.3.1. Determinación de las entradas de N en los sistemas de producción.....         | 27   |
| 2.3.2. Determinación de las salidas de N en los sistemas de producción de leche..... | 27   |
| 2.4. Determinación de las entradas de N en los animales.....                         | 28   |
| 2.5. Determinación de las salidas de N en los animales.....                          | 29   |
| 2.6. Estimación de las emisiones de gases con efecto invernadero.....                | 30   |
| 2.7. Identificación de puntos críticos y de oportunidad en la utilización del N..... | 31   |

|                                          |    |
|------------------------------------------|----|
| 2.8. Análisis estadístico .....          | 31 |
| CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN ..... | 34 |
| 3.1. Primera Publicación .....           | 35 |
| 3.2. Segunda Publicación .....           | 52 |
| 3.3. Tercera Publicación .....           | 67 |
| 3.4. Discusión general .....             | 82 |
| CONCLUSIONES GENERALES .....             | 89 |
| BIBLIOGRAFÍA .....                       | 90 |
| ANEXOS.....                              | i  |

## INTRODUCCIÓN GENERAL

El nitrógeno (N) es un macronutriente esencial para todo tipo de ser vivo. La quema de combustibles fósiles, las prácticas de cría de animales, la producción y aplicación de fertilizantes nitrogenados, añaden anualmente compuestos nitrogenados al ambiente, provocando un aumento de la tasa de deposiciones húmedas y secas de este compuesto afectando a sistemas agrícolas. Es por esto que algunos grupos ambientalistas consideran que la industria pecuaria tiene gran responsabilidad en el calentamiento global por la generación de contaminantes como (metano, óxido nitroso, amonio, nitritos y nitratos) vertidos al suelo, agua y atmósfera (Pinos-Rodríguez *et al.*, 2012).

Los bovinos productores de leche tienen como características propias de su metabolismo una baja eficiencia para la utilización de los nutrientes (Figuroa-Viramontes *et al.*, 2015). Particularmente del N, siendo del 15 al 35 %, lo que significa que entre el 65 y el 85 % del N consumido no es metabolizado, excretándose fundamentalmente en el estiércol y la orina (Powell *et al.*, 2010). Razón por la que es necesario implementar sistemas productivos (SP) que optimicen los aspectos económicos y productivos de forma amigable con el ambiente (Rivera *et al.*, 2016). El N contenido en el estiércol y la orina tiene un gran aporte a los gases con efecto invernadero (GEI), influenciado de forma particular por el manejo y la disposición de purines que se emplea en cada SP.

Los productos lácteos son un componente importante de la dieta humana, pero la producción de esta importante fuente de nutrientes contribuye con el 4 % de las emisiones de GEI antropogénicos mundiales (FAO, 2010). Dado que la demanda de leche se duplicará entre 2000 y 2050, aumentará la necesidad de implementar estrategias de mitigación de GEI. Actualmente, el 80 % de las emisiones de GEI de la producción láctea proviene de fuentes internas de los hatos. El metano entérico ( $\text{CH}_4$ ) es el mayor contribuyente, seguido del  $\text{CH}_4$  del manejo del estiércol y el óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) de los suelos (IDF, 2009).

El sector ganadero es responsable del 18 % de las emisiones de GEI medido en equivalentes de  $\text{CO}_2$ , un porcentaje mayor que el emitido por los medios de transporte (FAO, 2009). De esta manera el sector pecuario produce el 9 % de las emisiones de  $\text{CO}_2$  de origen antropogénico. La mayor parte de las cuales se deben a la expansión de los pastizales y la superficie destinada a la producción de forrajes. El sector emite el 37 % del metano

antropogénico, con un potencial de calentamiento global 23 veces mayor al del CO<sub>2</sub> y el 65 % del óxido nitroso antropogénico, cuyo potencial de calentamiento global es 296 veces mayor que el del CO<sub>2</sub>, el cual proviene fundamentalmente de la gestión de los purines (FAO. 2006).

Está documentado que los sistemas productores de leche en pequeña escala (SPLPE) son de vital importancia a nivel mundial. Por lo que la Organización de Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, conocida por sus siglas en inglés como FAO estima que entre el 12 y el 14 % de la población a nivel mundial está relacionada a la ganadería productora de leche, contribuyendo a combatir la pobreza e incrementar la seguridad alimentaria. Estos SP representan una mayor fuente de empleo que los sistemas altamente tecnificados (FAO. 2010b).

Los SPLPE en México están definidos como unidades de producción con pequeñas superficies de tierra, donde la venta de leche proporciona ingresos para la familia y que pueden o no complementarse con ingresos generados por otras actividades dentro de los SP o fuera de éstos. Estos sistemas cuentan con un máximo de 35 vacas y un mínimo de 3 vacas más sus reemplazos con producciones medias de 15 a 19 kg de leche por vaca por día. Utilizan primordialmente mano de obra familiar y están integrados al mercado como proveedores de leche y derivados (Espinoza-Ortega *et al.*, 2007; Fadul-Pacheco *et al.*, 2013).

### **Planteamiento del problema de investigación**

Cada SPL tiene sus propias características, enfrentando retos diferentes. Es decir, estos sistemas se desarrollan en condiciones socioeconómicas, agroecológicas y tecnológicas heterogéneas. Contribuyen con el 37 % de la producción de leche total de México. Estos SP son vulnerables económicamente por concepto de alimentación donde el 73 % de los costos representan la adquisición de recursos externos a la unidad de producción. Siendo la alimentación un punto clave económico y social donde el N se considera un indicador de eficiencia económica y ambiental (Albarrán-Portillo *et al.*, 2012; Alfonso-Ávila *et al.*, 2012).

## **Preguntas de investigación**

¿Cuál es el efecto ambiental del flujo del N en sistemas de producción de leche en pequeña escala? ¿Cuáles son las entradas y salidas de N en los sistemas de producción de leche en pequeña escala con diferentes sistemas de alimentación?

## **Hipótesis**

El estudio del flujo de N en sistemas de producción de leche en pequeña escala en el Altiplano Central Mexicano, permitirá identificar puntos críticos y de oportunidades para mejorar la eficiencia en el uso del N y conocer los efectos ambientales.

## **Justificación**

El nitrógeno (N) juega un papel importante dentro de los sistemas de producción de leche (SPL), como indicador de eficiencia ambiental y económica. El aumento de la entrada de N en los SPL se traduce en mayor emisión atmosférica de metano y óxido nitroso, así como volatilización, lixiviación y contaminación de los cuerpos de agua. Una forma viable de disminuir la emisión de estos gases y mejorar el aprovechamiento de los nutrientes disponibles dentro de los SPL, es hacer uso eficiente del N teniendo en cuenta que los Sistemas de Producción de Leche en Pequeña Escala (SPLPE) son la forma de producción de leche más ampliamente distribuida a nivel nacional e internacional. Estos sistemas de producción (SP) en su mayoría se encuentran en las zonas rurales donde habitan el 70 % de las comunidades más pobres del mundo, representando al 40 % de la población mundial, por lo que estos SP son claves generando ingresos para los productores y amenizan las condiciones de vida en estas zonas. Sin embargo, los altos costos de alimentación resultantes de la adquisición de recursos ajenos a los SP, disminuyen el margen de ganancia en estos sistemas donde la alimentación del ganado representa el 70 % de los costos de producción y traen consigo contaminantes ambientales.

## **Objetivo General**

Determinar el efecto ambiental del flujo del N en sistemas de producción de leche en pequeña escala en el Altiplano Central Mexicano (municipio de Aculco) del Estado de México e identificar puntos críticos y de oportunidades.



## **Objetivos Específicos**

- Caracterizar los sistemas de producción de leche en pequeña escala en el altiplano central mexicano en cuanto a los componentes pecuarios y agrícolas.
- Determinar las entradas y salidas de N mediante el balance de masa en los sistemas de producción de leche en pequeña escala con diferentes sistemas de alimentación.
- Determinar el consumo y excreción de N en los animales bajo diferentes sistemas de alimentación.
- Estimar las emisiones de gases con efecto invernadero provenientes de la fermentación ruminal y la gestión de purines en los sistemas de alimentación.
- Identificar puntos críticos y de oportunidad en el uso del N, mediante la eficiencia de utilización del N en los sistemas de alimentación.

# **CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO**

**LA PRODUCCIÓN ANIMAL ES UNA FUENTE IMPORTANTE DE  
EMISIÓN DE GASES CON EFECTO INVERNADERO (GEI)  
SE HA CALCULADO QUE LA CONTRIBUCIÓN  
DE LA GANADERÍA A LAS EMISIONES MUNDIALES  
DE LOS GEI ANTROPOGÉNICOS REPRESENTAN  
DEL 7 AL 8 % DE LAS EMISIONES TOTALES.**

**(VELARDE-GUILLÉN *ET AL.*, 2017)**

## CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO

### 1.1. Nitrógeno en el ambiente

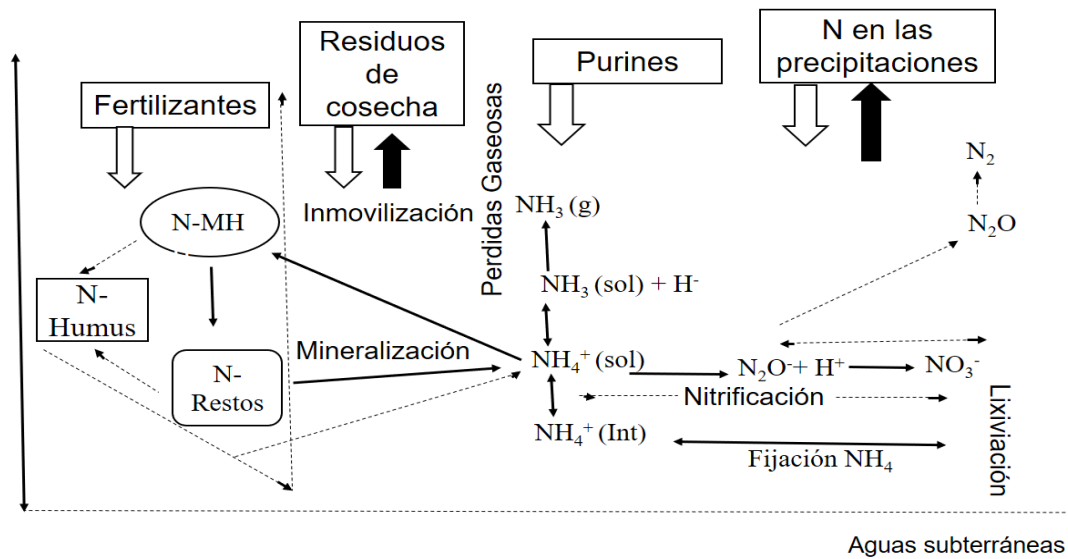
Se conoce como nitrógeno al elemento químico que se simboliza con la letra N, está presente en la atmósfera en forma molecular como N<sub>2</sub> formando las tres cuartas partes de ésta, por lo que es necesario para la vida. El N forma parte de los nucleótidos, compuestos orgánicos que forman a los ácidos nucleicos de las paredes celulares, la clorofila en los vegetales y los aminoácidos que constituyen las proteínas (Mohar, 2007; Pinos-Rodríguez *et al.*, 2012).

El ciclo del N en los organismos inicia en las plantas que no pueden usar el N en forma de gas, sino que se debe transformar en nitrato en el suelo, mediante un proceso que se llama fijación de N. Este proceso se lleva a cabo de forma continua dentro de los agroecosistemas. Es decir, los sitios de producción agropecuaria que funcionan como ecosistemas, en los que se pueden analizar los sistemas de producción de alimentos en su totalidad, donde se incluyen el conjunto de entradas, salidas y la interacción entre sus partes (Toshiyuki y Ryusuke, 2000).

Las plantas obtienen el N del suelo en forma de nitrato, algunos pueden usar directamente el N atmosférico por la intervención de bacterias fijadoras de N que están presentes en raíces y suelo (Carlsson y Huss, 2003). Estas bacterias segregan nitrogenasa enzima que separa los átomos de N convirtiéndolos en dos átomos de N<sub>1</sub> que buscan unirse con tres átomos de hidrógeno formando amoníaco y luego amonio, posteriormente estas bacterias nitrificantes procesan el amonio para obtener nitrito y finalmente nitrato que es asimilable por las plantas (Mohar, 2007).

Los animales heterotróficos usan las proteínas y devuelven el N al sistema generalmente en forma de amoníaco. Posteriormente los microorganismos oxidan el amonio a nitritos y luego a nitratos para que puedan ser usado nuevamente por las plantas. Una parte del N que no se asimila por la planta o no se encuentra disponible, se lixivia o se volatiliza alcanzando a las aguas subterráneas, superficiales o a la atmósfera, incorporándose al suelo con la lluvia y descargas eléctricas como se observa en la figura1 (Mohar, 2007).

**Figura 1. Flujo de nitrógeno en sistemas de producción ganaderos.**



**Fuente: Adaptado de Mohar, (2007).**

### 1.1.1. Flujo de nitrógeno en los sistemas ganaderos

El flujo de N en los sistemas de producción ganadero depende del equilibrio entre las entradas y salidas de N. Las entradas de N más comunes son suplementos alimenticios, fertilizantes químicos, forrajes no cultivados en los SP y la adquisición de nuevos animales, mientras que las salidas, son los productos final leche y carne, aunque en los países desarrollados se exportan forrajes y estiércol excedente (Jiménez-Castro y Elizondo-Salazar, 2014).

El resto del N (N en el estiércol, N en la orina, N lixiviado o volatizado) se mueve dentro del sistema donde una parte es asimilada por los animales, el suelo y las plantas. La otra parte conocida como N excedente se puede encontrar en diferentes formas químicas: amoníaco, amonio, nitrato, nitrito, determinado por la gestión de recursos de los diferentes sistemas (Ryan *et al.*, 2011).

Los sistemas ganaderos 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, los sistemas en los cuales las salidas son mayores que las entradas representan un sistema de producción potencialmente sustentable (Elizondo-Salazar, 2006)

Debido a la transformación continua y natural del N en el ambiente, se han establecido mecanismos y desarrollado proporciones para estimar su consumo y utilización a través

del tiempo, los cuales se usan actualmente para la realización de balances de N (Jiménez-Castro y Elizondo-Salazar, 2014). En sistemas de producción ganadero se conocen los siguientes supuestos:

1. De todo el N suministrado al cultivo, sólo el 30 % es asimilado por las plantas, mientras que el resto se pierde por volatilización, desnitrificación o lixiviación (Cárdenas y Panizo, 2005).
2. De la pastura disponible, los bovinos consumen el 30 % del forraje, dependiendo de la calidad del pasto y el número de animales por superficie de tierra (Jiménez-Castro y Elizondo-Salazar, 2014).
3. Los bovinos retienen sólo una parte del N que consumen, siendo del 5 al 10% en bovinos para carne y del 15 al 35 % para razas lecheras, los excedentes de N vuelven al medio a través de las excretas (Powell *et al.*, 2010).
4. Del N consumido por los bovinos, un 2 % se usa para deposición de músculo y para la producción de leche entre 2 y 2.5 % (Cárdenas y Panizo, 2005).
5. El pasto que no fue consumido en potrero emplea el 50 % de N retenido para la generación de tejidos nuevos y crecimiento (Van der Meer, 1996).
6. Un máximo del 40 % del N del pasto no consumida por los animales se transforma en hojarasca, la cual lo devolverá nuevamente al suelo.
7. Las leguminosas forrajeras fijan cerca del 90 % de sus requerimientos nitrogenados, mientras el 10 % faltante lo toman del suelo (Peoples *et al.*, 1995).

Estos balances, aplicados en ganaderías bovinas, se ven modificados según los organismos que intervengan; el flujo de N, al igual que la velocidad relativa de entradas y salidas del mismo, cambiarán de acuerdo al tipo de sistema productivo.

## **1.2. Efectos de la ganadería en el ambiente**

La ganadería es una actividad o rama económica del sector agropecuario que consiste en la cría del ganado (SAGARPA, 2011). Es uno de los sectores con repercusiones más graves en los principales problemas ambientales a todos los niveles. Desde el ámbito local hasta el mundial (Schils *et al.*, 2006). La ganadería genera el 18 % de los GEI de origen antropogénico, contribuyendo con el 9 % CO<sub>2</sub>, 37 % CH<sub>4</sub> y 65 % de N<sub>2</sub>O a nivel internacional (FAO, 2009).

Por su parte la lechería emite el 4 % de los GEI antropogénicos, donde el 2.7 % se emite directamente de la producción de leche y el 1.3 % restante de actividades relacionadas a este proceso. De acuerdo a la FAO, (2010b), la lechería produce 2.4 kg CO<sub>2</sub>eq/kg de leche a nivel mundial, mientras que regionalmente este dato varía de 1.3 a 7.5 kg CO<sub>2</sub>eq/kg de leche. Estos resultados indican que en el mundo la ganadería produce más GEI que kg de leche, influenciado principalmente por los sistemas de manejo de alimentos que se le ofrece al ganado.

### **1.3. Alimentación del ganado (relación nitrógeno-ambiente)**

La clave para la eficiencia en el uso del N en sistemas de producción ganadero radica fundamentalmente en la alimentación (Powell *et al.*, 2011). Un uso eficiente de los componentes de la dieta, donde se controle el consumo de proteína reduce la entrada de N y por ende la excreción de este en la orina y estiércol. De esta forma se minimizan las pérdidas en suelo, agua y aire (Nousiainen *et al.*, 2004), lográndose un equilibrio entre consumo y producción de N (Pardo *et al.*, 2008; Shindo *et al.*, 2009).

Estudios realizados por Ryan *et al.*, (2011), demuestran que un aumento del 18 % al 22 % de proteína cruda contenido en la dieta resultó un incremento del 30 % del N excretado, del cual más del 70 % se deposita en el suelo a través de la orina. En cambio, Powell *et al.*, (2011), refieren que cuando la proteína cruda de la dieta varía entre 135 a 194 g de PC/kg de MS, el N se incrementa entre un 55 a 82 % en la excreción urinaria total. Se considera que las vacas lecheras excretan entre el 75 al 80 % del N que consumen.

El N que entra al organismo se metaboliza en el rumen, donde una parte es utilizada por la flora ruminal y la otra es transformada en amoníaco y este a urea en el hígado. Excretándose en forma de N ureico, este N ureico al llegar al suelo es rápidamente asimilado por los microorganismos y convertido en amoníaco (Benchaar *et al.*, 2014).

El sistema tecnológico de alimentación empleado para la cría de animales en producción de leche es de vital importancia. Se ha documentado que durante el pastoreo las emisiones de CH<sub>4</sub> que se producen se reducen (Aguirre-Villegas *et al.*, 2014). Por otro lado, los factores de emisión de N<sub>2</sub>O para el estiércol depositado en los pastizales se han citado para duplicar los del estiércol que se aplica a la tierra después del almacenamiento (IPCC, 2006; Lesschen *et al.*, 2011).

Los estudios que compararon estos sistemas bajo condiciones similares encontraron que los sistemas basados en pasturas resultaron en mayores emisiones de GEI (Capper et al., 2008, 2009; de Léis *et al.*, 2015). Un estudio de Belflower *et al.* (2012) estimaron mayores emisiones de GEI de sistemas de alimentación en confinados, pero también estimaron una mayor producción de leche, lo que sugiere que los sistemas de pastos podrían beneficiarse de las dietas que aumentan la producción de leche. Uno de los principales desafíos de los sistemas de pastoreo es la menor producción de leche que logran en comparación con los sistemas confinados especializados (Powell *et al.*, 2013; Stott y Gourley, 2016).

La producción de leche de las vacas en pastoreo suele ser más baja que la de las vacas alimentadas con granos porque los pastos tienen un contenido de proteínas de menor energía cuando se comparan las mismas cantidades de alimento (NRC, 2001). Dado que las vacas solo pueden comer una cierta cantidad de pasto para obtener su ingesta diaria de energía, una práctica común para aumentar la producción de leche es complementar las raciones con otros alimentos como maíz, ensilado y concentrados comerciales (Belflower *et al.*, 2012).

Estos suplementos pueden aumentar las emisiones directas de GEI porque se necesitan recursos adicionales para su producción. Doole, (2014) evaluó los sistemas de pastoreo intensivo y extenso en Nueva Zelanda y descubrió que las estrategias que reducen el uso de insumos son rentables y reducen las emisiones de GEI. Las regiones con climas fríos tienen que adoptar cierto grado de confinamiento de animales y alimentación suplementaria porque las vacas no pueden pastar durante todo el año.

Los sistemas confinados requieren más recursos, como energía e infraestructura (por ejemplo, estructuras de almacenamiento de estiércol y equipos de recolección) a diferencia de los sistemas de pastoreo. Razón por la cual los impactos ambientales adicionales están asociados con el uso de estos recursos (Doole, 2014).

#### **1.4. Manejo de purines (relación nitrógeno-ambiente)**

La aplicación de purín (mezcla de estiércol, orina y residuos de alimentos) procedentes de la ganadería es esencial para mantener la fertilidad del suelo en relación a concentraciones de: C, N, P y K; sin embargo, es necesario mantener un correcto control de este (Mishima *et al.*, 2012). La excreción excesiva de nutrientes en el purín y el N

contenido en éste, representan ineficiencias en los SA que aumentan los costos económicos reflejados en la compra o producción de alimentos (Arriaga *et al.*, 2010).

El uso excesivo de purín como fertilizante, trae consigo diversos daños ambientales y para la salud tanto de los humanos como de los animales. Los impactos potenciales más importantes incluyen:

- Eutroficación de las aguas superficiales (con deterioro de la calidad del agua, crecimiento de algas) debido a la entrada de sustancias orgánicas y de nutrientes cuando las excreciones o las aguas de desecho de la producción ganadera llegan a los cuerpos de agua a través de las descargas, de la escorrentía, o del rebosamiento de las lagunas.
- Lixiviación de nitratos y posible transferencia de patógenos a las aguas subterráneas desde las instalaciones donde se almacena el estiércol o desde los campos donde se han aplicado altas dosis de estiércol.
- Acumulación de nutrientes en el suelo si se aplican altas dosis de estiércol que pueden amenazar la fertilidad del terreno.
- Degradación de las áreas naturales, como humedales y manglares.
- Emisiones de GEI en la forma de CH<sub>4</sub> y de N<sub>2</sub>O (emisiones directas e indirectas).

En la producción animal la acumulación del estiércol requiere un manejo adecuado, el cual incluye la recolección del sitio en que se produce, el almacenamiento, los procesos de tratamiento y disposición de forma amigable con el ambiente interviniendo en sus procesos de descomposición (Colombini *et al.*, 2012; Mishima *et al.*, 2012).

#### **1.4.1. Descomposición del purín**

La descomposición es un proceso mediado por microorganismos que conduce a la degradación o mineralización de compuestos orgánicos en el purín. Cuando el estiércol se excreta del sistema digestivo de los rumiantes se encuentra en condiciones anaerobias. Este al expulsarse al exterior se expone al oxígeno y a otros agentes químicos que conducen instantáneamente a la descomposición de los compuestos orgánicos existentes en el estiércol (Deans *et al.*, 1986).

Los microorganismos que viven en la materia orgánica utilizan el carbono disponible como fuente de energía y respiran CO<sub>2</sub>. Durante los procesos de descomposición, cada subgrupo se descompone de forma independiente, como un proceso mediado por



microorganismos, la velocidad de descomposición está sujeta a la temperatura y la humedad (El-Haris *et al.*, 1983; Deans *et al.*, 1986).

La mayor parte de las emisiones de CH<sub>4</sub> provenientes de la descomposición del purín se producen bajo condiciones anaeróbicas durante el almacenamiento y es muy poca la emisión después de la aplicación en el suelo. El purín depositado por los rumiantes durante el pastoreo al encontrarse en condiciones aeróbicas no produce cantidades de CH<sub>4</sub> significativas (Stevens y Laughlin, 1998).

El purín contiene casi todos los elementos necesarios para estimular los procesos de nitrificación y desnitrificación en el suelo que generan la formación de N<sub>2</sub>O. Estos procesos son transitorios dependiendo de la cantidad y la forma de N disponible (NH<sub>4</sub><sup>+</sup> o NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), del potencial de óxido-reducción, de las fuentes de carbono degradable y de la población microbiana. Como resultado, la producción de N<sub>2</sub>O proveniente del suelo o el estiércol almacenado es muy variable y difícil de medir (Arriaga *et al.*, 2010).

El óxido nitroso se produce directamente en los pastizales y tierras de cultivos que contienen estiércol mediante la nitrificación microbiana en condiciones aeróbicas y la desnitrificación parcial en condiciones anaeróbicas, siendo el proceso de desnitrificación el que generalmente produce mayores cantidades de N<sub>2</sub>O (EPA, 2010).

Los organismos desnitrificantes pueden reducir el N<sub>2</sub>O en N<sub>2</sub> a cantidades que dependen de las condiciones del suelo. El óxido nitroso también se puede producir indirectamente cuando se pierde N del estiércol a través de la volatilización como NH<sub>3</sub>, óxido nítrico y dióxido de nitrógeno o cuando se escapa con la escorrentía, se lixivia, se nitrifica y desnitrifica en el suelo (EPA, 2010).

#### **1.4.2. Efecto del purín en al ambiente**

El estiércol contribuye con 50 % del total de emisiones de amoníaco hacia la atmósfera, porque su tasa de volatilización es 23 veces más potente que el CO<sub>2</sub>, mientras que para el óxido nitroso es de 296 (Banr y Best. 2003). El estiércol aporta cerca del 25 % de las emisiones antropogénicas de óxido nitroso (IPCC, 2006), el cual se genera durante los procesos de nitrificación (oxidación biológica de amonio a nitrito y nitrato) y desnitrificación (reducción de nitrato a N gaseoso), donde el intermediario es el óxido nitroso (Stevens y Laughlin. 1998). México contribuye con el 0.7 % de emisiones de este gas por actividades pecuarias.

El N que llega al suelo por la aplicación de purines o fertilizantes sintéticos se encuentra en dos formas diferentes, N orgánico y N inorgánico. De las cuales solo el N inorgánico se encuentra disponible para la nutrición de las plantas y el N orgánico debe ser transformado a inorgánico para ser asimilado por las plantas. En este proceso de anabolismo y catabolismo se pierde una gran parte del N del suelo, esto en gran medida se debe a la remoción del suelo para el cultivo de forrajes y a la lixiviación bajo ciertas condiciones de humedad, temperatura y pH (Arriaga *et al.*, 2010).

Desde el punto de vista agrícola y del ambiente, lo deseable sería que el N proveniente del purín agregado al suelo fuera finalmente absorbido por las plantas. Sin embargo, esta forma de N mineral puede también perderse del sistema suelo-planta. Los tres procesos de pérdida más importantes son la desnitrificación, la lixiviación y la volatilización (Arriaga *et al.*, 2010).

### **1.5. Emisiones de gases con efecto invernadero y la producción ganadera**

Los GEI son aquellos que absorben la temperatura en la atmósfera, atrapando el calor y calentando la superficie de la tierra. Sin lugar a dudas, el sector pecuario representa una fuente significativa de emisiones de GEI en todo el mundo, al generar dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) y óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) a lo largo del proceso productivo. El ganado contribuye con el cambio climático al emitir GEI, bien sea directamente (a través de la fermentación entérica o el estiércol) o indirectamente (por las actividades desarrolladas durante la producción de concentrados comerciales y la conversión de bosques en pastizales). Se ha calculado, con base en el análisis del ciclo de vida que el sector pecuario emite aproximadamente 7.1 Gt de CO<sub>2</sub>-eq/año, o cerca del 18 % del total de las emisiones de los GEI antrópogénicas (Denman *et al.*, 2007; Montes *et al.*, 2013).

De acuerdo con los datos de la EPA (2006), el total de las emisiones de los GEI, distintas al CO<sub>2</sub>, provenientes directamente del ganado, ascienden a 3 740 y 4 277 Mt CO<sub>2</sub>-eq/año para los años 2010 y 2020 respectivamente. Al proyectar los datos del IPCC (IPCC, 2007) para el 2010 y el 2020 (una relación lineal  $r^2 = 0,98$ ). Según el informe de la EPA (2006), las emisiones directas procedentes de la ganadería, diferentes al CO<sub>2</sub>, contribuyen aproximadamente con el 7.3 y el 7.5 % de las emisiones globales de los GEI en 2010 y 2020, respectivamente.

Según las estimaciones para los Estados Unidos de América (EPA, 2011), la ganadería representó alrededor del 3.1 % de la emisión total de los GEI en 2009, pero fue el

segundo mayor emisor de CH<sub>4</sub>, con el 28 % del total de las emisiones y el estiércol animal fue la tercera mayor fuente de N<sub>2</sub>O (6 % de las emisiones totales). Ambos gases son potentes GEI con un potencial de calentamiento global (PCG) de 25 y 298 CO<sub>2</sub>-eq (Solomon *et al.*, 2007).

En los sistemas de producción basados en pastoreo en países con un gran sector agrícola como Argentina y Nueva Zelanda, la contribución del ganado a las emisiones de los GEI es notablemente mayor (Leslie *et al.*, 2008; O'Mara, 2011). Los principales procesos que contribuyen a las emisiones directas de los GEI, diferentes al CO<sub>2</sub>, provenientes del ganado son: la fermentación entérica y la descomposición del estiércol. Estos procesos constituyen la fuente principal de CH<sub>4</sub> y de N<sub>2</sub>O en los sistemas de producción animal.

El CO<sub>2</sub> en comparación con CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O se recicla en las mayores cantidades a través de sistemas agrícolas de cultivo. Las plantas emplean grandes cantidades de CO<sub>2</sub> a través de la fotosíntesis, por lo que las emisiones netas de CO<sub>2</sub> son pequeñas en comparación con su ciclo total en la agricultura y se debe principalmente al uso de energía en el SPL, en la fabricación y el transporte de productos agrícolas (Denman *et al.*, 2007).

### **1.5.1. Metano (CH<sub>4</sub>) y producción ganadera**

El metano es un fuerte GEI y juega un papel importante en la determinación de la capacidad de oxidación de la troposfera. La carga atmosférica de metano a finales de la década de los años 90's era de 4800 x 10<sup>12</sup> g, más de dos veces la cantidad presente durante la era preindustrial. Esta duplicación en la carga atmosférica del metano ha contribuido en aproximadamente un 20 % del forzamiento radiactivo directo debido a emisiones antropogénicas de GEI directos. El metano es removido de la atmósfera por reacción con radicales hidroxilo (OH) convirtiéndose finalmente en CO<sub>2</sub> (González *et al.*, 2006).

La producción de CH<sub>4</sub> proviene fundamentalmente de la fermentación entérica. Producida por la descomposición microbiana de hidratos de carbono hidrolizados con la celulosa, hemicelulosa, pectina y almidón. La energía para el crecimiento microbiano a partir de la materia orgánica en ambientes anaerobios se deriva de la oxidación del sustrato que implica la transformación de electrones aceptores distintos al oxígeno derivados de la materia orgánica (Velthaf *et al.*, 2014).

Las bacterias metanogénicas utilizan diferentes sustratos para la producción de metano, pero los principales son H<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>. La eliminación de estos gases, principalmente del H<sub>2</sub> implica la remoción de un factor implicado en la estabilidad del pH ruminal siendo éste esencial para una óptima fermentación (Carmona, 2005).

El efecto de las emisiones de metano por fermentación intestinal de los rumiantes es bastante grande a nivel global y se estima que esta fuente produce hasta el 37 % del metano presente en la atmósfera. La producción de gases en el intestino del rumiante es tan potente, que se estima que cada vaca produce 90 kilos de metano al año, lo que equivale, en términos energéticos, a 120 litros de gasolina (Carmona, 2005).

### **1.5.2. Óxido Nitroso (N<sub>2</sub>O) y producción ganadera**

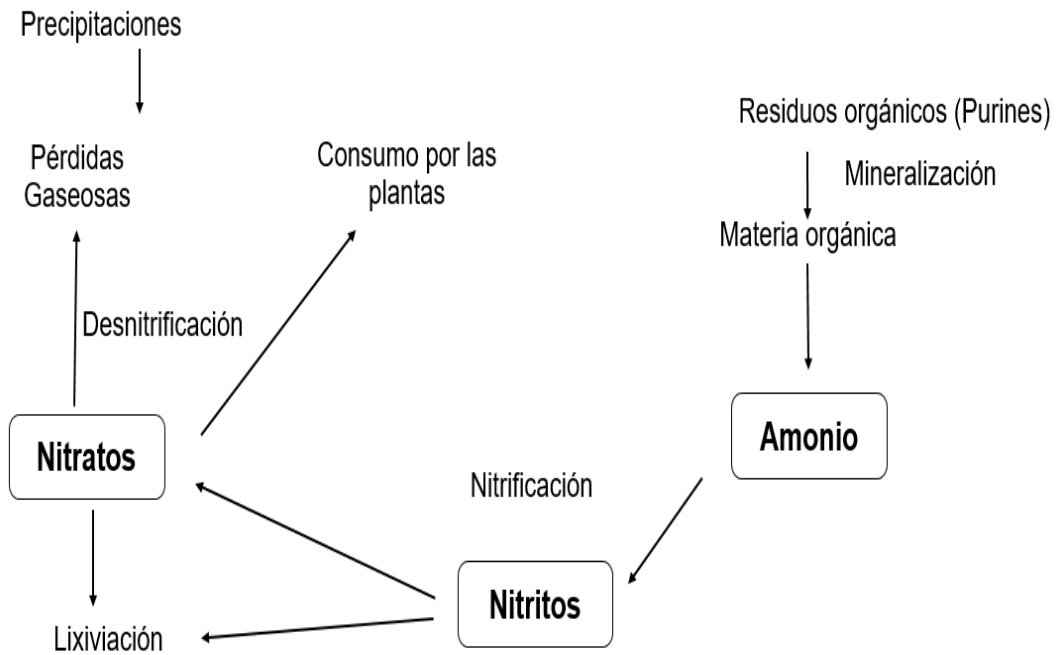
El óxido nitroso, cuyas fuentes son de carácter natural y antropogénico, contribuye con cerca del 6 % al efecto invernadero. Sus fuentes incluyen los océanos, la quema de combustibles fósiles, la biomasa y la agricultura. El óxido nitroso es inerte en la troposfera, su principal sumidero es a través de las reacciones fotoquímicas en la estratosfera que afectan la abundancia de ozono estratosférico (Garzón y Cárdenas, 2013).

Las concentraciones de óxido nitroso en el ambiente se han incrementado desde la época pre-industrial hasta la actualidad, pasando de 270 a 315 ppb en el 2007. Una molécula de este gas tiene un potencial de calentamiento de 298 veces que una de dióxido de carbono en un periodo de 100 años (Solomon *et al.*, 2007). Se ha estimado que alrededor de 1.5 teragramos<sup>4</sup> de nitrógeno son inyectados directamente a la atmósfera cada año bajo la forma de óxido nitroso, en donde las aplicaciones de fertilizantes a ecosistemas agrícolas (sin tener en cuenta abonos animales ni fijación biológica de nitrógeno) representa un 15.8 % de estas emisiones (Ciampitti *et al.*, 2005).

La fuente más importante de óxido nitroso son las emisiones generadas por suelos agrícolas y en menor grado por el consumo de combustibles fósiles para generar energía y las emitidas por descomposición de proteínas de aguas residuales domésticas. Las emisiones de óxido nitroso generadas por los suelos agrícolas se deben principalmente al proceso microbiológico de la nitrificación y desnitrificación del suelo. Se pueden distinguir tres tipos de emisiones: las directas desde el suelo, las directas de óxido nitroso del suelo debido a la producción animal (pastoreo) y las indirectas generadas por el uso de fertilizantes (Garzón y Cárdenas, 2013).

La formación  $N_2O$  en los sistemas agrícolas y ganaderos inicia en el proceso de descomposición de la materia orgánica del suelo, en el cual se libera N inorgánico nombrado mineralización. Que no es más que la transformación del N orgánico en N mineral, produciendo fundamentalmente nitrato y amonio (Ciampitti *et al.*, 2005).

**Figura 2. Formación de Gases con Efecto Invernadero.**



**Fuente: Adaptado de Mohar, (2007).**

Posteriormente, por medio de la nitrificación este amonio en presencia de oxígeno se oxida produciendo nitratos y nitritos, donde el  $N_2O$  es un subproducto de este proceso. Subsiguientemente a través de la desnitrificación los nitratos se reducen a nitritos y estos a  $N_2O$  (Soussana *et al.*, 2010). Estas pérdidas gaseosas llegan a la atmósfera y posteriormente pueden ser incorporadas al suelo por medio de las precipitaciones o la fijación biológica (Figura 2).

# **CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS**

**EL CAMBIO CLIMÁTICO ES GLOBAL POR LO QUE LAS SOLUCIONES  
TAMBIÉN TIENEN QUE SERLO. LA CONVENCION MARCO DE CAMBIO CLIMÁTICO  
Y EL PROTOCOLO DE KYOTO FUERON LOS PRIMEROS PASOS,  
AUNQUE EN LA ACTUALIDAD SE CONSIDERAN INSUFICIENTES,  
FRENTE A LA GRAVEDAD DEL PROBLEMA.**

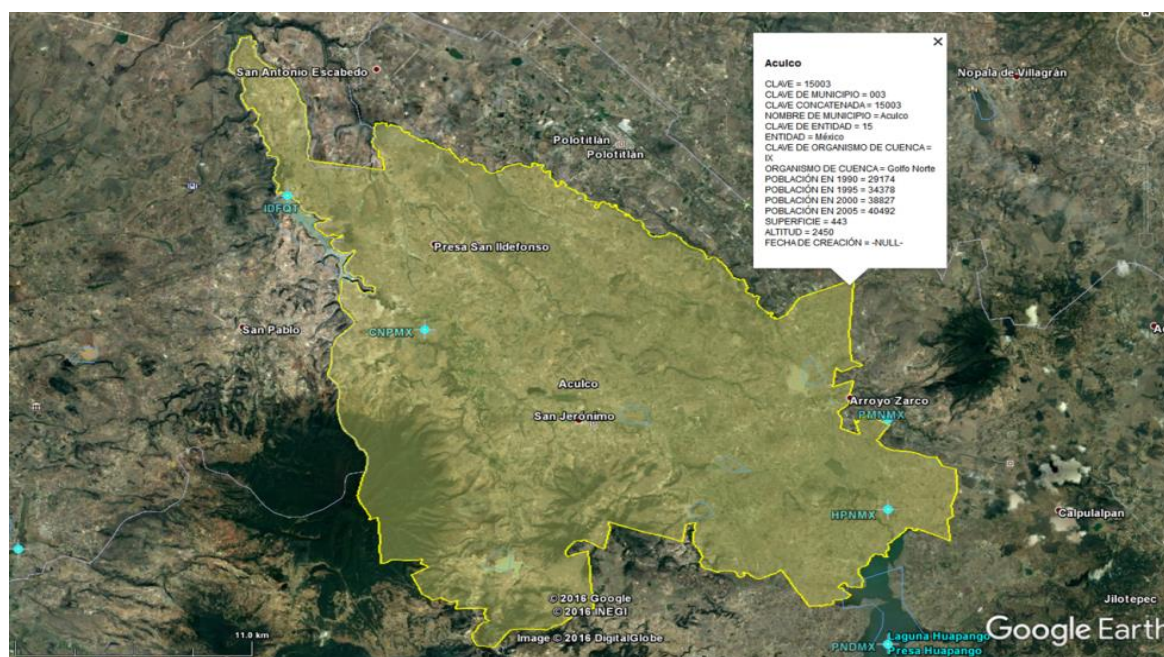
**(TREACY *ET AL.*, 2008)**

## CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. Características ambientales de la zona de estudio

El estudio se llevó a cabo en el municipio de Aculco perteneciente al Estado de México, situado entre los paralelos 20° 00' y 20° 17' de latitud norte; los meridianos 99° 40' y 100° 00' de longitud oeste, a una altitud de 2450 msnm (Figura 3). Colinda al norte con el estado de Querétaro y el municipio de Polotitlán; al este con los municipios de Polotitlán, Jilotepec y Timilpan; al sur con los municipios de Timilpan y Acambay; al oeste con el municipio de Acambay y el estado de Querétaro. Ocupa el 2.03 % de la superficie del estado. Cuenta con 60 localidades y una población total de 40 492 habitantes, el clima es templado sub-húmedo con lluvias en verano (mayo a octubre) y humedad media (57.07 %). Las temperaturas medias anuales oscilan entre 10 a 18 °C y las precipitaciones entre 700 a 1000 mm (INEGI, 2009).

**Figura 3. Mapa satelital de la zona de estudio (Aculco).**



*Fuente: Mapas de Aculco Google Earth 2018.*

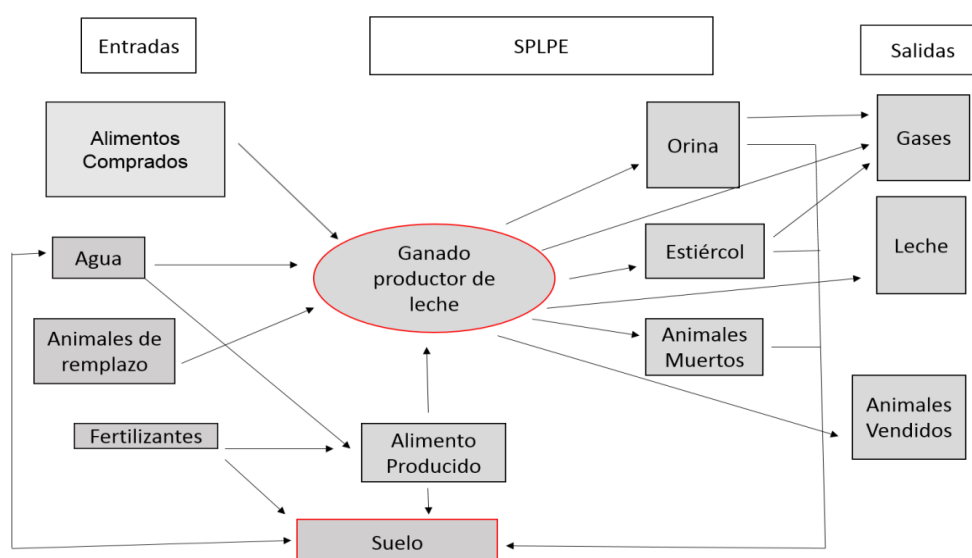
### 2.2. Caracterización de los sistemas de producción de leche en pequeña escala

En esta investigación se evaluaron 12 hatos lecheros, en su mayoría contaron con ganado Holstein, proveniente de múltiples cruces con ganado criollo; mientras que otros tienen cruces Brown Swiss y Jersey mejorados en menor medida. Estos SPL contaron

con dos SA distintos. Seis hatos siguen la estrategia de alimentación convencional basada en corte y acarreo de praderas y seis hatos que han implementado el pastoreo como transferencia tecnológica. El estudio se efectuó de mayo de 2016 a abril de 2017, obteniendo información de forma estacional y anual para cada una de los SPL.

Se cuantificaron todas las entradas y salidas de N con un costo económico que ingresaron a través de las puertas del hato. Se excluyeron las actividades no agrícolas, como las deposiciones atmosféricas, fijación biológica, lixiviación, proceso de nitrificación y desnitrificación. Considerando a los hatos como una caja negra (Treacy *et al.*, 2008; Mu *et al.*, 2016).

**Figura 4. Factores involucrados en las entradas y salidas de N en los sistemas de producción de leche en pequeña escala.**



*Fuente: Elaboración propia.*

Se aplicó una entrevista estructurada (Fadul-Pacheco *et al.*, 2013; Prospero-Bernal *et al.*, 2017) al jefe de cada SPL en visitas mensuales para recopilar información sobre los diversos componentes de la gestión de N. Como producción de leche por vaca, número de vacas, superficie dedicada a la producción animal, así como datos con respecto a las entradas, salidas y movimiento de N. Los datos recolectados se verificaron mediante observación directa, registrándolos por escrito para ser analizados posteriormente (Bassanino *et al.*, 2007; Haas *et al.*, 2007).



### 2.3. Determinación del balance de N en los sistemas de producción de leche

El balance de N se obtuvo a partir de la diferencia entre las entradas y salidas de N (Ecuación 1) (Sassenrath *et al.*, 2013; Bengtsson *et al.*, 2016):

$$\text{Balance de nitrógeno} = (\Sigma \text{Entradas}) - (\Sigma \text{Salidas}) \quad (\text{Ecuación 1})$$

#### 2.3.1. Determinación de las entradas de N en los sistemas de producción

Las entradas de N a los SA se establecieron teniendo en cuenta los datos recolectados en las entrevistas, para el periodo evaluado los reportes de entradas de N solo obedecieron a compra de alimentos y fertilizantes, los cuales se describen a continuación.

Para determinar el contenido de N del alimento comprado, se tomaron muestras de cada uno de los diferentes alimentos comprados y se trasladaron al laboratorio del Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales (ICAR) de la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM) donde fueron procesadas por el método Kendal (NMX-F-068-S-1980).

Las entradas por concepto de fertilizante se estimaron considerando los datos de entrada de fertilizantes convirtiéndolos a kg totales y este corregido por el porcentaje de N según la fórmula química del tipo de fertilizante empleado en casa SPL (Jiménez-Castro *et al.*, 2014).

#### 2.3.2. Determinación de las salidas de N en los sistemas de producción de leche

Las salidas de N a los SA se establecieron teniendo en cuenta los datos recolectados en las entrevistas, para el periodo evaluado. Los reportes de salidas de N solo obedecieron a ventas de leche y animales, los cuales se describen a continuación.

Para cuantificar la cantidad de N que sale de los SA como leche, se tomaron muestras de leche individuales de cada animal en producción de leche, cada tres meses. Se determinó la composición química de la leche empleando la prueba rápida de campo mediante un analizador de leche Ekomilk-R (Alfonso-Ávila *et al.*, 2012). Para convertir el porcentaje de proteína en g de proteína/kg de leche, se aplicó la siguiente ecuación:

$$PC \text{ (g/kg)} = \% PC \times 10 \times \text{densidad} \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde

PC (g/kg) = Proteína cruda de la leche en gramos por kilogramos.

% PC= Porcentaje de proteína cruda de la leche.

Densidad= Densidad de la leche.

Para convertirlo en kg de N/kg de leche se dividió entre 1000 y esto entre el factor 6.38 para obtener el contenido de kg N/kg de leche/vaca/día según la Norma Oficial Mexicana (NOM-155-SCFI-2003).

$$kg N = \frac{PC (g/kg)}{1000} / 6.38 \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde

Kg N = kilogramos de N por kilogramos de leche.

PC (g/kg) = Proteína cruda de la leche en gramos por kilogramos.

1000= Factor de conversión de gramos a kilogramos.

6.38= Factor de conversión de proteína a N en leche.

La estimación de N de las ventas de terneros y vacas se obtuvo pesando los animales y multiplicando el peso vivo por los factores 0.029 y 0.024 kg de N por kg de peso vivo, respectivamente (Ryan *et al.*, 2011).

#### **2.4. Determinación de las entradas de N en los animales**

Para determinar la cantidad de N ingerido por las vacas se pesaron los alimentos ofrecidos y en el caso de los SA en pastoreo el consumo de pasto se consideró por diferencia de consumo de materia seca, tomando como indicador de consumo del 3.2 % de su peso vivo (Barros *et al.*, 20017).

En el caso del pasto se tomó una muestra compuesta en cada SA cada tres meses. Para ello se recolectó la muestra mediante la técnica de pastoreo simulado, se mezcló de forma homogénea y se colocó en una bolsa previamente identificada. Estas muestras se trasladaron al laboratorio del Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales (ICAR) de la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM) donde fueron analizadas para N total como se describe en párrafos previos.

## 2.5. Determinación de las salidas de N en los animales

El N que sale de los animales es en los coproductos leche, animales vendidos y purín. En el caso de la leche se procedió como se describe en párrafos previos y para la determinación de N en el purín se procedió como se describe a continuación.

El N por venta de animales se asignó de acuerdo al contenido esperado de proteína como peso vivo de los animales, de acuerdo al peso y estado fisiológico de cada animal en particular (NRC, 2003). Así, el contenido de N en purines fue el resultado del balance entre el N total ingresado a cada SA, menos el N que salió mediante la producción de leche y venta de animales (O'Brien *et al.*, 2015).

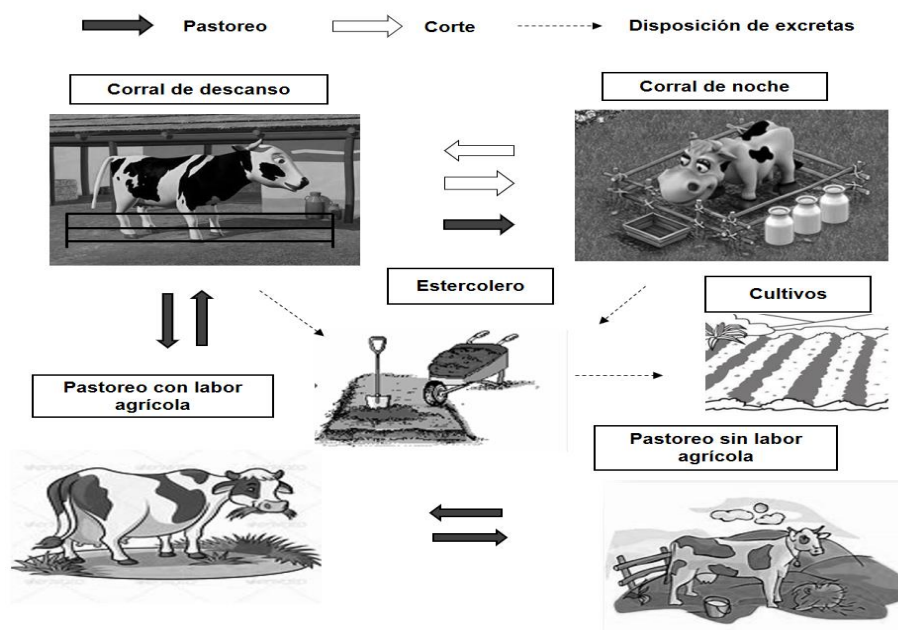
Para determinar el flujo de N en el manejo de purines se caracterizó el procedimiento que cada hato realizó para el almacenamiento, el tratamiento y la disposición de los purines generados durante el periodo de evaluación.

El lugar de deposición del purín varía de acuerdo al SA. En los SA en corte, las vacas en producción al igual que su progenie depositan el 100 % del purín en los corrales donde permanecen estabuladas todo el tiempo, lugar donde se efectúa el ordeño dos veces al día (Figura 5), los cuales puede ser con piso de concreto o tierra.

Por su parte en los sistemas de alimentación en pastoreo, las vacas en producción de leche, permanecen entre el 50 % y el 67 % del tiempo en corrales, donde se efectúa el ordeño y permanecen durante la noche, estos pueden ser con piso de tierra o concreto. De los seis sistemas de alimentación en pastoreo el 33 % reportaron un corral de descanso donde los animales permanecen el 17 % del tiempo. El pastoreo se efectuó por un periodo de 8 horas al día aproximadamente representando el 33 % del tiempo ya sean pastos nativos (sin labores agrícolas) o mixtos (con labores agrícolas). Mientras que los terneros y los animales en desarrollo permanecen el 60 % del tiempo en los corrales y el 40 % en el pastoreo. Por su parte las vaquillas el 67 % del tiempo lo pasan estabuladas y el 33 % restante en pastoreo.

La colección de los purines para ambos casos fue similar, se colectan de forma manual con pala y se transportan en carretillas a un estercolero donde se almacena por un periodo de 180 días aproximadamente, para posteriormente ser empleados como abono orgánico (Figura 5).

**Figura 5. Deposición y manejo de purines en los sistemas de alimentación.**



*Fuente: Elaboración propia.*

## 2.6. Estimación de las emisiones de gases con efecto invernadero

Los GEI se estimaron de acuerdo al nivel 2 de los lineamientos del IPCC, (2006) mediante el uso de un modelo en Excel para analizar cada SA. El modelo fue construido aprovechando las bondades de automatización de cálculos de Excel, para obtener GEI caracterizando las emisiones de metano y óxidos nitrosos, así como los equivalentes en potencial de calentamiento global (PCG). Se emplearon ecuaciones lineales consecutivas y regresiones cuadráticas para considerar efectos locales sobre las emisiones esperadas durante el manejo de purines de acuerdo a los lineamientos de IPCC, (2006).

El modelo permitió ajustar los equivalentes de PCG para cada emisión y expresar genéricamente el PCG en kilogramos de dióxido de carbono equivalente (kg CO<sub>2</sub>-eq) por unidad de producto derivado en los PL. Los equivalentes de CO<sub>2</sub> usados fueron 298 para óxido nitroso y 23 para metano (IPCC. 2006). Debido a que en los SA se produce leche y animales en pie, el modelo asigna el total del PCG a la leche, a la venta de animales o a una unidad global de producción (leche + animales vendidos), en función del peso que tiene cada uno (leche o animales vendidos) en la producción total. La asignación del PCG de los SA se realiza en función del contenido de N en leche, animales vendidos o la suma de ambas.

Adicionalmente, para tener valores comparables entre hatos y contrastarlos con la literatura, la producción de leche se ajustó a grasa y proteína cruda (LCGP) (Arndt *et al.* 2015). El peso vivo de los animales vendidos en cada SA se ajustó para tener un contenido de PC 18.5 %. El ajuste de PC se hizo por doble regla de tres simples. Para la construcción de la unidad global de producción, el N de leche y de animales vendidos se convirtió a LCGP, de forma que el PCG se expresa en kg CO<sub>2</sub>-eq kg aj-LCGP.

$$LCGP = Leche (kg/día) \times [0.1226 \times grasa (\%) + 0.0776 \times proteína cruda (\%) + 0.2534]$$

**(Ecuación 4)**

## 2.7. Identificación de puntos críticos y de oportunidad en la utilización del N

Para establecer los puntos críticos y de oportunidades se determinó la eficiencia de utilización de N para cada hato de forma individual. El cálculo de estos índices permitió analizar la eficiencia individual de los SA indicando la proporción de nutrientes que salen de las unidades de producción con respecto al total de nutrientes que ingresan (Spears *et al.*, 2003, Ryan *et al.*, 2011).

$$EUN = \frac{\Sigma Salidas}{\Sigma Entradas} \quad \text{(Ecuación 5)}$$

Donde

EUN= Eficiencia de utilización del nitrógeno.

$\Sigma$  Salida= Sumatoria de las salidas de nitrógeno.

$\Sigma$  Entrada= Sumatoria de las entradas de nitrógeno.

## 2.8. Análisis estadístico

La comparación de los datos de los SA se realizó mediante análisis de varianza para entradas, salidas, balance y NUE con el siguiente modelo de parcelas divididas:

$$Y_{ijk} = \mu + F_i + s_j + E_{ij} + st_k + (s)(st)_{jk} + e_{ijk} \quad \text{(Ecuación 6)}$$

Y<sub>ijk</sub> = El valor de la variable dependiente.

$\mu$  = Media general.

F = Efecto de la repetición (Farm) i = 1, ..., 6.

s = Efecto de la temporada (parcela mayor)  $j = 1,2$ .

$E_{ij}$  = Error aleatorio de la parcela mayor.

st = Efecto de la estrategia de alimentación (parcela menor)  $k = 1,2$ .

(s) (st) = Interacción entre la temporada y la estrategia de alimentación

e = variación residual.

Para el balance de N por animal en producción y las emisiones de GEI se empleó el modelo matemático completamente al azar, como se describe a continuación:

$$Y_{ij} = \mu + t_i + E_{ij} \quad (\text{Ecuación 7})$$

$Y_{ij}$  = variable respuesta a la  $ij$  (unidad experimental).

$\mu$  = Efecto de la media general.

$t_i$  = Efecto de  $i$  (estrategia de alimentación).

$E_{ij}$  = Efecto del error experimental.

# **CAPÍTULO III: RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

**LOS BOVINOS PRODUCTORES DE LECHE TIENEN COMO CARACTERÍSTICA PROPIA DE SU METABOLISMO UNA BAJA EFICIENCIA PARA LA UTILIZACIÓN DE LOS NUTRIENTES PARTICULARMENTE DEL NITRÓGENO, SIENDO DEL 15 AL 35 %, LO QUE SIGNIFICA QUE ENTRE EL 65 Y EL 85 % DEL NITRÓGENO CONSUMIDO NO ES METABOLIZADO, EXCRETÁNDOSE FUNDAMENTALMENTE EN EL ESTIÉRCOL Y LA ORINA.**

**(POWELL *ET AL.*, 2010)**

### **CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Como resultados de esta investigación se presenta un artículo aceptado para ser publicado en la revista Salud y Producción Animal Tropical, Titulado: Eficiencia de la utilización del nitrógeno en sistemas de producción de leche en pequeña escala del Altiplano Central de México; que abarca la eficiencia de utilización y el balance de N en los sistemas de producción de leche por el periodo de un año dividido en dos etapas, época de lluvia y época de seca. Un segundo artículo enviado a la revista Agricultura y Sustentabilidad, el cual se titula: Flujos de nitrógeno y emisión de gases con efecto invernadero en sistemas de producción de leche en pequeña escala del Altiplano Central Mexicano, el cual recoge la utilización del N por los animales en producción de leche y su reemplazo, los gases con efecto invernadero provenientes del manejo de purines bajo sistemas de alimentación en corte y pastoreo. Por último, un capítulo de libro publicado por la Universidad de Chapingo en el libro Estudios Sociales y Económicos de la Producción Pecuaria, titulado: Balance de nitrógeno en sistemas de producción de leche en pequeña escala en el Altiplano Central Mexicano, que recoge los resultados previos del primer trimestre de la investigación.



### 3.1. Primera Publicación

## Tropical Animal Health and Production

### Efficiency of nitrogen utilisation in small-scale dairy systems in the highlands of central Mexico

--Manuscript Draft--

|                                                         |                                                                                                                                                                                                                                             |                                                         |                              |                                          |                      |
|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|------------------------------|------------------------------------------|----------------------|
| Manuscript Number:                                      |                                                                                                                                                                                                                                             |                                                         |                              |                                          |                      |
| Full Title:                                             | Efficiency of nitrogen utilisation in small-scale dairy systems in the highlands of central Mexico                                                                                                                                          |                                                         |                              |                                          |                      |
| Article Type:                                           | Regular Articles                                                                                                                                                                                                                            |                                                         |                              |                                          |                      |
| Keywords:                                               | Nitrogen balance; family dairy farming; Nitrogen remnants                                                                                                                                                                                   |                                                         |                              |                                          |                      |
| Corresponding Author:                                   | Carlos M. Arriaga-Jordan, Ph.D.<br>Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales (ICAR), Universidad Autónoma del Estado de México<br>Toluca, Estado de Mexico MEXICO                                                                       |                                                         |                              |                                          |                      |
| Corresponding Author Secondary Information:             |                                                                                                                                                                                                                                             |                                                         |                              |                                          |                      |
| Corresponding Author's Institution:                     | Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales (ICAR), Universidad Autónoma del Estado de México                                                                                                                                             |                                                         |                              |                                          |                      |
| Corresponding Author's Secondary Institution:           |                                                                                                                                                                                                                                             |                                                         |                              |                                          |                      |
| First Author:                                           | Dixan Pozo-Leyva, M.Sc.                                                                                                                                                                                                                     |                                                         |                              |                                          |                      |
| First Author Secondary Information:                     |                                                                                                                                                                                                                                             |                                                         |                              |                                          |                      |
| Order of Authors:                                       | Dixan Pozo-Leyva, M.Sc.<br>Felipe López-González, Dr.<br>Rafael Olea-Pérez, Ph.D.<br>Patricia Balderas-Hernández, Dr.<br>Carlos M. Arriaga-Jordan, Ph.D.                                                                                    |                                                         |                              |                                          |                      |
| Order of Authors Secondary Information:                 |                                                                                                                                                                                                                                             |                                                         |                              |                                          |                      |
| Funding Information:                                    | <table border="1"> <tr> <td>Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (129449 CB-09)</td> <td>Dr. Carlos M. Arriaga-Jordan</td> </tr> <tr> <td>Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología</td> <td>Mr. Dixan Pozo-Leyva</td> </tr> </table>    | Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (129449 CB-09) | Dr. Carlos M. Arriaga-Jordan | Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología | Mr. Dixan Pozo-Leyva |
| Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (129449 CB-09) | Dr. Carlos M. Arriaga-Jordan                                                                                                                                                                                                                |                                                         |                              |                                          |                      |
| Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología                | Mr. Dixan Pozo-Leyva                                                                                                                                                                                                                        |                                                         |                              |                                          |                      |
| Suggested Reviewers:                                    | Michel A. Wattiaux, Ph.D.<br>Professor, University of Wisconsin Madison<br>Wattiaux@wisc.edu<br>Prof. Wattiaux is an expert in dairy cow nutrition and Nitrogen utilisation in dairy systems; and knows small-scale dairy farming in Mexico |                                                         |                              |                                          |                      |
| Opposed Reviewers:                                      |                                                                                                                                                                                                                                             |                                                         |                              |                                          |                      |

## Efficiency of nitrogen utilisation in small-scale dairy systems in the highlands of central Mexico

Dixan Pozo-Leyva<sup>1</sup>, Felipe López-González<sup>1</sup>, Rafael Olea-Pérez<sup>2</sup>, Patricia Balderas-Hernández<sup>3</sup> and Carlos Manuel Arriaga-Jordán<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales (ICAR), Universidad Autónoma del Estado de México, Campus UAEM El Cerrillo, El Cerrillo Piedras Blancas, 50090 Toluca, Estado de México, México

<sup>2</sup> Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México, Av. Universidad # 3000, 04510 Coyoacán, CDMX, México

<sup>3</sup> Centro Conjunto de Investigación en Química Sustentable (CCIQS) UAEM-UNAM, Universidad Autónoma del Estado de México, Carretera Toluca-Atzacmulco, km 14.5, 50200 Toluca, México.

### Abstract

Nitrogen (N) plays an important role in small-scale dairy systems, both in production costs and as indicator of environmental impact. The objective was to quantify nitrogen inputs and outputs to identify areas for improvement. Evaluation was in 12 small-scale dairy farms with different feeding strategies. Six followed the traditional cut and carry of irrigated temperate pastures (CUT), and six have implemented grazing of pastures (GRZ), quantifying N inputs and outputs from May 2016 to April 2017. ANOVA analyses were in the rainy and the dry seasons, with results in kg N/ha and kg N/cow, following a split-plot model with season as main plots and feeding strategy as split-plots. There were differences ( $P < 0.05$ ) between seasons and strategies for variables like N fertilizer and feed inputs, showing different inputs and outputs whether in CUT or GRZ strategies. There were also significant interactions between seasons and strategies as in the sale of animals, where GRZ sell throughout the year while CUT sell at the beginning of the dry season. N balance ranged from 33.9 to 183.0 kg N/ha, and 37.8 to 111.0 as kg N/cow with an interaction ( $P < 0.05$ ) between season and strategies. There were larger N remnants in GRZ during the rainy season from fertiliser inputs, which reduced N utilization efficiency (NUE). Mean NUE for kg N/ha and kg N/cow was 19%, with the higher efficiency for GRZ in the dry season. Farms with the best NUE had lower use of fertilisers and purchased feeds.

**Keywords:** Nitrogen balance; family dairy farming; Nitrogen remnants.

### Introduction

Agricultural production systems have increased their intensification in response to higher demand for food and other produce. An example is the increase in the use of commercial concentrate and fertilisers in animal production systems (Azzarali-Bleken et al., 2005). There is a need to improve the use of farm resources to achieve efficient production without damage to the environment; so a balanced management of nutrients is crucial in

the three scales of sustainability: economic, social and environmental dimensions. Nitrogen is a key component both as an input and as output in livestock systems (Bassanino et al., 2007; Sassenrath et al., 2013).

Dairy farming faces the challenge of producing quality milk at low production costs, by rationally utilising available farm resources without damaging the ecosystems (O’Cannell et al., 2004). Environmental performance of livestock systems is nowadays a relevant indicator, since intensification of agricultural production has resulted in environmental imbalances, as eutrophication of water courses, and the emission of greenhouse gases (GHG) (Powell et al., 2010). Therefore, the assessment of nutrient balances is fundamental in order to reduce environmental effects (Haas et al., 2007).

N balance and nitrogen use efficiency (NUE) are valid indicators to identify best production practices, improving the efficiency of agricultural systems (Mu et al., 2016).

Small-scale dairy systems represent the majority of dairy farms in Latin America as in other parts of the world (FAO and FEPALE, 2012); and in Mexico they represent more than 78% of specialized dairy farms and contribute over 35% of national milk production. Small-scale dairy systems in the highlands of central Mexico are characterised by smallholdings of agricultural land and herds between 3 and 35 cows. When they have access to irrigation, they traditionally base their feeding strategies in cut-and-carry irrigated temperate pastures, supplemented with concentrates, straws, and purchased inputs that result in high feeding costs that limit their sustainability (Martínez-García et al., 2015; Prospero-Bernal et al., 2017). Implementation of intensive grazing of pastures complemented with maize silage in the dry season reduced feeding costs and improved the profitability and sustainability of these farms (Prospero-Bernal et al., 2017).

These systems may be an option for rural development, but there is scarce information on NUE for the Mexican context. Most reports in the literature are from intensive and organic systems in developed countries with similar farm sizes; with no reports from small-scale dairy systems in regards to NUE, both in the Mexican as in international contexts.

Therefore, the objective was to quantify the N inputs and outputs, and identify critical points of N use within small-scale dairy farms in the highlands of central Mexico, analysed for the rainy or dry season, and comparing pasture feeding strategies.

## **Materials and methods**

### **Study area**

Fieldwork took place in the highlands of central Mexico (between 20° 00’ and 20° 17’ N, and between 99° 40’ and 100° 00’ W) at a mean altitude of 2440 m, a temperate sub-

humid climate, rains in summer (May-October), and a marked dry season between November and April. Mean annual temperature is 13°C, and rainfall around 800 mm/year (Celis-Alvarez et al., 2016).

### **Characterisation of farms**

The study assessed 12 small-scale dairy farms, with mostly upgraded Holstein cattle, and some Brown Swiss and Jersey crosses. There were two feeding strategies. Six farms followed the conventional feeding strategy in the area based on cut-and-carry of irrigated temperate pastures (CUT) and concentrates (Martínez-García et al., 2015), and six farms have implemented grazing of their pastures (GRZ) plus concentrates. All 12 farms complemented pastures with maize silage during the dry season (Prospero-Bernal et al., 2017); and purchased straws and other forages.

The study was from May 2016 to April 2017, divided into the rainy (May-October) and dry (November-April) seasons. Quantified nitrogen inputs and outputs were those that crossed through the farm-gates. Atmospheric depositions, biological fixation, lixiviation, or volatilisation were not considered in this study (Treacy et al., 2008; Mu et al., 2016).

A structured interview (Prospero-Bernal et al., 2017) was applied to the farm head in monthly visits to collect information on the various components of N management such as milk production per cow, number of cows, surface devoted to animal production, as well as data regarding N inputs and outputs. Interviews took place in the farmers' house, in the milking area, while they performed their daily routines such as grazing their herds, or while they cut pastures. Data collected were verified by direct observation (Bassanino et al., 2007; Haas et al., 2007).

### **Nitrogen inputs**

Feed N inputs were from amounts purchased, and samples of feeds taken to determine N content by the Kjeldahl method (Celis-Alvarez et al., 2016). The use of fertiliser N inputs was from farmer information and from the nitrogen content of each fertiliser (Ryan et al., 2011).

### **Nitrogen outputs**

The estimation of N from sales of calves and culled cows was from weighing the animals, multiplied by factors 0.029 and 0.024 kg of N/kg live weight, respectively (Ryan et al., 2011). Analyses of individual samples of milk from each milking cow in the 12 farms was with an ultrasonic milk analyser to determine protein content and other constituents

(Prospero-Bernal et al., 2017), kg N/kg of milk calculated from crude protein from Mexican standards.

### **Nitrogen balance and Nitrogen Utilisation Efficiency (NUE)**

The nitrogen balance was from means of the difference between N inputs (fertilisers and purchased feeds) and outputs (milk and animals sold) in each season (Sassenrath et al., 2013; Bengtsson et al., 2016).

Nitrogen utilisation efficiency (NUE) was from means of nitrogen outputs divided by nitrogen inputs per farm expressed as percentage (Roberts et al., 2007; Powell et al., 2010).

Results were expressed in kg N/ha and kg N/cow in herd. The assessed farms had different land size (Table 1), which made comparing results among farms difficult when only expressed per hectare. Since the number of cows per herd were not different ( $P>0.05$ ) (Table 1), results per cow was a better indicator (Mu et al., 2016). There are few reports in the literature on nutrient balances and NUE expressed in kg/cow, since most reported kg N/ha as they are from systems with similar farm sizes.

### **Statistical analyses**

Data analyses was by ANOVA for inputs, outputs, balance and NUE with the following a split-plot model on the consolidated results for each season:

$$Y_{ijk} = \mu + F_i + S_j + E_{ij} + st_k + (S)(st)_{jk} + e_{ijk}$$

Where:  $Y_{ijk}$  = The dependent variable

$\mu$  = General mean

F= Effect of farm  $i = 1, \dots, 6$

S= Effect of season (main plots)  $j = 1, 2$

$E_{ij}$ = Random error of main plots

st = Effect of feeding strategy (split-plot)  $k = 1, 2$

(S)(st) = Interaction between season and feeding strategy

e= Residual variation.

## **Results**

### **Characteristics of farms**

Table 1 shows the main characteristics of participating farms, with a mean of 11.4 cows/herd, determined both by to land available and number of family members involved in dairy activities. Mean live weight of cows was 491 kg for GRZ and 513 kg /cow for CUT.

There were no significant differences ( $P>0.05$ ) for number of cows, live weight, mean daily milk yield per cow, and milk density between the two feeding strategies. There were however significant differences ( $P<0.05$ ) with a lower farm size and higher stocking rate for CUT than GRZ; and milk protein content was significantly higher in GRZ than CUT ( $P<0.05$ ).

**Table 1. Characteristics of farms according to feeding strategy.**

| Variables                         | CUT   | GRZ   | SEM                 |
|-----------------------------------|-------|-------|---------------------|
| Number of cows                    | 11.8  | 11.0  | 1.82 <sup>NS</sup>  |
| Live weight (kg /cow )            | 512.8 | 490.7 | 13.42 <sup>NS</sup> |
| Milk yield (kg/day)               | 12.8  | 13.8  | 0.44 <sup>NS</sup>  |
| Milk protein (g/kg)               | 33.2  | 33.4  | 0.04 <sup>*</sup>   |
| Milk density (g/cm <sup>3</sup> ) | 1.0   | 1.0   | 0.02 <sup>NS</sup>  |
| Farm size (ha)                    | 5.3   | 15.3  | 2.32 <sup>**</sup>  |
| Stocking rate (cow/ha )           | 2.2   | 0.9   | 0.26 <sup>**</sup>  |

CUT = Conventional cut-and-carry, GRZ = Grazing

SEM= standard error of the mean, NS  $P>0.05$ , \*  $P<0.05$ , \*\*  $P<0.01$

### Quantification of Nitrogen inputs

N inputs from synthetic fertilisers were from urea with 46% N and di-ammonium phosphate, with 18% N (and 46%  $P_2O_5$ ). N inputs from purchased feed comprised commercial dairy compound feeds at 20% and 18% crude protein, maize straw and ground maize grain, as main purchased feeds, but farms also purchased maize bran (a by-product from fructose syrup production) and alfalfa hay.

Inputs from synthetic fertilisers in N kg /ha (Table 2) showed significant differences ( $P<0.05$ ) both for seasons as for feeding strategies. There were less fertiliser inputs in the dry season, and a lower N fertiliser input for GRZ. When expressed as kg N from fertiliser/cow (Table 3), there were differences ( $P<0.05$ ) only for seasons, with higher fertiliser inputs in the rainy season.

Fertiliser inputs for CUT in the dry season corresponded to 40.2% of the annual input of fertilisers, ranging from 32.0 to 86.7 kg N/ha, and in the rainy season 59.8% (68.6 kg N/ha to 136.9 kg N/ha). In GRZ, the dry season accounts for 23.0% (2.7 to 45.8 kg N/ha), and in the rainy season 77.0%, (6.4 to 120.1 kg N/ha) (Table 4).

Inputs of N from feed as kg N/ha and kg N/cow were different ( $P<0.05$ ) between strategies. GRZ covers better the feed needs than CUT, therefore the purchase of feed is lower (Tables 2 and 3). Since GRZ farms use less fertiliser and external feed, they presented

lower N inputs than CUT in kg /ha (Table 2). However, when expressed as kg N/cow, GRZ received larger inputs of fertiliser N and less N from feed than CUT (Table 3).

**Table 2. Mean values for inputs, outputs, balance, N utilisation efficiency (NUE) in kg N/ha**

| Season            | Strategy            |      | Mean  | SEM <sub>SEASON</sub> | Strategy            |       | Mean | SEM <sub>SEASON</sub> |
|-------------------|---------------------|------|-------|-----------------------|---------------------|-------|------|-----------------------|
|                   | CUT                 | GRZ  |       |                       | CUT                 | GRZ   |      |                       |
| Inputs kg N/ha    |                     |      |       |                       |                     |       |      |                       |
|                   | Fertilisers         |      |       |                       | Feed                |       |      |                       |
| Dry               | 62.7                | 22.0 | 42.4  |                       | 119.8               | 22.54 | 71.2 |                       |
| Rainy             | 93.8                | 73.4 | 83.3  | 28.95**               | 118.8               | 21.26 | 70.0 | 0.81 <sup>NS</sup>    |
| Mean              | 78.0                | 47.7 | 62.8  |                       | 119.3               | 21.90 | 70.6 |                       |
| SEM <sub>ST</sub> | 21.39**             |      |       |                       | 68.86***            |       |      |                       |
| SEM               |                     |      |       |                       |                     |       |      |                       |
| SEASON*ST         | 35.99 <sup>NS</sup> |      |       |                       | 68.86 <sup>NS</sup> |       |      |                       |
| Outputs kg N/ha   |                     |      |       |                       |                     |       |      |                       |
|                   | Milk                |      |       |                       | Animals             |       |      |                       |
| Dry               | 22.3                | 8.8  | 15.6  |                       | 8.0                 | 1.9   | 5.0  |                       |
| Rainy             | 23.4                | 8.1  | 15.7  | 0.14 <sup>NS</sup>    | 5.6                 | 2.1   | 3.8  | 0.81*                 |
| Mean              | 22.9                | 8.4  | 15.6  |                       | 6.8                 | 2.0   | 4.4  |                       |
| SEM <sub>ST</sub> | 10.20***            |      |       |                       | 3.42***             |       |      |                       |
| SEM               |                     |      |       |                       |                     |       |      |                       |
| SEASON*ST         | 10.20 <sup>NS</sup> |      |       |                       | 3.51*               |       |      |                       |
|                   | Balance kg N/ha     |      |       |                       | NUE %               |       |      |                       |
| Dry               | 152.1               | 33.9 | 93.0  |                       | 20                  | 26    | 23   |                       |
| Rainy             | 183.0               | 84.5 | 133.8 | 33.4 <sup>NS</sup>    | 16                  | 14    | 15   | 5.80**                |
| Mean              | 167.6               | 59.2 | 113.4 |                       | 18                  | 20    | 19   |                       |
| SEM <sub>ST</sub> | 14.4 <sup>NS</sup>  |      |       |                       | 1.49 <sup>NS</sup>  |       |      |                       |
| SEM               |                     |      |       |                       |                     |       |      |                       |
| SEASON*ST         | 48.9**              |      |       |                       | 5.95*               |       |      |                       |

CUT= Cut-and-carry, GRZ= Grazing, SEM<sub>SEASON</sub> = Standard error of the main plots (seasons). SEM<sub>ST</sub> = Standard error of split plots (feeding strategies), SEM<sub>SEASON\*ST</sub> = Standard error of interaction. NS P>0.05, \* P<0.05, \*\* P<0.01, \*\*\* P<0.001 CUT= cut GRZ= grazing

Nitrogen inputs from feed for CUT in the dry season represented 50.2% of the feed purchased per year (45.6 to 223.8 kg N/ha), and in the rainy season represented 49.8% (42.7 to 221.1 kg N/ha). Mean N feed inputs for GRZ in the dry season were 51.5% (11.5 to 44.5 kg N/ha), and 48.5% in the rainy season (12.9 to 32.9 kg N/ha) (Table 4).

**Table 3. Mean values for inputs, outputs, balance and N utilisation efficiency (kg/cow)**

| Season                   | Strategy        |       | Mean  | SEM <sub>SEASON</sub> | Strategy |      |      | SEM <sub>SEASON</sub> |
|--------------------------|-----------------|-------|-------|-----------------------|----------|------|------|-----------------------|
|                          | CUT             | GRZ   |       |                       | CUT      | GRZ  | Mean |                       |
| Inputs N kg /cow         |                 |       |       |                       |          |      |      |                       |
|                          | Fertiliser      |       |       |                       | Feed     |      |      |                       |
| Dry                      | 32.0            | 24.2  | 28.1  |                       | 66.1     | 26.8 | 46.5 |                       |
| Rainy                    | 45.5            | 96.8  | 71.2  | 30.44 *               | 65.8     | 19.6 | 42.7 | 0.00 NS               |
| Mean                     | 38.7            | 60.5  | 49.6  |                       | 66.0     | 23.2 | 44.6 |                       |
| SEM <sub>ST</sub>        | 15.44 NS        |       |       |                       | 27.79*** |      |      |                       |
| SEM <sub>SEASON*ST</sub> | 34.13 NS        |       |       |                       | 27.79 NS |      |      |                       |
| Outputs N kg /cow        |                 |       |       |                       |          |      |      |                       |
|                          | Milk            |       |       |                       | Animals  |      |      |                       |
| Dry                      | 10.3            | 105   | 10.5  |                       | 3.4      | 2.3  | 2.9  |                       |
| Rainy                    | 10.77           | 10.21 | 10.5  | 0.00 NS               | 2.4      | 2.5  | 2.5  | 0.28 NS               |
| Mean                     | 10.6            | 10.4  | 10.5  |                       | 2.90     | 2.42 | 2.66 |                       |
| SEM <sub>ST</sub>        | 0.08 NS         |       |       |                       | 0.34 NS  |      |      |                       |
| SEM <sub>SEASON*ST</sub> | 0.08 NS         |       |       |                       | 0.44 N   |      |      |                       |
|                          | Balance kg /cow |       |       |                       | NUE %    |      |      |                       |
| Dry                      | 84.4            | 37.8  | 61.1  |                       | 20       | 26   | 23   |                       |
| Rainy                    | 98.1            | 111.0 | 100.0 | 8.83 NS               | 16       | 14   | 15   | 5.80 **               |
| Mean                     | 91.3            | 73.5  | 80.6  |                       | 18       | 20   | 19   |                       |
| SEM <sub>ST</sub>        | 41.77 *         |       |       |                       | 1.49 NS  |      |      |                       |
| SEM <sub>SEASON*ST</sub> | 42.82 **        |       |       |                       | 5.95 *   |      |      |                       |

CUT= Cut-and-carry, GRZ= Grazing, SEM<sub>SEASON</sub> = Standard error of the main plots (seasons).

SEM<sub>ST</sub>= Standard error of split plots (feeding strategies), SEM<sub>EP\*EST</sub> = Standard error of interaction (season x feeding strategies) NS P>0.05, \* P<0.05, \*\* P<0.01, \*\*\* P<0.001

### Nitrogen outputs

N outputs from milk sales in kg N/ha (Table 2) were different (P<0.05) between strategies with higher N output in milk sales in CUT given larger herds. The sale of milk for CUT in the dry season accounts for 48.9% of the annual sale (14.6 to 30.9 kg N/ha), and 51.1% of milk sales in the rainy season (16.7 to 34.8 kg N/ha). In the dry season, N from milk sales represented 51.9% of total for GRZ 4.3 to 15.4 kg N/ha), and 48.1% in the rainy season (4.5 to 12.1 kg N/ha) (Table 4).

In terms of N outputs from sold calves and culled cows, there was a significant interaction (P<0.05) between seasons and feeding strategies when expressed as kg N/ha (Table 2). As Figure 1 shows, CUT sell animals at the beginning of the dry season of feed scarcity, while GRZ sell animals throughout the year given a more stable feed production. However, when expressed as kg N/cow there were no differences (P>0.05) for N outputs neither for N in milk sales nor from sold animals (Table 3).



Nitrogen outputs in animals for CUT correspond to 59% of the total in the dry season (0.81 to 14.3 kg N/ha), and 41% (2.0 to 9.5 kg N/ha). in the dry season, they represent 45.9% for GRZ (0.9 to 2.9 kg N/ha), and 54.1% in the rainy season (0.9 to 3.4 kg N/ha) (Table 4).

**Table 4. Inputs, outputs, balance and N utilisation efficiency in 12 farms (kg N/ha)**

| Farms       | Inputs      |             |              |              | Outputs     |             |            |            | Balance      |              | NUE %     |           |
|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|-------------|-------------|------------|------------|--------------|--------------|-----------|-----------|
|             | Fertilisers |             | Feed         |              | Milk        |             | Animals    |            | Dry          | Rainy        | Dry       | Rainy     |
|             | Dry         | Rainy       | Dry          | Rainy        | Dry         | Rainy       | Dry        | Rainy      |              |              |           |           |
| CUT-1       | 86.7        | 136.9       | 45.6         | 42.7         | 30.9        | 30.0        | 8.6        | 6.3        | 92.8         | 143.3        | 30        | 20        |
| CUT-2       | 32.0        | 68.6        | 106.7        | 100.0        | 27.6        | 34.8        | 14.3       | 9.5        | 96.8         | 124.2        | 30        | 26        |
| CUT-3       | 66.2        | 99.2        | 198.1        | 220.9        | 19.9        | 17.6        | 8.7        | 5.8        | 235.7        | 296.7        | 11        | 7         |
| CUT-4       | 66.1        | 79.9        | 223.7        | 221.1        | 14.6        | 16.7        | 0.8        | 2.0        | 274.5        | 282.2        | 5         | 6         |
| CUT-5       | 55.0        | 75.7        | 58.2         | 61.0         | 16.6        | 17.5        | 6.8        | 3.7        | 89.8         | 115.4        | 21        | 16        |
| CUT-6       | 70.41       | 98.7        | 86.3         | 66.9         | 24.5        | 23.5        | 9.0        | 5.9        | 123.2        | 136.2        | 21        | 18        |
| <b>Mean</b> | <b>62.7</b> | <b>93.8</b> | <b>119.8</b> | <b>118.8</b> | <b>22.3</b> | <b>23.8</b> | <b>8.0</b> | <b>5.6</b> | <b>152.1</b> | <b>183.0</b> | <b>20</b> | <b>16</b> |
| GRZ-1       | 13.9        | 120.2       | 11.5         | 14.4         | 4.5         | 5.4         | 1.4        | 1.3        | 19.4         | 127.9        | 24        | 5         |
| GRZ-2       | 19.5        | 60.2        | 20.3         | 24.5         | 10.6        | 9.7         | 1.0        | 0.9        | 28.2         | 74.2         | 29        | 12        |
| GRZ-3       | 2.7         | 6.4         | 12.3         | 12.9         | 4.3         | 4.5         | 0.9        | 1.2        | 9.8          | 13.5         | 35        | 30        |
| GRZ-4       | 26.1        | 80.3        | 20.4         | 18.5         | 10.0        | 8.0         | 2.9        | 2.7        | 33.6         | 88.1         | 28        | 11        |
| GRZ-5       | 45.8        | 80.1        | 44.5         | 32.9         | 15.4        | 12.1        | 2.5        | 2.9        | 72.4         | 97.9         | 20        | 13        |
| GRZ-6       | 23.9        | 93.5        | 26.2         | 24.3         | 7.6         | 9.0         | 2.5        | 3.4        | 40.0         | 105.4        | 20        | 11        |
| <b>Mean</b> | <b>22.0</b> | <b>73.4</b> | <b>22.5</b>  | <b>21.3</b>  | <b>8.8</b>  | <b>8.1</b>  | <b>1.9</b> | <b>2.1</b> | <b>33.9</b>  | <b>84.5</b>  | <b>26</b> | <b>14</b> |

CUT= Cut-and-carry, GRZ= Grazing

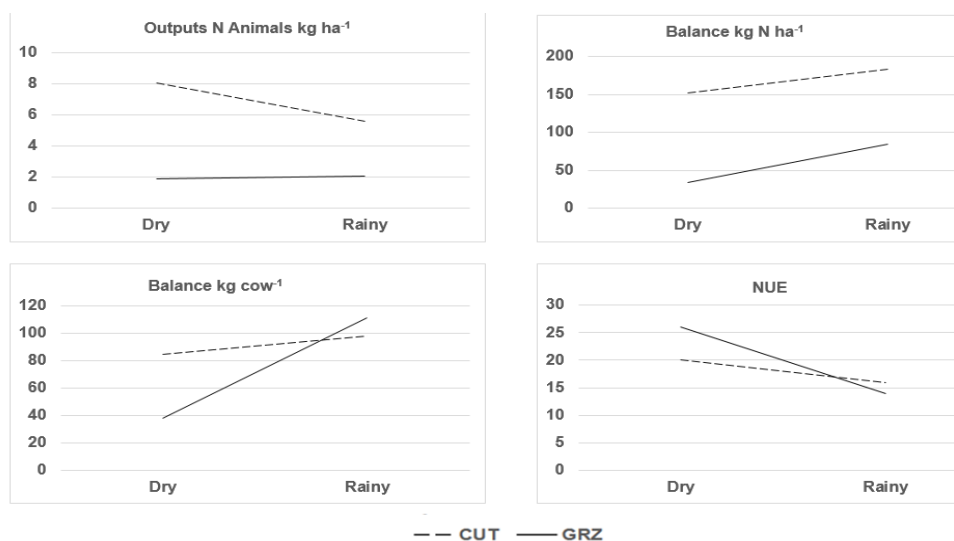


Figure 1. Significant interactions between season and feeding strategy for outputs, N balance and Nitrogen Utilisation Efficiency (NUE%)

## Nitrogen balance and use efficiency

There were significant interactions ( $P < 0.05$ ) between seasons and strategies in N balance both for kg N/ha and kg N/cow (Tables 2 and 3). N remnant in CUT showed a smaller increase in the rainy season (20% more), while N balance in the rainy season was nearly 50% more in GRZ. Lower N balance as kg N/ha in GRZ farms is due to the larger land size.

As N/cow, significant interactions followed a similar pattern, with a small increase of 16% in CUT, compared to a nearly threefold increase in GRZ between the rainy and the dry season (Figure 1) given the large purchases of fertiliser in the rainy season when the maize crop is sown. N remnant for CUT in the dry season ranges from 89.8 to 274.5 kg N/ha, and in the rainy season from 115.4 kg N/ha to 296.7 kg N/ha. For GRZ in the dry season, ranges from 9.8 to 72.4 kg N/ha, and from 13.5 to 127.9 kg N/ha in the rainy season (Table 4).

NUE for kg N/ha and kg N/cow showed significant interactions ( $P < 0.05$ ) between seasons and strategies. The highest efficiencies for both strategies were in the dry season (Tables 2 and 3), falling in the rainy season although the decrease is more prominent for GRZ farms given the large increase in N remnant as mentioned. For CUT, NUE in the dry season varied between 5 and 30%, while in the rainy season was from 6% to 26%. Values for GRZ in the dry season were from 20 to 35 kg N/ha, and between 5 and 30% in the rainy season (Table 4).

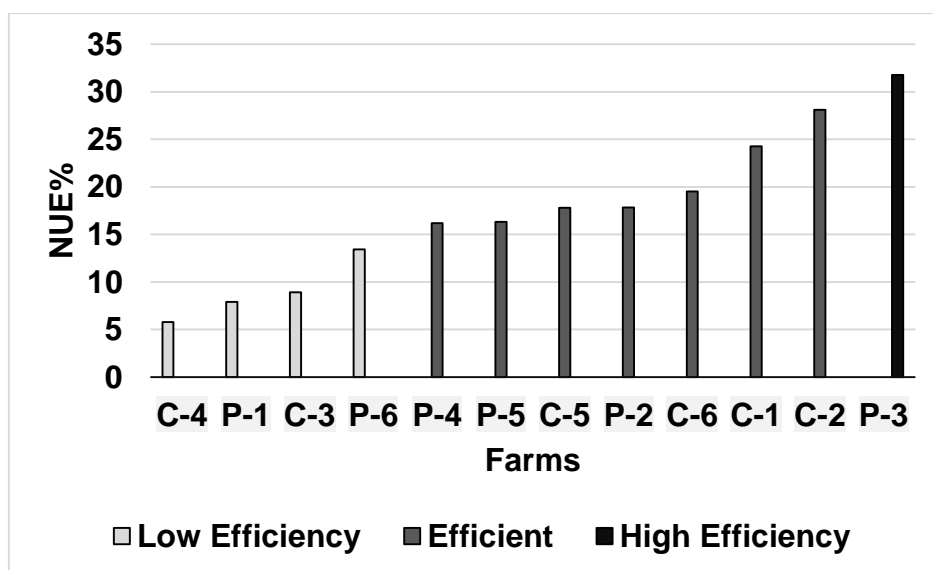


Figure 2. Grouping of farms according to annual Nitrogen Utilisation Efficiency (NUE %)

Following Roberts et al. (2008), four farms were grouped according to annual NUE (Figure 2) as poorly efficient (less than 16%), seven farms as efficient (from 16 to 30% NUE), and one as very efficient (over 30% NUE). On average poorly efficient farms apply over 140 kg N/ha /year as chemical fertilisers, and 235 kg N/ha/year as feed, identified as critical indicators for efficient N utilisation.

## **Discussion**

### **Characteristics of the farms**

Mean milk production was 13 kg/cow/day; directly related to the weight of the animal and feeding, with similar results reported by Martínez-García et al. (2015) from similar farms. Mean agricultural land per farm was 5.0 /ha for CUT and 15.0 /ha for GRZ, which with similar herd sizes, resulted in a stocking rate of 2.23 and 0.85 cow/ha respectively. Martínez-García et al. (2015) reported an average of 4.25 ha per farm in feeding systems under cut-and-carry management of pastures; similar to the one found in this research.

Available agricultural land endowments influenced the adoption of the feeding strategy, since it determines the stocking rate and thereby, the purchase of inputs. The smaller the extension, the larger the purchases of fertiliser to speed up the growth of grass and the larger acquisition of feed/ha to meet the nutritional requirements of the herd and secure milk production.

### **Nitrogen inputs**

The main sources of N inputs were chemical fertilisers and purchased feed, fundamentally commercial concentrates. The studied farms had a low conversion of N into milk and cattle sold; in agreement with Gourley et al. (2012) and Benchaar et al. (2014). The annual mean input from chemical fertilisers for CUT was 78 kg N/ha and 48 kg N/ha for GRZ, similar to those of Bassanino et al. (2007) in Italian farms, who reported inputs of 61 k N/ha.

GRZ farms, being larger in extension, reduce the purchase of feed and increase fertiliser inputs; conversely, CUT inputs larger amounts of feed N than fertiliser. Results for CUT are similar to Koesling et al. (2017), who reported 43%, although both systems differ from reports by Roberts et al. (2007) and Bengtsson et al. (2016) who documented that inputs from mineral fertilisers accounted for between 85 and 90% of the total inputs. The use of fertilisers is a critical issue regarding the

sustainability of farms, because it may represent more than 40% of the production costs of crops in Mexico (Figueroa-Viramontes et al. 2015).

Inputs from feed in CUT were 119.3 kg N/ha, 60.5% of inputs; while for GRZ it was 31.5%, with 21.9 kg N/ha. CUT presented a higher stocking rate, so that these farms require more external inputs in order to meet the nutritional requirements of their herds. CUT farms were the only ones that reported N inputs from feeds such as maize bran and alfalfa hay, feeds not purchased by GRZ farms.

Gourley et al. (2012) in Australia, reported 52.5 kg N/ha as inputs via commercial concentrates. Furthermore, in grazing-based systems in Ireland, Ryan et al. (2011) reported from 17 to 76 kg N/ha and from 7 to 31 kg N/cow.

On average, total N inputs a year were 197.2 kg N/ha for CUT, and 69.6 for GRZ. The results are under 305 kg N/ha reported by Van Beek et al. (2003) and 517 kg N/ha reported by Bassanino et al. (2007). Moreover, expressed per cow, Ryan et al. (2011) reported average inputs of 148.6 kg N/cow, which are higher than 104.7 kg N/cow reported for CUT and 83.8 kg N/cow for GRZ.

### **Nitrogen outputs**

Milk N outputs from CUT were 22.9 kg N/ha, while nitrogen outputs from GRZ were 8.4 kg N/ha. Expressed per cow, the overall mean for CUT was 10.5 kg N/cow and 10.4 kg N/cow for GRZ. Ramírez and Reheul (2010) reported outputs between 47 and 49 kg N/ha; while Ryan et al. (2011) found outputs between 88 and 103 kg N/ha and between 35 and 42 kg N/cow and Mu et al. (2016) reported 46.7 kg N/ha; showing the differences in milk yields and intensity of production.

Animals sold are newborn male calves, heifer calves surplus to needed replacements (or to cover a need for cash), and culled cows, that represented 6.8 kg N/ha and 2.9 kg N/cow in CUT, while it was 2.0 kg N/ha and 2.4 kg N/cow for GRZ. Nevens et al. (2006) and Ramírez and Reheul (2010) reported higher nitrogen outputs from animal sales ranging between 16 and 19 kg N/ha. Conversely, values reported herein are nearer Ryan et al. (2011), who reported between 6 and 14 kg N/ha and from 2 to 5 kg N/cow.

N outputs as sold animals depend on culling rate, herd size, and the age of calves when sold. In studied farms, calf sales are due to economic requirements. Farmers keep and raise bull calves up to a certain age, sold when they have an economic

need. In general, only 13% of the N outputs of N/ha/year is in milk or sold animals, on average for both feeding strategies.

### **Nitrogen balance and use efficiency**

The general N balance was positive, indicating N remnants in both feeding strategies; which can be lost to the environment via lixiviation as nitrates and nitrites or volatilised as ammonia or nitrous oxide (Chakwizira et al., 2015). The closer this value to zero the more efficient the system, since negative values indicate overexploitation of internal resources (Mu et al., 2016).

Farms in CUT present remnants of 167.6 kg N/ha and 91.3 kg N/cow; while GRZ reported 59.2 kg N/ha and 73.5 kg N/cow. These are higher than 7.4 kg N/ha and 5.3 kg N/ha in organic or conventional dairy farms reported by Koesling et al. (2017); but lower than reports by Roberts et al. (2007) in Canada with much higher values ranging between 259 and 785 kg N/ha. Gourley et al. (2012), from work in Australian dairy farms, reported a wide range of nitrogen remnants, from 47 to 601 kg N/ha; and Ryan et al. (2011) in Ireland also found high values between 213 and 276 kg N/ha, and between 103 and 110 kg N/cow.

N balance is an indicator of environmental efficiency for farms and considered in the formulation of regulations to minimise losses of N to the environment. In the Netherlands, farms pay fines when remnants go over 130 kg N/ha (Powell et al., 2010). CUT farms in the study herein reported would be over that threshold, due to the small size of their land holdings, and the need to purchase large amounts of feed inputs.

NUE allows identifying management practices to increase the efficiency of production, reduce environmental impact and secure the long-term sustainability of farms. The typical values for dairy systems range between 16 to 30% of NUE, regardless of the N input sources, either agricultural (fertilisers, feed, animals) or non-agricultural (biological fixation and mineralization) (Roberts et al., 2008).

The mean NUE per season oscillated between 5 and 35% in the studied farms, with an inversely proportional relation to the use of chemical fertilisers. Values are higher in the dry season, as it is when fertilisers are least used. Values in the consulted literature range between 10 and 50% of NUE. Roberts et al. (2007) from work in Canada reported values that oscillated between 10 and 23%; and Arndt et al. (2015) assessed diets in Wisconsin with four levels of protein and reported mean NUE

between 24 and 31%. Arriaga et al. (2010) from work in Northern Spain, found means of 21%. These values are within the means herein reported.

However, higher efficiencies were found by Haas et al. (2007) when assessing organic dairy farms in Germany with an efficiency of 45%; similar to work by Gourley et al. (2012) who reported an efficiency between 14 up to 50% in dairy farms in Australia. Koesling et al. (2017) from work in Norway found a lower NUE of 14% for conventional systems and 20% for organic farms. In this study, farms that use under 140 kg N as fertiliser/ha/year are the most efficient. Ryan et al. (2011) suggested that by reducing the application of fertilisers to 50 kg N/ha in Ireland, there is no change in production levels and NUE is improved.

### **Acknowledgments**

Authors express gratitude to the 12 farmers and their families who participated in this study, whose privacy is respected by not disclosing their names. This work was undertaken thanks to funding by the Mexican National Council for Science and Technology (*Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología–CONACYT*) through grant 129449 CB-2009 and the postgraduate grant for Dixan Pozo-Leyva. Our thanks also to Ms. Maria de Lourdes Maya-Salazar and Ms. Laura Edith Contreras-Martínez for their assistance in laboratory analyses.

### **Conflict of interest**

Authors declare there are no conflicts of interests.

### **Statement on Ethical Standards and Animal Rights**

The paper reports an on farm study undertaken with 12 participating farmers who had knowledge of the objectives of the work and were duly informed at all times, and their privacy and that of their family respected by not disclosing their names. Recording procedures with dairy cows and replacement stock followed accepted procedures by *Universidad Autónoma del Estado de México*.

### **References**

Arndt, C., Powell, J.M., Aguerre, M.J. and Wattiaux, M.A., 2015. Performance, digestion, nitrogen balance, and emission of manure ammonia, enteric methane, and carbon dioxide in lactating cows fed diets with varying alfalfa silage-to-corn silage ratios, *Journal of Dairy Science*, 98, 418-430.

- Arriaga, H., Salcedo, G., Calsamiglia, S. and Merino, P., 2010. Effect of diet manipulation in dairy cow N balance and nitrogen oxides emissions from pastures in northern Spain, *Agriculture. Ecosystems and Environment*, 135, 132-139.
- Bassanino, M., Grignani, C., Sacco, D. and Allisiardi, E., 2007. Nitrogen balances at the crop and farm-gate scale in livestock farms in Italy, *Agriculture Ecosystems and Environment*, 122, 282-294.
- Benchaar, C., Hassanat, F., Gervais, R., Chouinard, P.Y., Petit, H.V. and Massé, D.I., 2014. Methane production, digestion, ruminal fermentation, nitrogen balance, and milk production of cows fed corn silage- or barley silage-based diets, *Journal of Dairy Science*, 97, 961-974.
- Bengtsson, H., Watson, A.C., Jonsson, S. and Öborn, I., 2016. Quantifying annual variations in field scale element flows and balances is essential for sustainable nutrient management in farming systems, *Biological Agriculture and Horticulture*, 32, 110-126. DOI: 10.1080/01448765.2015.1074110.
- Celis-Alvarez, M.D., López-González, F., Martínez-García, C.G., Estrada-Flores, J.G. and Arriaga-Jordán, C.M., 2016. Oat and ryegrass silage for small-scale dairy systems in the highlands of central Mexico, *Tropical Animal Health and Production*, 48, 1129-1134.
- Chakwizira, E., Ruiters, J.M. and Maley, S., 2015. Effects of nitrogen fertiliser application rate on nitrogen partitioning, nitrogen use efficiency and nutritive value of forage kale, *Journal of Agricultural Research*, 58, 259-270.
- FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations and FEPALE - Pan American Dairy Federation, 2012. Situación de la lechería en América Latina y el Caribe en 2011. (FAO Regional Office for Latin America and the Caribbean, Animal Production and Health Division, Santiago, Chile).
- Figuroa-Viramontes, U., Núñez-Hernández, G., Reta-Sánchez, D.G. and Flores-López, H.E., 2015. Regional nitrogen balance in the milk-forage production system in the Comarca Lagunera, Mexico, *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 6, 377-392.
- Gourley, J.P., Dougherty, W.J., Weaver, D.M., Aarons, S.R., Awty, I.M., Gibson, D.M., Hannah, M.C., Smith, A.P. and Peverill, K.I., 2012. Farm-scale nitrogen,

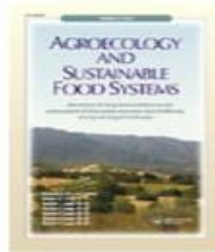
- phosphorus, potassium and sulfur balances and use efficiencies on Australian dairy farms, *Animal Production Science*, 52, 929-944.
- Haas, G., Deittert, C. and Kopke, U., 2007. Farm-gate nutrient balance assessment of organic dairy farms at different intensity levels in Germany, *Renewable Agriculture and Food Systems*, 22, 223-232.
- Koesling, M., Hansen, S. and Azzaroli-Bleken, M., 2017. Variations in nitrogen utilisation on conventional and organic dairy farms in Norway, *Agricultural Systems*, 157, 11-21.
- Martínez-García, C.G., Rayas-Amor, A.A., Anaya-Ortega, J.P., Martínez-Castañeda, F.E., Espinoza-Ortega, A., Prospero-Bernal, F. and Arriaga-Jordán, C.M., 2015. Performance of small-scale dairy farms in the highlands of central Mexico during the dry season under traditional feeding strategies, *Tropical Animal Health and Production*, 47, 331-337.
- Mu, W., van Middelaar, C.E., Bloemhof, J.M., Oenema, J. and de Boe, I.J.M., 2016. Nutrient balance at chain level: a valuable approach to benchmark nutrient losses of milk production systems, *Journal of Cleaner Production*, 112, 2419-2428.
- Nevens, F., Verbruggen, I., Reheul, D. and Hofman, G., 2006. Farm gate nitrogen surpluses and nitrogen use efficiency of specialized dairy farms in Flanders: Evolution and future goals, *Agricultural Systems*, 88, 142-155.
- Prospero-Bernal, F., Martínez-García, C.G., Olea-Pérez, R., López-González, F. and Arriaga-Jordán, C.M., 2017. Intensive grazing and maize silage to enhance the sustainability of small-scale dairy systems in the highlands of Mexico, *Tropical Animal Health and Production*, 49, 1537-1544.
- Ramírez, E. and Reheul, D., 2010. Variables influencing nitrogen surplus of dairy farms in Flanders, *Agronomy for Sustainable Development*, 30, 789-795.
- Roberts, D.J., Leach, K.A. and Goldie, J., 2007. Assessment and improvement of the efficiency of nitrogen use on commercial dairy farms, *Journal of Agricultural Sustainability*, 5, 295-304.
- Roberts, C.J., Lynch, D.H., Voroney, R.P., Martin, R.C. and Juurlink, S.D., 2008. Nutrient budgets of Ontario organic dairy farms, *Canadian Journal of Soil Science*, 88, 107-114.



- Ryan, W., Hennessy, D., Murphy, J.J., Boland, T.M. and Shalloo, L., 2011. A model of nitrogen efficiency in contrasting grass-based dairy systems, *Journal of Dairy Science*, 94, 1032-1044.
- Sassenrath, G., Schneider, J., Gaj, R., Grzebisz, W. and Halloran, J., 2013. Nitrogen balance as an indicator of environmental impact toward sustainable agricultural production, *Renewable Agriculture and Food Systems*, 28, 276-289.
- Treacy, M., Humphreys, J., Mc Namara, K., Browne, R. and Watson, C.J., 2008. Farm-gate nitrogen balances on intensive dairy farms in the south west of Ireland, *Journal of Agricultural and Food Research*, 47, 105-110.
- Van Beek, C.L., Brouwer, L. and Oenema, O., 2003. The use of farmgate balances and soil surface balances as estimator for nitrogen leaching to surface water, *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 67, 233-244.

## 3.2. Segunda Publicación

Journal of Sustainable Agriculture



### **Nitrogen fluxes and greenhouse gas emission in small-scale dairy systems in the highlands of central Mexico**

|                  |                                                                                   |
|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| Journal:         | <i>Agroecology and Sustainable Food Systems</i>                                   |
| Manuscript ID    | Draft                                                                             |
| Manuscript Type: | Original Article                                                                  |
| Keywords:        | Nitrogen utilization, Greenhouse gas emission, Family dairying, manure management |
|                  |                                                                                   |

SCHOLARONE™  
Manuscripts

URL: <http://mc.manuscriptcentral.com/WJSA> Email: [WJSA-peerreview@journals.tandf.co.uk](mailto:WJSA-peerreview@journals.tandf.co.uk)

## Nitrogen fluxes and greenhouse gas emissions in small-scale dairy systems in the highlands of central Mexico

D. Pozo-Leyva<sup>\*</sup>, R. Olea-Pérez<sup>†</sup>, F. López-González<sup>\*</sup>, P. Balderas-Hernández<sup>‡</sup>, C.M. Arriaga-Jordán<sup>\*1</sup>

<sup>\*</sup> Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales (ICAR), Universidad Autónoma del Estado de México, Campus UAEM El Cerrillo, El Cerrillo Piedras Blancas, 50090 Toluca, Estado de México, México

<sup>†</sup> Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México, Av. Universidad # 3000, 04510 Coyoacán, CDMX, México

<sup>‡</sup> Centro Conjunto de Investigación en Química Sustentable CCIQS, UAEM-UNAM, Universidad Autónoma del Estado de México, Carretera Toluca-Atlacomulco, km 14.5, C.P. 50200, Toluca, México.

<sup>1</sup> Corresponding Author: Carlos M. Arriaga-Jordán, Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales (ICAR), Universidad Autónoma del Estado de México, Campus UAEM El Cerrillo, 50090 Toluca, Estado de México, México. E-mail: cmarriagaj@uaemex.mx

### ABSTRACT

The objective was to determine Nitrogen fluxes and estimate greenhouse gas emissions from enteric fermentation and manure management in small-scale dairy systems in the highlands of central Mexico. Assessment was in 12 small-scale dairy farms with different feeding strategies which implied differences in manure management. Six herds were confined at all times, feeding based on conventional cut-and-carry of temperate irrigated pastures, and six herds grazed their pastures. All received supplementary concentrates, and silage, straws and hay in the dry season. N fluxes determined from balances between offered N in feeds, and conversion into co-products milk, sold animals, and manure. We estimated methane from enteric fermentation and GHG emissions from manure management. Every three months collection of information was for a Level 2 assessment following the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) from May 2016 to April 2017. ANOVA of feeding strategies followed a random design. Mean farm size was 5.0 ha for cut-and-carry and 16.0 ha for grazing, and dry matter feed self-sufficiency was 62 and 83% respectively, considering 12% and 22% refusals for each strategy. There were no differences in feed N offered, conversion into co-products (milk, sold animals, and manure), or in GHG emission from N losses in manure management. There was no effect of feeding strategies and manure management on N utilization or GHG emissions. This is a novel report on assessing N fluxes and GHG emissions from small-scale dairy systems in Mexico and Latin America.

**Keywords:** Nitrogen utilization, Greenhouse gas emission, family dairying, manure management.

## INTRODUCTION

There is worldwide concern on the environmental impacts of animal production. Dairy cattle have a low efficiency in nutrient utilization, between 15 and 35% of feed nitrogen (N) (Figuroa-Viramontes et al., 2015), such that between 65 and 85% of N intake is excreted in dung and urine (Powell et al., 2010). Different dairy production systems have a marked effect on N and other nutrients utilization, as well as on greenhouse gases (GHG) emissions; both due to feeding strategies as well as on manure management (O'Brien et al., 2015). Therefore, there is a recognized need to develop sustainable systems minimizing environmental impacts (O'Brien et al., 2015; Hassanat et al., 2017).

In Mexico, between 1990 and 2010 livestock production produced 49.5% of agricultural GHG, with an estimated 86.5% from enteric fermentation and 13.5% from manure management (Ortiz-Espejel et al., 2015); figures similar to international reports where livestock generate about 40% of agricultural GHG (FAO, 2014).

Even though the importance of identifying areas for improvement in nutrient utilization to reduce the environmental footprint of dairy production, and of the role that small-scale dairy systems have worldwide (FAO, 2012), there is little research on these issues on small-scale dairy systems (Garg et al., 2016). Small-scale dairy systems (small farms with herds between 3 and 35 cows plus replacements) are considered a rural development option to overcome rural poverty in Mexico (Espinoza-Ortega et al., 2007); and represent over 78% of specialized dairy farms (Prospero-Bernal et al., 2017).

Therefore, there is a need to study nutrient utilization and environmental footprints of these systems, and to identify areas of improvement both in nutrient utilization in farms as well as in practices for manure management to reduce GHG emissions. The objective was to study the effect of feeding strategies in terms of cut-and-carry of pastures or day grazing of pastures on N fluxes and GHG emissions both from enteric fermentation as from manure management in small-scale dairy farms in the highlands of central Mexico.

## MATERIALS AND METHODS

### ***Study area***

The study was from May 2016 to April 2017 in the municipality of Aculco in the State of Mexico, located between 20° 00' and 20° 17' North, and 99° 40' and 100° 00' West, an altitude between 2000 and 3400 m, and a sub-humid temperate climate (Sainz-Sánchez et al., 2017). Mean temperatures during the research were between 7.8 and 21.2°C, with an overall mean of 14.5°C and 765.4 mm rainfall. Fadul-Pacheco et al. (2013) characterized the small-scale dairy farms in the area.

### ***Scope of the study and functional unit***

The study was to determine N fluxes and the global warming potential (GWP) of the milking herds and replacements of six small-scale dairy farms with a conventional feeding strategy based on total confinement and cut-and-carry of irrigated temperate pastures in comparison to six small-scale dairy farms that have implemented day grazing of their pastures, as an option that has reduced feeding costs and increased sustainability (Prospero-Bernal et al., 2017).

N utilization and GHG emissions were expressed per kg of fat and protein corrected milk (FPCM) (Arndt et al., 2015). Protein content per kg of sold cattle was estimated at 18.5%. Calculation of GHG emissions was both for milk production as for animals sold. N data from milk and sold cattle was converted to FPCM for whole farms, so that the GWP was expressed in kg CO<sub>2</sub> – eq / kg FPCM.  $FPCM = \text{Milk yield (kg/day)} \times [0.1226 \times \text{milkfat (\%)} + 0.0776 \times \text{milk crude protein (\%)} + 0.2534]$  (Arndt et al., 2015). The study did not include estimates of emissions from N fertilizer inputs used for forage production (pastures, maize for silage, other forages), focusing only in the dairy herd.

### ***Description of small-scale dairy farms***

Twelve small-scale dairy farms participated in the study, with a total of 139 mostly Holstein cows (a few crosses of Holstein x Brown Swiss or Jersey), with six farms each on different feeding, housing and resource management strategies. Six farms followed the conventional strategy (Martínez-García et al., 2015) based on total confinement, where cattle spend the day on earthen floor pens, and overnight tied to feeding troughs on concrete floor pens.

Feeding base is cut-and-carry of sown irrigated temperate pastures (annual ryegrass, white clover, and other grasses) and concentrates, and six farms have implemented day grazing (from 8 to 11 h/day) of their pastures, both sown irrigated

pastures (perennial ryegrass, white clover, and other grasses and herbs) as well as some grazing of native grassland mainly of growing cattle (three grazing farms) and one grazing farm cuts-and-carry native grassland during the rainy season to complement the herd, plus concentrates. The milking cows are tied to feeding troughs in conventional confinement overnight. All 12 farms complemented pastures with maize silage during the dry season (Prospero-Bernal et al., 2017); and purchased straws and other forages.

There were also two manure managements. In the cut-and-carry farms, with total confinement of herds, 100% of manure is deposited in the concrete and earth floors, collected every day and stored outdoors in an open heap to compost, applied every six months to agricultural land (pastures and maize crop). In the grazing farms, from 60 to 75% of manure is collected overnight (some farmers do not have pasture to graze their replacements) in the pens, and managed similarly to cut-and-carry farms except in two farms that apply the collected manure to pastures once a week. The rest is deposited directly by grazing cattle on the pasture

Visits to farms were every three months, collecting information through a semi-structured interview to farmers (Prospero-Bernal et al., 2017), documenting all components of N management, as well as productive and reproductive data, since farmers do not keep records. Feeds were sampled and analyzed for N content, both grown in farms and purchased, as well as land devoted for pasture and crops (maize for grain and silage, mainly), milk production and composition, live weight, and productive variables for each farm.

### ***Nitrogen fluxes***

Determination of feed N was from weighing offered feeds, and intake at grazing calculated by difference from an estimated intake of DM at 3.2% of live weight minus DM in offered feeds. Sampling of feeds was every three months, DM determined and CP by the Kjeldahl method following standard procedures (Celis-Alvarez et al., 2016).

Milk yield recording with a spring balance and milk sampling was every three months from individual cows. Analyses of milk CP was with an ultrasound milk analyzer (Prospero-Bernal et al., 2017), calculating N content by the factor 6.38 (NRC. 2001). Milk yield was transformed in milk production per herd per year.

N in manure was estimated from N inputs as offered feed, plus N inputs as live animals that joined the herd (replacement heifers), minus N outputs in milk and N outputs as sold cattle (culled cows and male calves according to live weigh at the time of sale). The difference was considered as manure N (urine, dung and refused feeds), subject to the manure management practices implemented in each farm (O'Brien et al., 2015). Manure N flux was from management practices followed for storage, treatment and deposition at each farm.

### ***Greenhouse gas emissions and global warming potential (GWP)***

Analyses of data from each farm and feeding strategy followed Tier 2 guidelines from IPCC (2006), by means of a model built in spreadsheets (Excel) for each farm. The model enabled estimation of GHG emissions from methane, ammonia, nitrates, and nitrogen oxides; as well as GWP equivalents. The model also enabled to characterize N balances from N outputs as co-products (milk and beef) or as GHG emissions.

The model also incorporated consecutive lineal equations and quadratic regressions to consider local effects on expected emissions in manure management, harmonized following IPCC (2006). The model allowed the adjustment of GWP equivalents for each emission and to express GWP in kg of CO<sub>2</sub> equivalent (kg CO<sub>2</sub>-eq) per product unit (kg) in each farm. Used CO<sub>2</sub> equivalents were 298 of NO<sub>x</sub> and 23 for CH<sub>4</sub> (IPCC. 2006).

Since milk and live cattle are produced in each farm, the model assigns total GWP to milk, to animals sold, or to a summary measure of production (milk + sold animals), in relation with the proportion that each product has in total protein output. Given the interest in N fluxes, GWP was in terms of N in milk, sold animals, or the sum of both.

### ***Statistical analyses***

Analyses of results was by ANOVA with a random design with the model:

$$Y_{ij} = \mu + t_i + E_{ij}$$

Where:

$\mu$  = General mean.

$t_i$  = Effect of feeding strategy (i=1,2)

Eij= Experimental error.

## RESULTS AND DISCUSSION

### **Feeding strategies**

Table 1 shows the overall means for chemical composition of feeds used in each feeding strategy. Both strategies had as purchased inputs commercial dairy concentrate at 18% or 20% CP, as well as maize straw and ground maize grain. Cut-and-carry farms also purchased alfalfa hay and yellow maize bran (a by-product of high-fructose syrup production). Four grazing farms also utilized native grassland mainly for grazing replacement stock (one farm cut the native grassland since it was far from the barn).

Sown pastures were of annual ryegrass (*Lolium multiflorum*) and white clover (*Trifolium repens*) for cut-and-carry, and perennial ryegrass (*L. perenne*) and white clover with other grasses as tall fescue (*Festuca arundinacea*), festulolium (*L. multiflorum x F. arundinacea*), and invasive kikuyu grass (*Pennisetum clandestinum*) for grazing farms (Plata-Reyes et al., 2018). Main species of native grasslands identified in the area were *Hilaria cenchroides*, *Enneapogon desvauxii*, *Bouteloua gracilis*, *Bouteloua hirsuta*, and *Paspalum prostratum* (Sainz-Sánchez et al., 2017).

**Table 1. Overall mean chemical composition of feeds.**

| <b>Ingredients</b>                           | <b>DM g/kg</b> | <b>PC g/kg DM</b> | <b>N g/kg DM</b> |
|----------------------------------------------|----------------|-------------------|------------------|
| Sown pastures (Cut-and-carry)                | 76.0           | 123.0             | 20.0             |
| Alfalfa hay (Cut-and-carry)                  | 87.0           | 194.0             | 31.0             |
| Maize bran (Cut-and-carry)                   | 88.0           | 151.0             | 24.0             |
| Native grasses (Grazing)                     | 35.0           | 170.0             | 27.0             |
| Sown pastures (Grazing)                      | 20.0           | 191.0             | 31.0             |
| Oat silage (Grazing)                         | 75.0           | 81.0              | 13.0             |
| Barley silage (Grazing)                      | 24.2           | 62.0              | 10.0             |
| Maize silage (Both feeding strategies)       | 32.0           | 74.0              | 12.0             |
| Maize straw (Both feeding strategies)        | 96.0           | 45.0              | 7.0              |
| Ground maize grain (Both feeding strategies) | 89.0           | 108.0             | 17.0             |
| Concentrate 18% CP (Both feeding strategies) | 92.0           | 176.0             | 28.0             |
| Concentrate 20% CP (Both feeding strategies) | 92.0           | 196.0             | 31.0             |

DM= Dry matter CP= Crude protein N= Nitrogen



Chemical composition of feed was similar to reports by Velarde-Guillén et al. (2017) who evaluated productive, economic and environmental effects of feeding strategies in these small-scale dairy systems, and native grassland had similar chemical composition as reported by Sainz-Sánchez et al. (2017) from work on dairy cows grazing native grassland in the area.

Table 2 shows the characterization of participating farms by feeding strategy. Farms in both feeding strategies were similar in their productive results, except for farm size, which correlates to their capacity to meet feed requirements. Farms under cut-and-carry need to purchase 38% of feeds, while grazing farms only need 17%.

Therefore, cut-and-carry farms are more vulnerable to price changes and availability of feed inputs. Prospero-Bernal et al. (2017) reported a lower profitability given higher costs and higher labor requirements. Milk production results are similar to reports in the area (Fadul-Pacheco et al., 2013; Velarde-Guillen et al., 207).

**Table 2. Characterization of small-scale dairy farms by feeding strategy**

| Item                                           | Cut-and-Carry | Grazing | Mean   | SEM                             |
|------------------------------------------------|---------------|---------|--------|---------------------------------|
| <b>Características de las SPL</b>              |               |         |        |                                 |
| Farm size (ha)                                 | 5             | 16      | 10     | 1.56*                           |
| Milking cows (Head)                            | 12            | 11      | 12     | 1.28 <sup>NS</sup>              |
| Live weight (kg /cow)                          | 513           | 491     | 502    | 9.49 <sup>NS</sup>              |
| Annual calving rate (%)                        | 69            | 67      | 68     | 2.95 <sup>NS</sup>              |
| Annual replacement rate (%)                    | 21            | 22      | 21     | 1.83 <sup>NS</sup>              |
| Feed Independence Index (%)                    | 62            | 83      | 72     | 1.03 <sup>***</sup>             |
| Feed refusals (%)                              | 12            | 22      | 17     | 1.36 <sup>***</sup>             |
| <b>Milk production</b>                         |               |         |        |                                 |
| Milk yield (kg/cow/day)                        | 13            | 14      | 13     | 0.30 <sup>NS</sup>              |
| FPCM (kg/cow/day)                              | 12            | 13      | 12     | 0.27 <sup>NS</sup>              |
| FPCM after deducting calf rearing (kg/cow/day) | 10            | 11      | 11     | 0.27 <sup>NS</sup>              |
| FPCM after deducting calf rearing (kg/year)    | 26697         | 26191   | 26444  | 3505 <sup>NS</sup>              |
| <b>Milk composition</b>                        |               |         |        |                                 |
| CP (g/kg)                                      | 33.2          | 33.4    | 33.3   | 0.02 <sup>NS</sup>              |
| Milkfat (g/kg)                                 | 33.3          | 33.7    | 33.5   | 0.01 <sup>NS</sup>              |
| <b>Sold cattle</b>                             |               |         |        |                                 |
| Sold cattle (kg/cow/year)                      | 311.7         | 252.2   | 281.9  | 18.25 <sup>N</sup> <sub>s</sub> |
| Sold cattle (kg/year) at 18.5% CP              | 3065.8        | 2320.3  | 2693.1 | 2439 <sup>NS</sup>              |

SEM= Standard Error of the Mean; CP= Crude Protein; FPCM= Fat and Protein Corrected Milk; <sup>NS</sup> P>0.05, \* P<0.05, \*\*\* P<0.001

### ***Nitrogen utilization***

Table 3 shows N inputs and conversion into milk production and cattle sold, with no statistical differences ( $P>0.05$ ) for any variable. Mean N input was 1901 kg N/year, with most N being excreted in manure (86.5%); mean N in milk production was 170 kg N/year and mean N in cattle sold was 90.1 kg/year. N conversion into co-products milk and cattle sold was only 9% for milk and 5% for sold animals. Powell et al. (2010) reported that between 65 and 85% of N inputs are not converted into animal products and deposited in manure.

**Table 3. Nitrogen inputs and conversion (kg N/year).**

| <b>Item</b>         | <b>Cut-and-Carry</b> | <b>Grazing</b> | <b>Mean</b> | <b>SEM</b>           |
|---------------------|----------------------|----------------|-------------|----------------------|
| <b>N inputs</b>     |                      |                |             |                      |
| Feed                | 1901.5               | 1900.9         | 1901.2      | 217.35 <sup>NS</sup> |
| Replacements        | 25.5                 | 24.7           | 25.1        | 3.30 <sup>NS</sup>   |
| Total               | 1927.0               | 1925.6         | 1926.3      | 220.58 <sup>NS</sup> |
| <b>N Conversion</b> |                      |                |             |                      |
| Milk                | 171.2                | 168.9          | 170.0       | 11.56 <sup>NS</sup>  |
| Sold cattle         | 102.2                | 77.9           | 90.1        | 22.15 <sup>NS</sup>  |
| Manure              | 1653.6               | 1678.8         | 1666.2      | 188.78 <sup>NS</sup> |

SEM= Standard Error of the Mean; <sup>NS</sup>  $P>0.05$

### ***Greenhouse gas emissions***

Table 4 shows GHG emissions, with no significant differences between feeding strategies for any variable ( $P>0.05$ ). As mentioned before, manure is managed differently in the two feeding strategies. Under total confinement in cut and carry farms, all manure is deposited in the pens (concrete or earthen floor pens), collected by hand and stored in an open heap. Every six months, farmers spread manure on the fields (mostly pastures but also on the maize crop fields) (Figure 1).

In grazing farms, cows and replacement stock spend between 50 and 75% of time in pens, and graze between milkings for an average of 8 hours a day (33% of time) mostly on sown irrigated pastures but also, as mentioned, four farms have access to native grassland to graze dry cows and replacements (some graze milking cows) or cut-and-carry native grassland to complement cows (one farmer). Management of manure collected in the pens is similar to cut-and-carry farms, with the rest deposited on pastures by the grazing herd.

**Table 4. Greenhouse gas emissions from N utilization and manure management.**

| Indicator                                                | Cut-and-carry | Grazing | Mean   | SEM          |
|----------------------------------------------------------|---------------|---------|--------|--------------|
| GHG (kg CO <sub>2</sub> -eq/kg FPCM)                     | 2.2           | 2.0     | 2.1    | 0.14<br>NS   |
| GHG cattle sold (kg CO <sub>2</sub> -eq /kg live weight) | 20.4          | 22.5    | 21.4   | 1.94<br>NS   |
| GHG milk + cattle sold (kg CO <sub>2</sub> -eq /kg)      | 1.4           | 1.3     | 1.3    | 0.09<br>NS   |
| GHG per cow (kg CO <sub>2</sub> -eq /year )              | 4929.5        | 4340.9  | 4635.2 | 196.45<br>NS |
| N <sub>2</sub> O (kg/ kg FPCM)                           | 0.265         | 0.264   | 0.264  | 0.02<br>NS   |
| CH <sub>4</sub> (kg/ kg FPCM)                            | 1.952         | 1.718   | 1.835  | 0.13<br>NS   |

SEM= Standard Error of the Mean; GHG = Greenhouse gases; FPCM= Fat and Protein Corrected Milk; <sup>NS</sup> P>0.05

Figure 1 shows estimated CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O emissions calculated from the two management systems expressed as kg CO<sub>2</sub>-eq/ kg FPCM. Most CH<sub>4</sub> emissions are from ruminal fermentation and from manure storage as a secondary source, as has been described by Kebreab et al. (2006) and Hassanat et al. (2017). Cut-and-carry farms have higher emissions from manure storage than grazing farms given the higher amounts of manure stored. Same wise, N<sub>2</sub>O emissions are higher in the cut-and-carry strategy, during manure spreading.

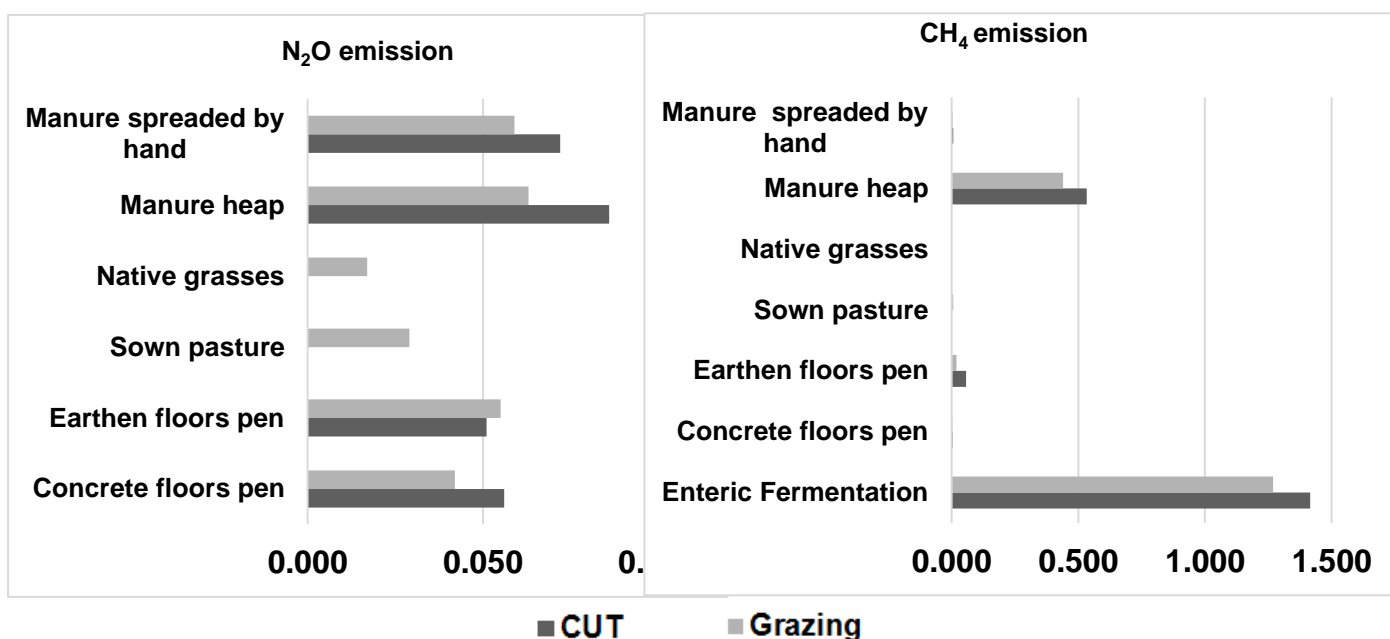


Figure 1. CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O emissions (kg CO<sub>2</sub>-eq/ kg FPCM).

N<sub>2</sub>O is formed in farms by nitrification and denitrification processes (Soussana et al. 2010). Nitrification is the oxidation of ammonia to nitrates and nitrites giving rise to N<sub>2</sub>O as a by-product, and denitrification is the microbial reduction of nitrates to nitrites, and from these, the formation of N<sub>2</sub>O. Denitrification is slower when manure is fresh, since N<sub>2</sub>O is favored by an increase in available mineral N, which in turn increases the rate of nitrification and denitrification (IPCC. 2006; Kebreab et al., 2006). These process is influenced by meteorological conditions, since low temperatures decrease N<sub>2</sub>O formation (Velthaf et al., 2014).

GHG emissions from milk Production were not different ( $P>0.05$ ) between feeding strategies with a mean 2.1 kg CO<sub>2</sub>-eq/kg FPCM. These values are higher than reports by Doltra et al. (2018) who found values between 1.5 and 1.2 kg CO<sub>2</sub>-eq/ kg milk for zero grazing and grazing systems respectively when comparing feeding systems in northern Spain.

Observed values were also higher to levels of GHG reported by Battini et al. (2015) from work in Italy who reported from 1.02 to 1.26 kg CO<sub>2</sub>-eq/kg FPCM when excluding emissions from land use change and soil carbon sequestration (as in the work herein reported); and nearer to the higher values reported by Christie et al. (2012) between 0.76 and 1.68 kg CO<sub>2</sub>-eq/kg FPCM in a study of dairy farms in Australia; and closer to the values ranging from 1.7 to 2.6 kg CO<sub>2</sub>-eq/kg FPCM reported from a comprehensive work in the United States (Asselin-Balençon et al., 2013).

There are not many reports from small-scale dairy systems, but work in India by Garg et al. (2016) reported values between 1.9 and 2.3 kg CO<sub>2</sub>-eq/kg FPCM for cows, similar to the values reported herein. In terms of yearly GHG per cow, even though the cut-and-carry farms had 13.6% more emission than grazing farms, the analysis did not detect significant differences ( $P>0.05$ ). The mean emission of 4635.2 kg CO<sub>2</sub>-eq/cow/year was lower than the 5946 kg CO<sub>2</sub>-eq/cow/year for zero-grazing and 5659 kg CO<sub>2</sub>-eq/cow/year for grazing reported by Doltra et al. (2018) in Northern Spain, with milk yields of 18.1 kg/cow/day for zero-grazing and 19.1 kg/cow/day for grazing.

Mean N<sub>2</sub>O were 0.264 kg CO<sub>2</sub>-eq /kg FPCM, lower than the range between 0.502 to 1.11 kg CO<sub>2</sub>-eq /kg FPCM reported by Christie et al. (2012) from work with Australian dairy farms. Differences found in contrast to international literature on

GHG emissions in dairy farms per kg of FPCM were due to the moderate mean yields of 13.5 13 kg/cow/day in the studied farms from both feeding strategies. In example, Doltra et al. (2018) with lower emissions reported yields between 18 and 20 kg milk/cow/day, while Garg et al. (2016) from work with smallholder farms in India reported emissions per kg of FPCM from cows similar to values herein reported.

In spite of different feeding strategies, the time spent grazing (33% of a day) did not diverge sufficiently from the results for the cut-and-carry farms, with similar ( $P>0.05$ ) GHG emissions. Comparison of results from work in different agroecological zones, with different production systems, and different methodologies are difficult, since these factors affect obtained results.

### **ACKNOWLEDGEMENTS**

Authors express gratitude to the 12 farmers and their families who participated in this study, whose privacy is respected by not disclosing their names. This work was undertaken thanks to funding by the Mexican National Council for Science and Technology (*Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología–CONACYT*) through grant 129449 CB-2009 and the postgraduate grant for Dixan Pozo-Leyva. Our thanks also to Ms. Maria de Lourdes Maya-Salazar and Ms. Laura Edith Contreras-Martínez for their assistance in laboratory analyses.

### **REFERENCES**

- Arndt, C., Powell, J. M., Aguerre, M. J., Wattiaux, M. A. 2015. Performance, digestion, nitrogen balance, and emission of manure ammonia, enteric methane, and carbon dioxide in lactating cows fed diets with varying alfalfa silage-to-corn silage ratios. *J. Dairy Sci.* 98:418-430. <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2014-8298>.
- Asselin-Balençon, C. A., Popp, J., Henderson, A., Heller, M., Thoma, G., Jolliet, O. 2013. Dairy farm greenhouse gas impacts: A parsimonious model for a farmer's decision support tool. *Int. Dairy J.* 31: S65-S77. <http://dx.doi.org/10.1016/j.idairyj.2012.09.004>.
- Battini, F., Agostini, A., Tabaglio, V., and Amaducci, S. 2015. Environmental impacts of different dairy farming systems in the Po Valley. *J Clean Prod.* 112: 91-102. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.062>.

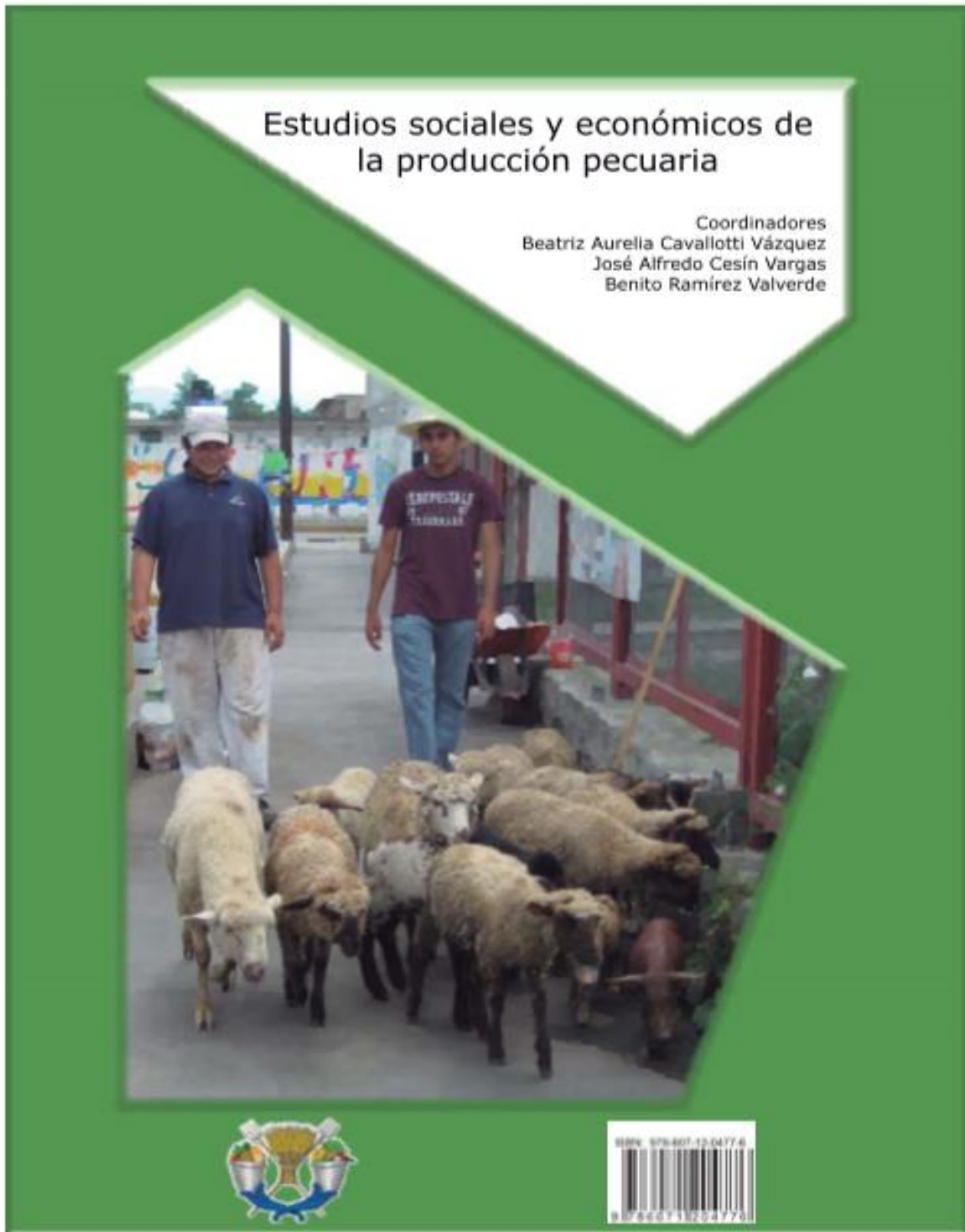
- Celis-Alvarez, M. D., López-González, F., Martínez-García, C. G., Estrada-Flores, J. G., Arriaga-Jordán, C.M. 2016. Oat and ryegrass silage for small-scale dairy systems in the highlands of central Mexico. *Trop. Anim. Health Prod.* 48:1129-1134. <http://dx.doi.org/10.1007/s11250-016-1063-0>.
- Christie, K. M., Gourley, C. J. P., Rawnsley, R.P., Eckard, R.J., and Awty, I. M. 2012. Whole-farm systems analysis of Australian dairy farm greenhouse gas emissions. *Anim. Prod. Sci.* 52:998-1011. <http://dx.doi.org/10.1071/AN12061>.
- Doltra, J., Villar, A., Moros, R., Salcedo, G., Hutchings, N. J., Kristensen, I. S. 2018. Forage management to improve on-farm feed production, nitrogen fluxes and greenhouse gas emissions from dairy systems in a wet temperate region. *Agric. Syst.* 160:70-78.
- Espinoza-Ortega, A., Espinosa-Ayala, E., Bastida-López, J., Castañeda- Martínez, T and Arriaga-Jordán, C.M. 2007. Small-scale dairy farming in the highlands of central Mexico: Technical, economic and social aspects and their impact on poverty. *Exp. Agric.* 43: 241–256.
- FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2010. Status and prospects for smallholder milk production a global perspective. FAO, Rome.
- FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2012. Smallholders and family farmers. FAO. Rome.
- FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2014. Greenhouse gas emissions from agriculture, forestry and other land use. FAO, Rome.
- Fadul-Pacheco, L., Wattiaux, M.A., Espinoza-Ortega, A., Sánchez-Vera, E., and Arriaga-Jordán, C. M. 2013. Evaluation of sustainability of smallholder dairy production systems in the highlands of Mexico during the rainy season. *Agroecol. Sustain. Food Syst.* 37: 882–901.
- Figuerola-Viramontes, U., Núñez-Hernández, G., Reta-Sánchez, D.G., and Flores-López, H.E. 2015. Regional nitrogen balance in the milk-forage production system in the Comarca Lagunera, Mexico. *Rev. Mex. Cienc. Pecu.* 6:377-392.
- Garg, M. R., Phondba, B. T., Sherasia, P. L. and Makkar, H. P. S. 2016. Carbon footprint of milk production under smallholder dairying in Anand district of

- Western India: a cradle-to-farm gate life cycle assessment. *Anim. Prod. Sci.* 56:423-436. <http://dx.doi.org/10.1071/AN15464>.
- Hassanat, F., Gervais, R., and Benchaar, C. 2017. Methane production, ruminal fermentation characteristics, nutrient digestibility, nitrogen excretion, and milk production of dairy cows fed conventional or brown midrib corn silage. *J. Dairy Sci.* 100:2625-2636. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11862>.
- IPCC. 2006. Guidelines for national greenhouse gas inventories. In: Eggleston, H.S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe, K. (Eds.), Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. IGES, Japan. <http://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.htm>.
- Kebreab, E., Clark, K., Wagner-Riddle, C. and France, J. 2006. Methane and nitrous oxide emissions from Canadian animal agriculture: A review. *Can. J. Anim. Sci.* 86:135-158.
- Martínez-García, C.G., Rayas-Amor, A.A., Anaya-Ortega, J.P., Martínez-Castañeda, F.E., Espinoza-Ortega, A., Prospero-Bernal, F. and Arriaga-Jordán, C.M. 2015. Performance of small-scale dairy farms in the highlands of central Mexico during the dry season under traditional feeding strategies, *Trop. Anim. Health Prod.* 47: 331-337.
- NRC. National Research Council. 2001. Nutrient requirements of dairy cattle. Seventh Revised Edition. National Academy Press, Washington. DC.
- NRC. National Research Council. 2003. Air emissions from animal feeding operations. (Appendix D). National Academy Press, Washington, D.C.
- O'Brien, D., Hennessy, T., Moran, B., and Shalloo, L. 2015. Relating the carbon footprint of milk from Irish dairy farms to economic performance *Dairy Sci.* 98:7394-7407. <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2014-9222>.
- Ortiz-Espejel, B., Muñoz-Sevilla, N.P., and Le Bail, M. 2015. Reporte Mexicano de Cambio Climático GRUPO II Impactos, vulnerabilidad y adaptación. Universidad Nacional Autónoma de México, México. [http://www.pincc.unam.mx/libro\\_reportemex/Reporte\\_Mexicano\\_grupo2.pdf](http://www.pincc.unam.mx/libro_reportemex/Reporte_Mexicano_grupo2.pdf)
- Plata-Reyes DA, Morales-Almaraz E, Martínez-García CG, Flores-Calvete G, López-González F, Prospero-Bernal F, Valdez-Ruiz CL, Zamora-Juárez YG, and

- Arriaga-Jordán CM. 2018. Milk production and fatty acid profile of dairy cows grazing four grass species pastures during the rainy season in small-scale dairy systems in the highlands of Mexico. *Trop. Anim. Health Prod.* DOI: 10.1007/s11250-018-1621-8
- Powell, J. M., Gourley, C. J., Rotz, C .A., and Weaver, D. M. 2010. Nitrogen use efficiency: A potential performance indicator and policy tool for dairy farms. *Environ. Sci. Policy.* 3:217-228. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2010.03.007>.
- Prospero-Bernal, F., Martínez-García, C. G., Olea-Pérez, R., López-González, F., and Arriaga-Jordán, C. M. 2017. Intensive grazing and maize silage to enhance the sustainability of small-scale dairy systems in the highlands of Mexico. *Trop. Anim. Health Prod.* 49:1537-1544. <http://dx.doi.org/10.1007/s11250-017-1360-2>.
- Rivera, J. E., Chará, J., and Barahona, R. 2016. Análisis del ciclo de vida para la producción de leche bovina en un sistema silvopastoril intensivo y un sistema convencional en Colombia. *Trop. Subtrop. Agroecosyst.* 19:237-251.
- Sainz-Sánchez, P. A., López-González, F., Estrada-Flores, J. G., Martínez-García, C. G., and Arriaga-Jordán, C. M. 2017. Effect of stocking rate and supplementation on performance of dairy cows grazing native grassland in small-scale systems in the highlands of central Mexico. *Trop. Anim. Health Prod.* 49:179-186. <http://dx.doi.org/10.1007/s11250-016-1178-3>.
- Soussana, J. F., Tallec, T., and Blanfort, V. 2010. Mitigating the greenhouse gas balance of ruminant production systems through carbon sequestration in grasslands. *Animal.* 4:334-350. <https://doi.org/10.1017/S1751731109990784>.
- Velarde-Guillén, J., López-González, F., Estrada-Flores, J. G., Rayas-Amor, A., Heredia-Nava, D., Vicente, F., Martínez-Fernández, A., and Arriaga-Jordán, C. M. 2017. Productive, economic and environmental effects of optimised feeding strategies in small-scale dairy farms in the Highlands of Mexico. *J. of Agric. Environ. Int. Dev.* 111:225-243. <http://dx.doi.org/10.12895/jaeid.20171.606>.



### 3.3. Tercera Publicación



Estudios económicos y sociales de la producción pecuaria

© Universidad Autónoma Chapingo  
Carretera México-Texcoco, km 38.5,  
Chapingo, Estado de México.

Primera edición, junio de 2017

ISBN: 978-607-12-0477-6  
Departamento de Zootecnia  
Tel: 01 (595)952-1532  
Fax: 01 (595) 952-1607

Se autoriza el uso de la información contenida en este libro para fines de enseñanza, investigación y difusión del conocimiento, siempre y cuando se haga referencia a la publicación y se den los créditos correspondientes a cada autor consultado.

El contenido de cada capítulo es responsabilidad exclusiva de su(s) autor(es).

Para mayor información con respecto a esta publicación comunicarse al e-mail  
[cisocpec@yahoo.com.mx](mailto:cisocpec@yahoo.com.mx)

Impreso en México

## Tabla de contenido

|                                                                                                                                                                         |            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| Agradecimientos                                                                                                                                                         | 5          |
| Comité Editorial                                                                                                                                                        | 7          |
| Prólogo                                                                                                                                                                 | 9          |
| <b>GANADERÍA FAMILIAR Y EN PEQUEÑA ESCALA</b>                                                                                                                           | <b>15</b>  |
| La adopción de prácticas pecuarias durante el ordeño en el sistema lechero familiar                                                                                     | 16         |
| Berenice Adriana Sixtos Pérez, Valentín Espinosa Ortiz, Randy Alexis Jiménez Jiménez, María Pilar Velázquez Pacheco, Arturo Alonso Pesado, Luis Arturo Hernández García |            |
| Cadena productiva tradicional como estrategia de subsistencia comunitaria en Tarímbaro, Michoacán, México                                                               | 25         |
| Arturo Franco-Gaona, Benito Ramírez-Valverde, Artemio Cruz-León, José Pedro Juárez-Sánchez, Dora María Sangermán-Jarquín, Gustavo Ramírez-Valverde                      |            |
| Impacto en los costos de alimentación por la implementación del pastoreo intensivo en sistemas de producción de leche en pequeña escala del Altiplano Central de México | 40         |
| Fernando Próspero Bernal, Rafael Olea-Pérez, Carlos Galdino Martínez García, Felipe López González, Carlos Manuel Arriaga Jorán                                         |            |
| Percepciones de bienestar social relacionadas con la producción de cerdo de traspatio en zonas peri-urbanas                                                             | 52         |
| Leonel Santos-Barrios, Francisco E. Martínez-Castañeda, William Gómez-Demetrio, Ernesto Sánchez-Vera, Mónica E. Ruiz-Torres                                             |            |
| Balance de nitrógeno en sistemas de producción de leche en pequeña escala en el Altiplano Central mexicano                                                              | 65         |
| Dixan Pozo-Leyva, Rafael Olea-Pérez, Patricia Balderas-Hernández, Carlos Manuel Arriaga-Jordán                                                                          |            |
| Diagnóstico de la calidad de los ensilados de maíz en los Altos de Jalisco                                                                                              | 79         |
| Víctor Manuel Gómez-Rodríguez, Darwin Heredia-Nava, Humberto Ramírez-Vega, Anastacio García-Martínez, José de Jesús Olmos-Colmenero                                     |            |
| Compostaje y vermicompostaje: estrategias de manejo del estiércol equino y bovino en una zona rural del sur del Estado de México                                        | 89         |
| Vianey Colín Navarro, Francisca Avilés Nova, Ignacio Arturo Domínguez Vara, Jaime Olivares Pérez, Sonia López Fernández, Benito Albarrán Portillo                       |            |
| <b>GANADERÍA DE DOBLE PROPÓSITO</b>                                                                                                                                     | <b>105</b> |

### **Balance de nitrógeno en sistemas de producción de leche en pequeña escala en el altiplano central mexicano**

Dixan Pozo-Leyva<sup>1</sup>, Rafael Olea-Pérez<sup>2</sup>, Patricia Balderas-Hernández<sup>3</sup>, Carlos Manuel Arriaga-Jordán<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales (ICAR), Universidad Autónoma del Estado de México.

<sup>2</sup>Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México. <sup>3</sup>Facultad de Química, Universidad Autónoma del Estado de México. dixan\_pozo@yahoo.com<sup>1</sup>

## **Introducción**

Los Sistemas de Producción de Leche en Pequeña Escala (SPLPE) son la forma de producción de leche más ampliamente distribuida en el mundo, en México representan más del 78% de las unidades lecheras (Celis-Alvarez *et al.*, 2016: 1129) y producen el 37% de la producción nacional (Hemme *et al.*, 2007: 179). Los SPLPE se encuentran en las zonas rurales donde habita el 70% de los pobres, representando al 47% de la población mundial (World Bank 2007: 238); por lo que estos sistemas son claves en el sector pecuario al contribuir a mejorar las condiciones de vida de las familias productoras. Sin embargo, los altos costos de alimentación, por la adquisición de insumos externos a las unidades de producción, disminuyen el margen de ganancia en estos sistemas, donde la alimentación del ganado representa hasta 52.7% de los costos de producción (Alfonso-Ávila *et al.*, 2001: 641) y los insumos proteicos son los más caros.

En el altiplano central mexicano es usual encontrar grupos de unidades de producción que emplean el corte y acarreo de praderas como una estrategia de alimentación que se ha identificado con altos costos de producción, ya que estos sistemas suplen los requerimientos nutritivos de los animales con el ingreso de grandes cantidades de concentrados comerciales, implementándose como alternativa tecnológica en estos sistemas el pastoreo de praderas para reducir los costos de alimentación (Velarde-Guillén *et al.*, 2016: 247).

En la actualidad los productores de leche bovina en el mundo se encuentran en un proceso de optimización de recursos por lo que se requieren sistemas productivos eficientes y amigables con el ambiente, donde el N de las proteínas no solamente juega un papel importante en el costo de producción, sino también como indicador de la gestión ambiental; y es utilizado a nivel internacional para el diagnóstico ambiental de las unidades de producción de leche (Cameron *et al.*, 2012: 929).

Es necesario contar con un sistema que permita conocer la cantidad de nitrógeno que ingresa y que sale de las unidades de producción (Spears, Kohn,

Young, 2003: 4179). En este sentido, el balance de nutrientes es una herramienta agroambiental que le permite identificar sistemas de manejo optimizados que disminuyan los costos productivos con un menor efecto ambiental (del Prado *et al.*, 2006: 115).

El balance de nitrógeno hace más evidente las diferencias entre entradas y salidas de nitrógeno en los sistemas de producción de leche. Así se cuantifica la cantidad de nitrógeno que ingresa, fundamentalmente en forma de fertilizantes orgánicos e inorgánicos, animales de remplazo y alimentos; y que sale del sistema en la venta de estiércol, leche y animales vendidos como desecho, para abasto (como becerros para engorde o animales finalizados) o como pie de cría en la forma de terneras vendidas (Ryan *et al.*, 2011: 1034).

El resto del nitrógeno (nitrógeno en el estiércol, nitrógeno en la orina, nitrógeno lixiviado o volatizado) se mueve dentro del sistema donde una parte es asimilada por los animales, el suelo y las plantas, pero el resto, que es conocido como nitrógeno excedente, se puede encontrar en diferentes formas químicas como amoníaco, amonio, nitrato, o nitrito (Chakwizira, Ruitter, Maley, 2015: 261).

En América Latina y específicamente en México existe poca información con respecto a la cuantificación del nitrógeno en sistemas de producción en pequeña escala, por lo que el objetivo de este estudio fue cuantificar el balance de nitrógeno en sistemas de producción de leche en pequeña escala, con diferentes sistemas de manejo de praderas cultivadas bajo riego en el altiplano central de México, e identificar puntos críticos y de oportunidades en el aprovechamiento del nitrógeno dentro de las unidades de producción de leche en pequeña escala.

### **Procedimiento de cuantificación del nitrógeno**

El estudio se llevó a cabo en el municipio de Aculco perteneciente al Estado de México, situado entre los paralelos 20° 00' y 20° 17' de latitud norte y los meridianos 99° 40' y 100° 00' de longitud oeste, a una altitud entre 2 000 y 3 400 msnm. El clima es templado sub-húmedo con lluvias en verano (mayo a octubre). Las temperaturas medias anuales oscilan entre 10 a 18°C y la precipitación entre 700 a 1000 mm (INEGI, 2009).

Se estudiaron 12 unidades de producción de leche en pequeña escala (UPLPE) pertenecientes al municipio de Aculco; de ellas 6 cuentan con sistema de

manejo de praderas en pastoreo y 6 con praderas de corte y acarreo. La evaluación se hizo en el primer trimestre de la temporada de lluvia (mayo a julio) del año 2016.

Se caracterizaron los sistemas de producción de leche mediante una encuesta rural participativa aplicada mensualmente, permitiendo obtener información acerca de las entradas y salidas de N, datos utilizados para determinar el balance de N (la diferencia entre la suma de las entradas de nitrógeno y la suma de las salidas) y eficiencia de utilización del N (salida de N entre entrada de N). Estas técnicas se han empleado en otras investigaciones a nivel internacional (Fangueiro *et al.*, 2008: 627; Treacy *et al.*, 2008: 108; Ryan *et al.*, 2011: 1034; Jiménez-Castro, Elizondo-Salazar, 2014: 153; Mihailescu *et al.*, 2014: 847).

### **Entrada de nitrógeno**

Tanto las entradas como las salidas de N se expresaron en kg/vaca/día para evitar el efecto de comparar UPLPE con diferente tamaño del hato. Las entradas de N en el periodo evaluado consistieron en alimentos, fundamentalmente concentrados comerciales y fertilizantes inorgánicos. Las entradas por concepto de fijación biológica en las praderas por asociación con trébol, mineralización de N en el suelo y deposiciones atmosféricas no fueron estimadas en esta investigación ya que estas fuentes de N no entraron por la puerta de las UPLPE (Treacy *et al.*, 2008: 107),

Para determinar la cantidad de alimento ingresado en las UPLPE se utilizaron los registros de compras de alimento y se convirtió en kg de alimentos consumidos por día; la composición química de los alimentos se obtuvo de las bases de datos de investigaciones previas.

Las entradas por concepto de fertilizante se estimaron teniendo en cuenta los datos de entrada de fertilizante convirtiéndolos a kg totales y corregidos por la proporción de nitrógeno según la fórmula química del tipo de fertilizante. Los más utilizados fueron urea con un 46 % de nitrógeno total y Fosfato Diamónico 18-46-00, con un 18 % de nitrógeno total y 46 % de fósforo (como  $P_2O_5$ ), en ambos casos se presenta en forma granulada con un peso de 50 kg por bulto.

### **Salidas de nitrógeno**

Para cuantificar la cantidad de N que sale, se tomaron muestras de leche individuales de cada animal de las 12 UPLPE, se determinó la composición química de la leche empleando un analizador de leche por ultrasonido (Alfonso-Ávila *et al.*, 2012: 639). El contenido de proteína en g de proteína/kg de leche, se obtuvo

multiplicando el % de proteína cruda por 10 y este por la densidad de la leche. Para convertirlo en kg de N/kg de leche se dividió entre 1000 y esto entre el factor 6.38 para obtener el contenido de kg N/kg de leche/vaca/día según la Norma Oficial Mexicana (NOM-155-SCFI-2003: 25).

Una segunda muestra de leche fue colectada para determinar el contenido de nitrógeno Ureico en Leche (NUL). La muestra fue congelada y el día del análisis se descongeló en baño de María y luego de mezclarse se colocó 1 mL de la muestra en un tubo de micro-centrífuga analizándose por el método colorimétrico que describen Chaney y Marbach, (1962: 131)

Conociendo los datos de los registros de las ventas diarias de leche, se estimó la cantidad de N que sale, partiendo de la determinación de la concentración de proteína en la leche y multiplicando esto por las ventas de leche / UPLPE/día durante 3 meses.

### **Balance de nitrógeno**

Para determinar el balance de nitrógeno dentro de las unidades de producción se utilizó la ecuación de Ryan *et al.* (2011: 1034) balance de N es igual a la diferencia entre la suma de las entradas de N y la suma de las salidas de N.

### **Eficiencia de utilización del nitrógeno (EUN %)**

El cálculo de estos índices permite analizar la eficiencia individual de las UPLPE indicando la proporción de nutrientes que salen de las unidades de producción con respecto al total de nutrientes que ingresan, no es más que la suma de las salidas de N entre las entradas N al sistema por 100 (Spears, Kohn, Young, 2003: 4178; Ryan *et al.*, 2011: 1034)

### **Análisis estadísticos**

Toda la información obtenida se analizó mediante estadística descriptiva (Cuadros 1 y 2). En el caso del Cuadro 3 de Entradas y Salidas de N en las 12 UPLPE (promedio por vaca por trimestre en kg N/vaca/trimestre) y el Cuadro 4 (Balance general de nitrógeno en las 12 UPLPE kg N/ trimestre por UPLPE) se realizó un análisis de varianza, para comparar los resultados obtenidos entre UPLPE con sistema de pastoreo con las UPLPE con sistema de corte. Se empleó el software Minitab® 16.1.0.

## Producción y características de la leche en las UPLPE

El Cuadro 1 muestra las características de las Unidades de Producción de Leche en Pequeña Escala (UPLPE) que realizan el uso de sus praderas mediante pastoreo; y el Cuadro 2 muestra las características de las UPLPE que utilizan el corte y acarreo de las praderas. Se presenta el tamaño del hato productor de leche, los rendimientos, y los resultados del análisis de composición química de la leche y el contenido de nitrógeno ureico en leche para cada una de las UPLPE participantes.

**Cuadro 1. Características del hato y composición de la leche en las UPLPE con praderas en pastoreo**

| UPLPE                      | UPLPE Praderas en Pastoreo |      |      |      |      |      |      |      |       |     |
|----------------------------|----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-----|
|                            | 1                          | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | MAX  | MIN  | MEDIA | EEM |
| Número de vacas            | 11.0                       | 22.0 | 8.0  | 9.0  | 6.0  | 15.0 | 22.0 | 6.0  | 11.8  | 2.4 |
|                            | Producción de leche        |      |      |      |      |      |      |      |       |     |
| (kg/vaca/día)              | 12.7                       | 16.0 | 18.0 | 20.1 | 16.7 | 12.3 | 20.1 | 12.3 | 16.1  | 1.4 |
|                            | Composición de leche       |      |      |      |      |      |      |      |       |     |
| Proteína g/kg              | 32.3                       | 33.1 | 32.2 | 33.4 | 32.4 | 31.7 | 33.4 | 31.7 | 32.3  | 0.2 |
| Grasa g/kg                 | 35.7                       | 41.2 | 38.1 | 34.0 | 37.4 | 33.7 | 41.2 | 33.7 | 36.5  | 1.1 |
| Densidad g/cm <sup>3</sup> | 1.03                       | 1.03 | 1.03 | 1.03 | 1.03 | 1.03 | -    | -    | -     | -   |
| Lactosa (g/kg)             | 47.1                       | 47.9 | 47.1 | 48.5 | 47.3 | 46.0 | 48.5 | 46.0 | 47.3  | 0.0 |
| NUL mg/dL                  | 7.2                        | 10.4 | 18.5 | 14.0 | 11.4 | 18.9 | 18.9 | 7.17 | 13.4  | 1.9 |

MAX= valor máximo MIN=Valor mínimo EEM= error estándar de la media NUL= Nitrógeno Ureica en Leche.

La alimentación durante la época de muestreo fue con base en el uso de praderas, ya sea en pastoreo o praderas de corte, suplementadas con concentrado comercial. Adicionalmente incorporan grano de maíz molido, rastrojo de maíz, salvado de maíz (llamado masilla, un subproducto de la elaboración de jarabe de fructuosa), ensilado de maíz y heno de alfalfa, según la estrategia de alimentación empleada.

Los datos obtenidos en el Cuadro 1 y 2 son similares en rendimientos de leche a lo reportado por Arriaga-Jordán *et al.* (2002: 383), Alfonso-Ávila *et al.* (2012: 642), y López-González *et al.* (2016: 287), en cambio difiere de Fadul-Pacheco *et al.* (2013: 888) quienes encontraron una producción menor con un promedio de 13. kg de leche/vaca por día.

Las 12 UPLPE estudiadas muestran resultados heterogéneos, el número de animales varía entre 6 a 22 vacas y sus reemplazos, con un promedio de 11 vacas



por UPLPE y una producción de leche promedio de 15 kg por vaca por día en dos ordeños (mañana y tarde), con un contenido de proteína entre 30.3 y 34.7 g/kg (Cuadro 1 y 2).

**Cuadro 2. Características del hato y composición de la leche en las UPLPE en praderas de corte**

| UPLPE                      | UPLPE Praderas en Corte |      |      |      |      |      |      |      |       |     |
|----------------------------|-------------------------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-----|
|                            | 1                       | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | MAX  | MIN  | MEDIA | EEM |
| Número de vacas            | 13.0                    | 17.0 | 9.0  | 7.0  | 10.0 | 14.0 | 17.0 | 7.0  | 11.6  | 1.5 |
| Producción de leche        |                         |      |      |      |      |      |      |      |       |     |
| Kg/vaca/día                | 14.9                    | 10.3 | 8.5  | 18.2 | 17.1 | 12.1 | 18.2 | 8.5  | 13.5  | 1.6 |
| Composición de leche       |                         |      |      |      |      |      |      |      |       |     |
| Proteína g/kg              | 32.4                    | 32.7 | 30.3 | 34.3 | 33.1 | 33.1 | 34.3 | 30.3 | 32.6  | 0.5 |
| Grasa g/kg                 | 32.0                    | 41.7 | 33.7 | 36.0 | 33.9 | 41.6 | 41.7 | 32.0 | 36.4  | 1.7 |
| Densidad g/cm <sup>3</sup> | 1.03                    | 1.03 | 1.03 | 1.03 | 1.03 | 1.03 | -    | -    | -     | -   |
| Lactosa (g/kg)             | 47.1                    | 47.4 | 49.1 | 49.9 | 48.2 | 47.9 | 49.9 | 47.1 | 48.2  | 2.7 |
| NUL mg/dL                  | 11.6                    | 15.6 | 12.0 | 11.8 | 15.2 | 16.3 | 16.3 | 11.6 | 13.7  | 0.8 |

MAX= valor máximo MIN=Valor mínimo EEM= error estándar de la media NUL= Nitrógeno Ureica en Leche

### Entradas y salidas de nitrógeno

Las principales fuentes de entrada de N en las UPLPE en el trimestre evaluado fueron fertilizantes y alimentos correspondiendo con lo planteado por O'Connell, Humphreys, Watson, (2004: 16) y Ryan *et al.* (2011: 1037).

El mayor ingreso de N fue por la compra de fertilizantes (Cuadro 3) representando el 80.13% de las entradas totales con una media general de  $67.25 \pm 48.48$  kg de N por vaca por trimestre. Las UPLPE con sistema de alimentación praderas en pastoreo presentan una media  $84.73 \pm 65.50$  kg de N por vaca por trimestre, en cambio las UPLPE con sistema de alimentación praderas de corte tienen una media de  $49.78 \pm 16.18$  kg de N/vaca, lo que indica una mayor eficiencia en el uso de fertilizante de forma numérica, aunque estadísticamente no existen diferencias ( $P > 0.05$ ) entre a las UPLPE con pastoreo o las que cortan pradera. La fertilización de las praderas de corte se basa fundamentalmente en la aplicación de estiércol de la propia unidad de producción.

Las entradas por compra de alimentos presentaron una media general de  $16.67 \pm 6.47$  kg de N por vaca por trimestre, donde las UPLPE con sistema de alimentación por praderas de corte tienen una media de  $19.44 \pm 7.47$  kg de N por

vaca por trimestre, mientras que las de pastoreo tienen una mejor eficiencia de utilización del N en cuanto a alimentos comprados, con una media de  $13.91 \pm 4.25$ . En general la alimentación representa el 19.87% de las entradas, correspondiendo con lo planteado por Ryan *et al.* (2011: 1036) y difiriendo a los resultados encontrados por Hristov, Hazen, Ellsworth (2006: 3706) quienes reportan un 90% de entradas de N por concepto de alimentación.

**Cuadro 3. Entradas y salidas de N en las 12 UPLPE promedio por vaca por trimestre (kg de N/vaca/trimestre)**

| ULPEP | Entradas      |       |           |       |                  |       | Salidas        |       |
|-------|---------------|-------|-----------|-------|------------------|-------|----------------|-------|
|       | Fertilizantes |       | Alimentos |       | Entradas totales |       | Venta de leche |       |
|       | Pastoreo      | Corte | Pastoreo  | Corte | Pastoreo         | Corte | Pastoreo       | Corte |
| 1     | 195.0         | 64.7  | 8.4       | 9.1   | 203.4            | 73.8  | 4.4            | 6.3   |
| 2     | 77.4          | 24.9  | 15.9      | 13.9  | 93.3             | 38.8  | 5.7            | 4.1   |
| 3     | 21.7          | 44.3  | 17.5      | 16.4  | 39.2             | 60.7  | 5.0            | 2.8   |
| 4     | 117.2         | 70.3  | 13.3      | 28.7  | 130.5            | 98.9  | 7.4            | 7.0   |
| 5     | 26.8          | 48.6  | 18.8      | 23.9  | 45.6             | 72.5  | 5.6            | 4.8   |
| 6     | 70.1          | 45.9  | 9.5       | 24.7  | 79.7             | 70.6  | 3.7            | 5.1   |
| MAX   | 195.0         | 70.3  | 18.8      | 28.7  | 203.4            | 98.9  | 7.4            | 7.0   |
| MIN   | 21.7          | 24.9  | 8.4       | 9.1   | 39.3             | 38.8  | 3.7            | 2.8   |
| Media | 84.7          | 49.8  | 13.9      | 19.4  | 98.6             | 69.2  | 5.3            | 5.0   |
| EEM   | 19.2          |       | 2.5       |       | 18.5             |       | 0.6            |       |
| P     | ns            |       | ns        |       | ns               |       | ns             |       |

MAX= valor máximo MIN=Valor mínimo EEM= error estándar de la media (P<0.05)

ns= No significativo Literales diferentes en la misma columna indican diferencias significativas (P<0.05)

En el periodo evaluado el 100% de las salidas de N corresponden a la leche vendida a diferencia de otras investigaciones donde se reportan salidas por venta de estiércol, alimentos y animales. Por esta razón Hristov, Hazen, Ellsworth, (2006: 3707) encontraron que la producción de leche representó el 54% de las salidas de N; lo que se debe a que en países como Holanda existen directivas que restringen la utilización de estiércol, lo que obliga a los productores a venderlo (Aarts, Habekott'e, Keulen, 2000: 232; Humphreys, O'Connell, Casey, 2008: 467).

Otra salida que se considera importante es la venta de animales por concepto de desechos o reemplazos (Ryan *et al.*, 2011: 1013). Jiménez-Castro y Elizondo-Salazar, (2014: 155) reportan resultados del 7% de salidas por venta de animales y

un 93% por leche vendida, resultados más cercanos a los encontrados en este estudio.

Las salidas de N en leche vendida van de 2.8 a 7.4 kg de N por vaca por trimestre con una media de  $5.15 \pm 1.38$ , sin diferencias significativas entre pastoreo y corte.

Estos valores son diferentes a los resultados de Ryan *et al.* (2011: 1037) quienes evaluaron sistemas basados en pastoreo en Irlanda con diferentes genotipos y estrategias de alimentación, valores que variaron entre un mínimo de 35.2 a un máximo de 42.3 kg N/vaca/año; que representan más del doble que lo obtenido en el trabajo aquí reportado, proyectando los resultados a un año.

Ryan *et al.* (2011: 1033) estudiaron nueve sistemas de producción basados en pastoreo comparando tres genotipos de vacas Holstein Friesian, con rendimientos promedio entre 20.5 y 25.3 kg leche/vaca/día, con un contenido de proteína de 35.1 a 37.4 g/kg; superior a los 15 kg de leche/vaca/día con un contenido de proteína entre 30.3 y 34.7 g/kg de los resultados aquí reportados.

### **Balance de nitrógeno**

El balance general de N muestra que los resultados son positivos para las 12 UPLPE, solo el 6.1 % de las entradas se encuentran como salidas. Estos resultados están muy por debajo del 14 % reportado en 1980 por Aarts, Habekotté, Keulen, (2000: 231) como promedio, indicando que se tiene un desbalance de N lo que se traduce en una insuficiente gestión de nutrientes dentro de las UPLPE, pudiendo representar un riesgo para el ambiente por pérdidas en suelo (desnitrificación), agua (lixiviación) y aire (volatilización) (O'Connell, Humphreys, Casey, 2008: 467; Mihailescu *et al.*, 2014: 844; Chakwizira, Ruiters, Maley, 2015: 260).

La EUN en todos los casos fue baja con una media general de 7.4%; lo que indica que el 92.6% del N que entra a las UPLE permanece dentro de éstas. En contraste, Treacy *et al.* (2008: 110) reportan una EUN entre 18 y el 20%.

En esta investigación se encuentran puntos críticos, como el uso de fertilizantes nitrogenados sintéticos que representa el 80.6 % de las entradas, lo que puede estar dado por la baja fertilidad de los suelos (Treacy *et al.*, 2008: 112) siendo un punto a tener en cuenta para futuras investigaciones.

Un área de oportunidad es la identificación de factores que permiten mayor eficiencia en la utilización del nitrógeno a las UPLPE 3 y 5 bajo praderas de corte,

con una eficiencia media de 12.3 a 12.8%, y la UPLPE 2 en pastoreo con una EUN del 10.6% al representar estas tres UPLPE las de mejor eficiencia.

**Cuadro 4. Balance general de nitrógeno en las 12 UPLPE kg/ trimestre**

| ULPEP | Entradas      |       |           |       | Salidas  |       | Balance  |        | EUN %    |       |
|-------|---------------|-------|-----------|-------|----------|-------|----------|--------|----------|-------|
|       | Fertilizantes |       | Alimentos |       | Leche    |       | Pastoreo | Corte  | Pastoreo | Corte |
|       | Pastoreo      | Corte | Pastoreo  | Corte | Pastoreo | Corte |          |        |          |       |
| 1     | 1950.0        | 841.0 | 84.4      | 118.8 | 44.05    | 81.5  | 1990.4   | 878.25 | 2.2      | 8.5   |
| 2     | 1704.0        | 423.0 | 349.1     | 236.0 | 124.51   | 69.9  | 1928.6   | 589.09 | 6.1      | 10.6  |
| 3     | 174.0         | 399.0 | 140.1     | 147.2 | 40.12    | 25.6  | 273.9    | 520.55 | 12.8     | 4.7   |
| 4     | 1055.0        | 492.0 | 119.8     | 200.7 | 66.59    | 49.2  | 1108.2   | 643.47 | 5.7      | 7.1   |
| 5     | 161.0         | 486.0 | 112.9     | 239.0 | 33.75    | 48.2  | 240.1    | 676.34 | 12.3     | 6.7   |
| 6     | 912.0         | 642.0 | 123.8     | 346.4 | 47.70    | 71.6  | 988.1    | 916.81 | 4.6      | 7.2   |
| MAX   | 1950.0        | 841.0 | 349.1     | 346.4 | 124.51   | 81.5  | 1990.2   | 916.81 | 12.8     | 10.6  |
| MINI  | 161.0         | 399.0 | 84.4      | 118.8 | 33.75    | 25.6  | 240.1    | 520.55 | 2.2      | 4.7   |
| Media | 992.7         | 547.2 | 155.0     | 214.6 | 59.45    | 57.7  | 1088.2   | 704.08 | 7.3      | 7.5   |
| EEM   | 221.1         |       | 36.3      |       | 11.4     |       | 229.08   |        | 0.01     |       |
| P     | ns            |       | ns        |       | ns       |       | ns       |        | ns       |       |

EUN= Eficiencia de utilización del nitrógeno MAX= valor máximo MIN=Valor mínimo EEM= error estándar de la media ns= No significativo ( $P>0.05$ )

## Conclusiones

La UPLPE bajo sistema de manejo de praderas en pastoreo y praderas en corte evaluadas en el primer trimestre de la temporada de lluvia (mayo a julio) del 2016 no muestran diferencias significativas ( $P >0.05$ ) para ninguna de las variables evaluadas.

Un factor que afecta los resultados obtenidos fue la época del año que coincide con la época de siembra en la zona de estudio, lo que aumenta la adquisición y utilización de fertilizantes.

En el trimestre evaluado no se encontraron salidas por venta o muerte de animales, o por venta de estiércol como en otras investigaciones.

El balance de nitrógeno es un indicador de la eficiencia de utilización de N en UPLPE permitiendo identificar puntos críticos y de oportunidades dentro de los sistemas.

El indicador que afecta la eficiencia de utilización del nitrógeno fue la compra de fertilizantes químicos nitrogenados.

Las acciones a tomar deben de ir encaminadas a:

- ✓ Reducir la utilización de fertilizantes
- ✓ Exportar fertilizantes orgánicos
- ✓ Aprovechar los recursos disponibles en la UPLPE para producir la mayor cantidad de los alimentos requeridos por sus hatos
- ✓ Disminuir los costos de compra de insumos externos

### **Literatura citada**

- Aarts H, Habekotté B, Keulen H, 2000. Nitrogen (N) management in the 'De Marke' dairy farming system, *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 56, 231–240
- Alfonso-Ávila A R, Wattiaux, M A, Espinoza-Ortega A, Sánchez-Vera E, Arriaga-Jordán C M, 2012. Local feeding strategies and milk composition in small-scale dairy production systems during the rainy season in the highlands of Mexico, *Tropical Animal Health and Production*, 44, 637–644
- Arriaga-Jordán C M, Albarra-Portillo B, García-Martínez A, Castelán-Ortega O A, 2002. On-Farm Comparison Of Feeding Strategies Based On Forages For Small-Scale Dairy Production Systems In The Highlands Of Central Mexico, *Experimental Agriculture*, 38, 375-388
- Cameron J P, Gourley A F, Warwick J, Dougherty B, David M, Weaver C D, Sharon R, Aarons A, Ivor M, Awty A, Donna M, Gibson A, Murray C, Hannah, A, Andrew P, Smith A, Kenl, Peverill, 2012. Farm-scale nitrogen, phosphorus, potassium and sulfur balances and use efficiencies on Australian dairy farms, *Animal Production Science*, 929 – 944.
- Celis-Alvarez M D, López-González F, Martínez-García C G, Estrada-Flores J G, Arriaga-Jordán C M, 2016. Oat and ryegrass silage for small-scale dairy systems in the highlands of central Mexico, *Tropical Animal Health and Production*, 48, 1129–1134
- Chakwizira E, Ruiters J M, Maley S, 2015. Effects of nitrogen fertiliser application rate on nitrogen partitioning, nitrogen use efficiency and nutritive value of forage kale, *Journal of Agricultural Research*, 58, 259–270
- Chaney A L, Marbach E P, 1962. Modified reagents for determination of urea and ammonia, *Clinical Chemistry*, 8, 130-132
- del Prado A, Brown L, Schulte R, Ryan M, Scholefield D, 2006. Principles of development of a mass balance N cycle model for temperate grasslands: an Irish case study, *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 74, 115–131

- Fadul-Pacheco L, Wattiaux M A, Espinoza-Ortega A, Sánchez-Vera E, Arriaga-Jordán C M, 2013. Evaluation of sustainability of smallholder dairy production systems in the highlands of Mexico during the rainy season, *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 37, 882-901
- Fangueiro D, Pereira J, Coutinho J, Moreira N, Trindade H, 2008. NPK farm-gate nutrient balances in dairy farms from Northwest Portugal, *European Journal of Agronomy*, 28, 625–634
- Hristov A W, Hazen J, Ellsworth, 2006. Efficiency of use of imported nitrogen, phosphorous, and potassium and potential for reducing phosphorous imports on Idaho dairy farms, *Journal of Dairy Science*, 89, 3702-3712
- Hemme T, IFCN (Dairy Team and IFCN Researchers), 2007. Mexico – Milk Production Systems and the Dairy Sector. *IFCN Dairy Report 2007*, International Farm Comparison Network, IFCN Dairy Research Center, Kiel, Germany.
- Humphreys J, O’Connell K, Casey I A, 2008. Nitrogen flows and balances in four grassland-based systems of dairy production on a clay-loam soil in a moist temperate climate, *Grass and Forage Science*, 63, 467–480
- INEGI, 2009. *Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos Aculco, México Clave Geoestadística 15003*. Disponible en: <file:///C:/Users/HP7620/Downloads/INEGI%202009%20Aculco%2015003.pdf>, (Consultado en agosto del 2016)
- Jiménez-Castro J P, Elizondo-Salazar J A, 2014. Balance de Nitrógeno en Fincas Para la Producción de Leche en Costa Rica, *Agronomía Mesoamericana*, 25, 151-160
- López-González F, Rosas-Davila M, Dominguez-Vara I A, Arriaga-Jordán C M, 2016. Evaluación Comparativa de Festulolium con dos Variedades de *Lolium Perenne* L. en Praderas del Altiplano Central de México, en *Innovación Sostenible en Pastos: hacia una Agricultura de Respuesta al Cambio Climático*, pp 285-295
- Mihailescu E, Murphy P N C, Ryan W, Casey I A, Humphreys J, 2014. Nitrogen balance and use efficiency on twenty-one intensive grass-based dairy farms in the South of Ireland, *Journal of Agricultural Science*, 152, 843–859
- Norma Oficial Mexicana NOM-155-SCFI-2003, *Leche, fórmula láctea y producto lácteo combinado-denominaciones, especificaciones fisicoquímicas,*

*información comercial y métodos de prueba.* Disponible en: <http://www.dof.gob.mx/normasOficiales/4692/seeco/seeco.htm>, (Consultado en agosto del 2016)

- O'Connell K, Humphreys J, Watson, C, 2004. Quantification of nitrogen sources for grassland, *Proceedings of the Fertilizer Association of Ireland*, 40, 15–29
- Ryan W, Hennessy D, Murphy J T, Boland L, Shalloo, 2011. A model of nitrogen efficiency in contrasting grass-based dairy systems, *Journal of Dairy Science*, 94, 1032–1044
- Spears R A, Kohn R A, Young A J, 2003. Whole-Farm Nitrogen Balance on Western Dairy Farms, *Journal of Dairy Science*, 86, 4178–4186
- Treacy M, Humphreys J, Mc Namara K, Browne R, Watson C J, 2008. Farm-gate nitrogen balances on intensive dairy farms in the south west of Ireland, *Journal of Agricultural and Food Research*, 47, 105–110
- Velarde-Guillén J, Estrada-Flores J G, Rayas-Amor A A, Vicente F, Martínez-Fernández A, Heredia-Nava D, Arriaga-Jordán C M, 2016. Grano de Maíz Molido como Suplemento para Vacas Lecheras en Pastoreo o Bajo Siega de Praderas en Sistemas de Producción de Leche A Pequeña Escala en México, en *Innovación Sostenible en Pastos: hacia una Agricultura de Respuesta al Cambio Climático*, 55ª Reunión Científica de la Sociedad Española para el Estudio de los Pastos, Lugo- A Coruña, pp 247-252
- World Bank, 2007. *World development report 2008*, Agriculture for Development. The World Bank, Washington D.C., Estados Unidos de América

### 3.4. Discusión general

Los sistemas agrícolas están limitados por su capacidad para transformar el N a productos de consumo. El uso generalizado y las limitaciones biológicas de la incorporación de N a los productos crean riesgos ambientales. La mayoría del N aplicado a la tierra que no es incorporado en los productos de consumo se pierde al ambiente. Las múltiples vías de transformación y pérdida del N agrícola pueden tener efectos deteriorando la calidad ambiental a escala local, regional y global. El pronóstico de un aumento en la demanda de alimentos, especialmente para productos de origen animal, exige una búsqueda urgente de prácticas que aumenten la eficiencia del uso de N en la producción agrícola.

En esta investigación se evaluaron 12 sistemas de producción de leche en pequeña escala por el periodo de un año divididos en dos SA. Seis sistemas de producción de leche en pequeña escala que emplearon el SA (corte y acarreo de praderas) y seis que emplearon el SA alternativo (pastoreo de praderas). Se efectuó una entrevista a cada uno de los responsables de los sistemas de producción de forma mensual por el periodo de un año donde se obtuvo la información relacionada con la productividad del hato, del sistema de producción y los flujos de N (Anexo A).

En cuanto a las características de los sistemas de producción se observó que los SA en C presentan una superficie de tierra de 5 ha, 12 vacas en producción de leche más su progenie, con un peso vivo promedio de 557 kg, producción de leche promedio de 13 kg/vaca/día, con un contenido de PC y grada de 33 g/kg. Mientras que los SA en P presentan una superficie de tierra de 16 ha, 11 vacas en producción de leche más su progenie, con un peso vivo de 491 kg, producción de leche promedio de 14 kg/vaca/día, con un contenido de PC de 33 g/kg y grasa de 34 g/kg (Anexo B).

La superficie terrestre influye en la adopción del sistema de alimentación, la extensión de la tierra determina la carga animal y, por lo tanto, la compra de insumos externos a los SA. Cuanto menor es la extensión de tierra, mayores son las compras de alimento para satisfacer las necesidades nutricionales de los animales y asegurar la producción de leche. Martínez-García *et al.* (2015 b) reportó un promedio de 4.25 ha por unidad de producción en sistemas de alimentación en C; este resultado es similar al encontrado en esta investigación. En términos económicos, el aumento en



la carga animal disminuye la rentabilidad de las granjas, lo que hace que estos sistemas sean poco sostenibles, debido a la gran cantidad de suministros externos que utilizan para alimentar al ganado productor de leche, producen menos forraje y dañan al ambiente.

El número de vacas en producción de leche está dado por la mano de obra empleada en los SA. La cual en la mayoría de los casos es mano de obra familiar, permitiendo invertir tiempo en otras actividades que realizan los ganaderos. Su interés no es aumentar el número de animales, ya que sólo implicaría dedicar más tiempo a la producción. Estos resultados fueron inferiores a las 13.3 vacas por hatillo reportados por Fadul-Pacheco *et al.* (2013) en sistemas de producción láctea en pequeña escala.

El peso vivo de los animales está influenciado principalmente por los componentes de las dietas ofrecidas. Los que son a base de paja de bajo nivel nutricional; otros factores son la genética, la edad y el peso en el primer servicio. Estos resultados son similares a los 507.5 kg/vaca reportados por (Alfonso-Ávila *et al.*, 2012) y a los 473.0 kg/vaca encontrados por (Albarrán-Portillo *et al.*, 2012).

La producción de leche está directamente relacionada con el peso del animal y la alimentación; los resultados aquí planteados fueron similares a los reportados por (Martínez-García *et al.*, 2015 b). Mientras que los resultados de Sainz-Sánchez *et al.* (2017) fueron de 12 kg de leche por vaca por día, al evaluar granjas en pastoreo tradicional. Por su parte, Endo *et al.* (2017) reportan una producción de leche de 46 kg por vaca por día en sistemas de producción en Japón con vacas de la raza Holstein.

Los resultados de los rendimientos diarios de leche por vaca y las características de la granja están de acuerdo con las peculiaridades de los sistemas de producción de leche en pequeña escala del altiplano central mexicano. En cuanto a la raza, el sistema de alimentación y el manejo. Aunado a esto las características climáticas y culturales de la zona de estudio (Sainz-Sánchez *et al.*, (2017); Prospero-Bernal *et al.*, (20017); Celis-Álvarez *et al.*, (2016).

En cuanto a la composición química de los ingredientes de la dieta suministrada a cada SA de forma cotidiana por sus propietarios, se observó que ambos SA

ingresaron como insumos externos a los hatos concentrado comercial al 18% o al 20% de PC, maíz molido, rastrojo de maíz, mientras que los SA en corte ingresaron adicionalmente heno de alfalfa y salvado de maíz.

Las principales especies de las praderas para cada SA fueron ryegrass anual o perenne (*Lolium multiflorum* y *L. perenne*, Bargala y Payday), *Festulolium*, *Pennisetum clandestinum* asociadas con trébol blanco (*Trifolium repens*) y de los pastos nativos ofrecidos a los SA en pastoreo fueron (*Hilaria cenchroides*, *Enneapogon desvauxii*, *Bouteloua gracilis*, *Bouteloua hirsuta*, y *Paspalum prostratum* (Anexo C).

Este resultado se corresponde a los resultados obtenidos por Sainz-Sánchez *et al.* (2017) quienes evaluaron el rendimiento de vacas lecheras que pastan pastizales nativos y Velarde-Guillén *et al.* (2017) quienes establecieron el efecto productivo, económico y ambiental de estrategias de alimentación, ambas investigaciones fueron efectuadas en sistemas de producción de leche del altiplano central mexicano.

En cuanto al balance de N en los sistemas de producción (entradas - salidas de N) se observó que las entradas de N a los SA en el periodo evaluado correspondieron a fertilizantes químicos y alimentos, con un total de 841.2 kg/N/hato y 1244.2 kg/N/hato para los SA en C respectivamente, mientras que para los SA en P fue de 1302.8 kg/N/hato y 590.0 kg/N/hato respectivamente (Anexo D).

Los SA en P que son más grandes en extensión, reducen la compra de alimentos (31%) y aumentan las entradas de fertilizantes (69%). Por el contrario, C compra mayores cantidades de alimento (60%) que de fertilizantes (40%). Los resultados de C son similares a los informados por Koesling *et al.* (2017), quienes informaron que el 43 % de las entradas de N corresponden a fertilizantes, ambos sistemas difieren de los informes de Roberts *et al.* (2007); Bengtsson *et al.* (2016), quienes documentaron que las aportaciones de fertilizantes minerales representaron entre el 85% y el 90 % de los insumos totales. El uso de fertilizantes es un tema crítico con respecto a la sostenibilidad de las granjas, ya que puede representar más del 40% de los costos de producción de los cultivos en México (Figuroa *et al.*, 2015).

Las salidas de N obedecieron a la venta de leche y animales, en los SA en C fueron de 245.9 kg/N/hato y 72.0 kg/N/hato respectivamente, mientras que para los SA en P fue de 238.5 kg/N/hato y 50.0 kg/N/hato respectivamente (Anexo E). Estudios realizados por Ramírez y Reheul. (2010) reportan resultados entre 47 y 49 kg/N/ha procedentes de la venta de leche. Por su parte, Ryan *et al.* (2011) encontraron variaciones entre 88 y 103 kg/N/ha y entre 35 y 42 kg/N/vaca. Mientras que Mu *et al.* (2016) reportaron 46.7 kg/N/ha. Estos resultados son diferentes a los encontrados en la presente investigación, influenciados por la producción de leche, la genética de los animales y la conversión de alimento en leche.

La salida de N por la venta de animales es principalmente por terneros machos en lactancia, hembras descartadas en la selección, vacas adultas con trastornos de producción o reproductivos. Estos resultados difieren de 1.3 y 0.6 kg/N/ha informados por Mu *et al.* (2016) en Irlanda y Holanda, respectivamente, y los reportados por Nevens *et al.* (2006) y Ramírez y Reheul. (2010), quienes encontraron productos animales entre 16 y 19 kg/N/ha. Por el contrario, son similares a los de Ryan *et al.* (2011), quienes reportaron entre 6 y 14 kg/N/ha y entre 2 y 5 kg/N/vaca.

Estas diferencias se deben principalmente a la tasa de descarte, el número de animales por unidad de producción y la edad de venta de los terneros, la cual está ligada a eventos económicos en los que los productores pueden vender cierta cantidad de animales a cierta edad, dependiendo de sus necesidades económicas. En general, solo el 13% de las entradas de N se utiliza en productos, leche y animales vendidos, para ambos sistemas.

El balance general de N fue positivo, indicando excedentes de N para ambos SA los cuales pueden perderse al ambiente como amoníaco, amonio, óxido nitroso, nitratos y nitritos (Velthof *et al.*, 2014, Chakwizira *et al.*, 2015). Cuanto más cercano sea este valor a cero, más eficiente será el sistema, ya que los valores negativos indican una sobreexplotación de los recursos internos de los SA (MU *et al.*, 2016).

Las granjas en C presentan excedentes de 1767.6 kg/N/hato; mientras que para P fue de 1604.3 kg/N/hato (Anexo F). Resultados superiores a los reportados por Koesling *et al.* (2017), quienes encontraron excedentes de 7.4 kg/N/ha y 5.3 kg/N/ha en sistemas orgánicos de producción convencional. Otras investigaciones informan

valores entre 259 y 785 kg/N/ha según Roberts *et al.* (2007) y Cameron *et al.* (2012), con cifras que van desde 47 a 601 kg/N/ha.

El balance de N es un indicador de la eficiencia ambiental para hatos y se considera en la formulación de regulaciones para minimizar las pérdidas de N al ambiente; en los Países Bajos, las explotaciones cuyos excedentes superan los 130 kg/N/ha reciben una multa (Powell *et al.*, 2010).

La EUN permite identificar prácticas de gestión para aumentar la eficiencia de la producción, reducir el daño ambiental y asegurar la sostenibilidad a largo plazo de las granjas. Los rangos típicos para estos sistemas de producción varían entre 16 a 30 % de NUE, independientemente de las fuentes de entrada N, ya sean agrícolas (fertilizantes, concentrados comerciales, animales) o no agrícolas (fijación biológica y mineralización) (Roberts *et al.*, 2008). En los SA evaluados la EUN fluctuó entre 5.8 y 28.1 % para C y entre 7.9 y 31.8 % para los sistemas en P (Anexo F).

Los estudios efectuados por Roberts *et al.* (2007) informaron valores que oscilaron entre 10 y 23%. Por su parte, Arndt *et al.* (2015) evaluaron dietas con cuatro niveles de proteína y reportaron promedios entre 24 y 31%. Arriaga *et al.* (2010) encontraron promedios del 21%, la mayor eficiencia fue encontrada por Haas *et al.* (2007) al evaluar SA orgánica en Alemania e informó una eficiencia de hasta 45%; de manera similar, Cameron *et al.* (2012) reportan una eficiencia entre 14 y 50% en granjas en Australia. Por su parte Koesling y col. (2017) encontraron una NUE del 14% para los sistemas convencionales y del 20% para los orgánicos.

Por concepto de alimentación a los animales bajo SA en corte se le ofrecen 1901.5 kg/N/hato, de los cuales en producción de carne se emplean 102.0 kg/N/hato y en purín se excretan 1653.6 kg/N/hato. Por su parte a los animales bajo SA en corte se le ofrecen 1900.9 kg N/hato, de los cuales en producción de carne se emplean 77.9 kg/N/hato y en purín se excretan 1678.8 kg/N/hato (Anexo G).

El lugar de deposición del purín varía de acuerdo al SA. En los SA en C, las vacas y las vaquillas, permanecen el 42 % del tiempo en corrales con piso de cemento y el 58 % del tiempo en corrales con piso de tierra, los terneros permanecen el 50 % del tiempo en corrales con piso de cemento y el 50 % del tiempo en corrales con piso de tierra, mientras que los animales en desarrollo permanecen el 67 % del tiempo en

corrales con piso de cemento y el 33 % del tiempo en corrales con piso de tierra (Anexo H).

Por su parte en los SA en P, las vacas y las vaquillas permanecen el 27 % del tiempo en corrales con piso de cemento y el 40 % del tiempo en corrales con piso de tierra, lugar donde se efectúa el ordeño y permanecen durante la noche. El pastoreo se efectuó por un periodo de 8 horas al día aproximadamente, divididos en pastos nativos (sin labores agrícolas) donde permanecen un 5 % de tiempo o pastos mixtos (con labores agrícolas) donde permanecen el 28 % del tiempo (Anexo I).

Mientras que los terneros permanecen el 38 % del tiempo en corrales con piso de cemento, el 21 % del tiempo en corrales con piso de tierra y el 40 % en pastoreo mixto. Los animales en desarrollo permanecen el 39 % del tiempo en corrales con piso de cemento, el 35 % del tiempo en corrales con piso de tierra y el 25 % en pastoreo mixto (Anexo I). La colección de los purines para ambos casos fue similar, se colectan de forma manual con pala y se transportan en carretillas a un estercolero donde se almacena por un periodo de 180 días aproximadamente, para posteriormente ser empleados como abono orgánico.

Considerando el lugar de deposición y el manejo de purines se establecieron los GEI por sitio de deposición, las emisiones de N<sub>2</sub>O se producen en mayor cantidad en el estercolero con emisiones de 0.086 kg CO<sub>2</sub> –eq para C y 0.063 kg CO<sub>2</sub> –eq para P. En segundo lugar, durante la aplicación de la materia orgánica en el suelo con emisiones de 0.072 kg CO<sub>2</sub> –eq para C y 0.059 kg CO<sub>2</sub> –eq para P (Anexo J).

Por su parte la mayor cantidad de emisiones de CH<sub>4</sub> provienen de la fermentación ruminal en primer lugar, con emisiones de 1.415 kg CO<sub>2</sub> –eq para C y 1.269 kg CO<sub>2</sub> –eq para P. En segundo lugar, el almacenamiento de purines en el estercolero con emisiones de 0.534 kg CO<sub>2</sub> –eq para C y 0.440 kg CO<sub>2</sub> –eq para P (Anexo K). De forma general los GEI para la producción de leche corregida por grasa y proteína fueron de 2.22 kg CO<sub>2</sub>-eq kg leche-aj-LCGP para corte y 2.02 kg CO<sub>2</sub>-eq kg leche-aj-LCGP para pastoreo (Anexo L).

Los SA en C excretan un 4% de N menos que las estrategias en P, independiente de que los manejos de excretas influyen en las emisiones de GEI ya que numéricamente las estrategias en P emiten un 7% de GEI por vaca en hatos al año menos que las estrategias en corte. Resultados similares fueron los reportados por Doltraa *et al* .2018 quienes encontraron una reducción del 5% de emisiones en sistemas en P por vacas y vaquillas al año.

Los resultados obtenidos son un acercamiento al comportamiento de los sistemas de producción de leche en pequeña escala en cuanto al efecto ambiental del flujo de nitrógeno en México, ya que a pesar de ser la forma de producción de leche más abundante ha sido poco estudiada en este sentido, lo que constituye un aporte al conocimiento y sirve de base para futuras investigaciones y para la toma de decisiones de los órganos competentes.

## CONCLUSIONES GENERALES

- En las características de los sistemas de alimentación sólo se observaron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) para superficie de tierra, el índice de independencia alimentaria y rechazo de alimentos.
- En las entradas de N a los sistemas de alimentación en corte ingresan la mayor cantidad de fertilizantes y alimentos por ha. Las entradas de fertilizantes están influenciadas por la época del año.
- Para el balance de N se observó que los hatos con sistema de alimentación en corte tienen mayores remanentes de N.
- La eficiencia de utilización de N permite agrupar a los hatos en poco eficientes, eficientes y muy eficientes.
- Un punto crítico para la utilización del N dentro de los Hatos es la fertilización con más de 140 kg/N/ha.
- En cuanto a la utilización de N y el efecto ambiental se observó que el N ofrecido en la ración, la conversión en coproductos y las emisiones de gases con efecto invernadero procedentes de las pérdidas de N por el manejo de excretas, no mostraron diferencias significativas ( $P > 0.05$ ) para ninguna de las variables evaluadas.
- En esta investigación la estrategia de alimentación y el manejo de excretas no influyeron en las emisiones de gases con efecto invernadero.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre-Villegas, H, A., Larson, R, A., D, J. Reinemann. (2014). From waste-to-worth: Energy, emissions, and nutrient implications of manure processing pathways. *Biofuels Bioprod Biorefin.* 8:770-793.
- Albarrán-Portillo, B., Rebollar-Rebollar, S., García-Martínez, A., Rojo-Rubio, R., Avilés-Nova, F., Arriaga-Jordán, C, M. (2014). Socioeconomic and productive characterization of dual purpose farms oriented to milk production in a subtropical region of Mexico. *Tropical Animal Health and Production.*
- Alfonso-Ávila, A. R, Wattiaux, M. A., Espinoza-Ortega, A., Sánchez-Vera, E., Arriaga, Jordán, C.M. (2012). Local feeding strategies and milk composition in small-scale dairy production systems during the rainy season in the highlands of Mexico. *Tropical Animal Health and Production.* 44:637-644.
- Arriaga, H., Salcedo, G., Calsamiglia, S., Merino, P. (2010). Effect of diet manipulation in dairy cow N balance and nitrogen oxides emissions from grasslands in northern Spain. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 135:132-139.
- Belflower, J, B., Bernard, J, K., Gattie, D, K., Hancock, D, W., Risse, L, M., Rotz. C, A. (2012). A case study of the potential environmental impacts of different dairy production systems in Georgia. *Agric. Syst.* 108:84-93.
- Benchaar, C., Hassanat, F., Gervais, R., Chouinard, P, Y., Petit, H, V., Massé, D, I. (2014). Methane production, digestion, ruminal fermentation, nitrogen balance, and milk production of cows fed corn silage- or barley silage-based diets. *J. Dairy Sci.* 97:961-974.
- Capper, J, L., Cady, R, A., Bauman, D, E. (2009). The environmental impact of dairy production: 1944 compared with 2007. *J. Anim. Sci.* 87:2160-2167.
- Capper, J, L., Castañeda-Gutiérrez, E., Cady, R, A., Bauman. D, E. (2008). The environmental impact of recombinant bovine somatotropin (rbST) use in dairy production. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 105:9668-9673.



- Cárdenas, E. A., Panizo, L. (2005). Sustainable pastures for the high altitude Andean tropics of Colombia. En: O'Mara F, Wilkins R, 'tMannetje L, Lovett D, Rogers P, Boland T. XX International Grassland Congress: Offered papers. Dublin College University. Dublin (Irlanda). pp. 704-845.
- Carlsson, G., Huss-Danell, K. (2003). Nitrogen fixation in perennial forage legumes in the field. *Plant and Soil*. 253:353-372.
- Carmona, J. (2005). El gas metano en la producción ganadera y alternativas para medir sus emisiones y aminorar su impacto a nivel ambiental y productivo. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*. 18:120-135.
- Chaney, A. L., Marbok, E. P. (1962). Modified reagents for determination of urea and ammonia. *Clinical Chemistry* 8:130-132.
- Ciampitti, I. A., Ciarlo, E. A., Conti, M. (2005). Emisiones de óxido nitroso en un cultivo de soja [*Glycine max* (L.) Merrill]: efecto de la inoculación y de la fertilización nitrogenada. *Ciencia del Suelo*. 23:123-131.
- Colombini, S., Galassi, G., Crovetto, G. M., Rapetti, L. (2012). Milk production, nitrogen balance, and fiber digestibility prediction of corn, whole plant grain sorghum, and forage sorghum silages in the dairy cow. *J. Dairy Sci*. 95:4457-4467.
- de Léis, C. M., Cherubini, E., Ruviaro, C. F., da Silva, V. P., do Nascimento-Lampert, V., Spies, A., Soares, S. R. (2015). Carbon footprint of milk production in Brazil: A comparative case study. *Int. J. Life Cycle Assess*. 20:46-60.
- Denman, K.L., Brasseur, G., Chidthaisong, A., Ciais, P., Cox, P.M., Dickinson, R.E., Hauglustaine, D., Heinze, C., Holland, E., Jacob, D., Lohmann, U., Ramachandran, S., da Silva Dias, P.L., Wofsy, S.C., Zhang, X., 2007. Couplings between changes in the climate system and biogeochemistry. In: Solomon, S., Qin, D., Manning, M. (Eds.)
- Doole, G. J. (2014). Least-cost greenhouse gas mitigation on New Zealand dairy farms. *Nutr Cycl. Agroecosyst*. 98:235-251.

- Elizondo-Salazar, J. (2006). El Nitrógeno En Los Sistemas Ganaderos De Leche. *Agronomía Mesoamericana*. 17:69-77.
- EPA. (2006). *Global Anthropogenic Non-CO2 Greenhouse Gas Emissions: 1990-2020*. Washington, DC, EPA.
- EPA. (2010). *Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990-2008* (acceso el 27 de septiembre de 2016. Disponible en <http://www.epa.gov/climatechange/emissions/usinventoryreport.html>).
- EPA. (2011). *Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990 – 2009*, Washington, DC, EPA (acceso el 21 de julio de 2015. Disponible en [http://epa.gov/climatechange/emissions/daydownloads11/US-GHG-Inventory-2011-Complete\\_Report.pdf](http://epa.gov/climatechange/emissions/daydownloads11/US-GHG-Inventory-2011-Complete_Report.pdf)).
- Espinoza-Ortega, A., Espinosa-Ayala, E., Bastida-López, J., Castañeda-Martínez, T., Arriaga-Jorda, C, M. (2007). Small-Scale Dairy Farming In The Highlands Of Central Mexico: Technical, Economic And Social Aspects And Their Impact On Poverty. *Experimental Agriculture*. 43:241-256.
- Fadul-Pacheco, L., Wattiaux, M, A., Espinoza-Ortega, A., Sánchez-Vera, E., Arriaga-Jordán, C, M. (2013). Evaluation of sustainability of smallholder dairy production systems in the highlands of Mexico during the rainy season. *Agroecology and Sustainable Food Systems* 37:882-901.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2010a). *Status and prospects for smallholder milk production a global perspective*. (FAO:Roma).
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2010b). *Greenhouse gas emission from the dairy sector: a life cycle assessment*. (FAO: Rome).
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2009). *La larga sombra del Ganado: Problemas ambientales y opciones*. FAO Roma, Italia.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO. (2006). *La larga sombra del Ganado. Problemas ambientales y opciones*. FAO, Roma, Italia.
- Garzón, J, E., Cárdenas, E, A. (2013). Emisiones antropogénicas de amoníaco, nitratos y óxido nitroso: compuestos nitrogenados que afectan el medio

ambiente en el Sector Agropecuario Colombiano. *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*, 60:121-138.

González, N., Galindo, J., González, R., Sosa, Areadne; Moreira, O., Delgado, D., Martín, E., Sanabria, C. (2006). Utilización de la técnica de PCR en tiempo real y de la producción de gas in vitro para determinar el efecto del ácido bromoetano sulfónico en la metanogénesis y la población microbiana ruminal. *Revista Cubana de Ciencias Agrícolas*. 2:183-189.

Hernández, T, I. (2011). Manual de laboratorio para análisis de ingredientes utilizados en la alimentación animal. Patrona de apoyo a la investigación y experimentación Pecuaria en México, A.C. Universidad Autónoma del Estado de México.

IDF. International Dairy Federation. (2009). Environmental/ecological impact of the dairy sector: Literature review on dairy products for an inventory of key issues. Bulletin 436/2009. IDF, Brussels, Belgium.

IPCC. (2006). Climate Change. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, vol. 4, Agriculture, Forestry and Other Land Use. Emissions From Livestock and Manure Management. Intergovernmental Panel on Climate Change. [/http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4\\_Volume4/V4\\_10\\_Ch10\\_Livestock.pdf](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4_Volume4/V4_10_Ch10_Livestock.pdf) (chapter 10).

IPCC. (2007). Climate Change 2007: Mitigation of Climate Change. In: Metz, B., Davidson, O.R., Bosch, P.R., Dave, R., Meyer, L.A. (Eds.), Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA

Jiménez-Castro, J, P., Elizondo-Salazar, J, A. (2014). Balance de Nitrógeno en fincas para la producción de leche en Costa Rica, *Agronomía Mesoamericana*. 25: 151-160.

- Leslie, M., Aspin, M., Clark, H. (2008). Greenhouse gas emissions from New Zealand agriculture: issues, perspectives and industry response. *Austr. J. Exp. Agric.* 48:1-5.
- Lesschen, J, P., Velthof, G., de Vries, W., Kros, J. (2011). Differentiation of nitrous oxide emission factors for agricultural soils. *Environ Pollut.* 159:3215-3222.
- Mapas de Aculco. (2018) Mapa, coordenadas GPS e imagen satelital de Aculco, México Aculco. <https://www.dices.net/mapas/mexico/mapa.php?id=62674> consultado en enero del 2018.
- Mishima, I, S., Kimura, D, S., Eguchi, S., Shirato, Y. (2012). Estimation of the amounts of livestock manure, rice straw, and rice straw compost applied to crops in Japan: a bottom-up analysis based on national survey data and comparison with the results from a top-down approach. *Soil Science and Plant Nutrition.* 58:83-90.
- Mohar, H, F. (2007a). *Bioquímica animal. Tomo I. Segunda edición* Editorial: Félix Varela. Pp. 7-11.
- Montes, F; Meinen, R; Dell, C, Rotz, A; Hristov, A. N; Oh, J; Waghorn, G; Gerber, P. J; Henderson, B; Makkar, H. P. S; and Dijkstra, J. (2013) SPECIAL TOPICS- Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: II. A review of manure management mitigation options. *J ANIM SCI* 91:5070-5094.
- NMX-F-068-S-1980. Normas Mexicanas, Determinación de proteínas en alimentos. Foods determination of proteins.
- NOM-155-SCFI. (2003). Leche, fórmula láctea y producto lácteo combinado- denominaciones, especificaciones fisicoquímicas, información comercial y métodos de prueba.
- Nousiainen, J., Shingfield, J, K., Huhtanen, P. (2004). Evaluation of Milk Urea Nitrogen as a Diagnostic of Protein Feeding. *J. Dairy Sci.* 87:386-398.
- NRC. National Research Council. (2001). *Nutrient Requirements of Dairy Cattle.* 7th rev. ed. Natl. Acad. Press, Washington, DC.

- O'Mara, F, P. (2011). The significance of livestock as a contributor to global greenhouse gas emissions today and in the near future. *Anim. Feed Sci Technol.* 167:7-15.
- Pardo, O., Carulla, E, J., Hess, D. (2008). Effect of protein and energy relationship on the levels of ammonium rumen and blood urea nitrogen and milk, in dual purpose cows at the llanero foothills, Colombia. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 21:387-397.
- Peoples, M., Herridge, D., Ladha, J. (1995). Biological nitrogen fixation: an efficient source of nitrogen for sustainable agricultural production. En: Peoples M, Ladha J. *Management of biological nitrogen fixation for the development of more productive and sustainable agricultural systems.* *Plant Soil.* 174:3-28.
- Pinos-Rodríguez, J, M., García-López, J, C., Peña-Avelino, L, Y., Rendón-Huerta, J, A., González-González, C, Tristán-Patiño, F. (2012). Impactos y regulaciones ambientales del estiércol generado por los sistemas ganaderos de algunos países de América. *Agrociencia.* 46: 359-370.
- Powell, J, M., Gourley, C, J., Rotz, C, A., Weaver, D, M. (2010). Nitrogen use efficiency: A potential performance indicator and policy tool for dairy farms. *Environ. Sci. Policy.* 3:217-228.
- Powell, J, M., Macleod, M., Vellinga, T, V., Opio, C., Falcucci, A., Tempio, G., Steinfeld, H., Gerber, P. (2013). Feed–milk–manure nitrogen relationships in global dairy production systems. *Livest Sci.* 152:261-272.
- Powell, J.M., Aarons, S.R., Gourley, C.J.P. (2012). Determinations of feed– milk– manure relationships on grazing-based dairy farms. *Animal* 6:1702–1710.
- Powell, J.M., McCrory, D.F., Jackson-Smith, D.B., Saam, H. (2005). Manure collection and distribution on Wisconsin dairy farms. *J. Environ. Qual.* 34:2036-2044.
- Powell, J, M., Wattiaux, M, A., Broderick, G, A. (2011). Short communication: Evaluation of milk urea nitrogen as a management tool to reduce ammonia emissions from dairy farms. *J. Dairy Sci.* 94:4690-4694.

- Ryan, W., Hennessy, D., Murphy, J, T., Boland, L., Shalloo. (2011). A model of nitrogen efficiency in contrasting grass-based dairy systems. *J. Dairy Sci.* 94:1032-1044.
- SAGARPA Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación e INIFAP - Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. (2011). Guía PROGAN, Estado de México. Programa de uso sustentable de recursos naturales para la producción primaria. Componente: Producción pecuaria sustentable y ordenamiento ganadera y apícola. PROGAN.
- Schils., R, L, M. Verhagen., A. Aarts., H, F, M. Kuikman., P, J. Ebek., L, B, J, S. (2006). Effect of improved nitrogen management on greenhouse gas emissions from intensive dairy systems in the Netherlands. *Global Change Biology.* 12:382-391.
- Shindo, J., Okamoto, K., Kawashima, H., Konohira, E. (2009). Nitrogen flow associated with food production and consumption and its effect on water quality in Japan from 1961 to 2005. *Soil Science and Plant Nutrition.* 55:532-545.
- Shin-ichiro, M. (2001). Recent trend of nitrogen flow associated with agricultural production in Japan. *Soil Science and Plant Nutrition.* 47:157-166.
- Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Otros, A. (2007). *Climate change 2007: The physical science basis.* Cambridge y New York: Cambridge University Press - IPCC. pp. 212-544.
- Stott, K, J., Gourley, C, J, P. (2016). Intensification, nitrogen use and recovery in grazing-based dairy systems. *Agric Syst.* 144:101-112.
- Toshiyuki-Nagumo., Ryusuke-Hatano. (2000). Impact of nitrogen cycling associated with production and consumption of food on nitrogen pollution of stream water, *Soil Science and Plant Nutrition.* 46:325-342.
- Van der Meer, H, G. (19969). Utilization and losses nitrogen in grazed grassland. En: Struik E, Maesen P (ed). *Grassland science in perspective.* Wageningen (The Netherlands): Agricultural University Papers, 21:13-27.

## ANEXOS

### Anexo A: Entrevista efectuada a los productores en el periodo evaluado

Nombre: \_\_\_\_\_ Fecha \_\_\_\_\_

#### Datos productivos

Litros Producidos \_\_\_\_\_ Vendidos \_\_\_\_\_ Precio \_\_\_\_\_

Vacas ordeño \_\_\_\_\_ Vacas secas \_\_\_\_\_ Vaquillas \_\_\_\_\_ Becerros \_\_\_\_\_ TT hato \_\_\_\_\_

Venta de animales. Categoría \_\_\_\_\_ Peso \_\_\_\_\_ Precio \_\_\_\_\_

Animales Muertos o Sacrificados \_\_\_\_\_ Categoría \_\_\_\_\_ Peso \_\_\_\_\_

| Animales | PV Kg | P Leche | Tiempo en lactación | # partos |
|----------|-------|---------|---------------------|----------|
|          |       |         |                     |          |
|          |       |         |                     |          |
|          |       |         |                     |          |

#### Alimentos comprados o producidos

| Alimentos | Kg x vaca | Kg x día | Kg x semana | Kg x mes | Precio |
|-----------|-----------|----------|-------------|----------|--------|
|           |           |          |             |          |        |
|           |           |          |             |          |        |

#### Manejo de purín

Colección: Pala \_\_\_\_\_ Maquinaria \_\_\_\_\_ Otro \_\_\_\_\_ Tiempo \_\_\_\_\_ Cantidad \_\_\_\_\_

Almacenamiento:

A) Estercolero: \_\_\_\_\_ Dinámico \_\_\_\_\_ Estático \_\_\_\_\_ Extendido \_\_\_\_\_ Apilado \_\_\_\_\_ Tiempo \_\_\_\_\_

B) Diaria \_\_\_\_\_ Cantidad \_\_\_\_\_ C) Otros \_\_\_\_\_

Observaciones:

Disposición: Pradera \_\_\_\_\_ Cantidad \_\_\_\_\_ Tierra de cultivo \_\_\_\_\_ Cantidad \_\_\_\_\_ Venta \_\_\_\_\_ Cantidad \_\_\_\_\_ Costo \_\_\_\_\_

**Uso de Fertilizantes**

| Fertilizantes | Kg x ha | Cantidad TT | Costo | Contenido de N |
|---------------|---------|-------------|-------|----------------|
|               |         |             |       |                |
|               |         |             |       |                |

Nota. \_\_\_\_\_

**Uso de suelo**

Ha totales \_\_\_\_\_ Propias \_\_\_\_\_ Rentadas \_\_\_\_\_ Costo \_\_\_\_\_

| Uso | ha |
|-----|----|
|     |    |
|     |    |
|     |    |



## Anexo B: Características de los sistemas de alimentación

| SA    | Tierra (ha) | Vacas en hato (cabeza) | Peso vivo (kg/vaca) | Nacencia anual (%) | Reemplazo anual (%) | Leche (kg/vaca/día) | PC de la leche (g/kg) | Grasa de la leche (g/kg) | Índice de independencia alimentaria | % de rechazo del alimento |
|-------|-------------|------------------------|---------------------|--------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|--------------------------|-------------------------------------|---------------------------|
| C-1   | 6           | 14                     | 453                 | 71                 | 21                  | 12.58               | 32.8                  | 33                       | 66                                  | 14                        |
| C-2   | 5           | 17                     | 525                 | 76                 | 24                  | 12.58               | 33.4                  | 33                       | 58                                  | 13                        |
| C-3   | 4           | 10                     | 484                 | 60                 | 20                  | 11                  | 33.7                  | 34                       | 61                                  | 11                        |
| C-4   | 5           | 6                      | 569                 | 67                 | 17                  | 14                  | 33.5                  | 34                       | 58                                  | 7                         |
| C-5   | 6           | 10                     | 489                 | 70                 | 20                  | 12.3                | 32.6                  | 33                       | 63                                  | 16                        |
| C-6   | 6           | 14                     | 557                 | 71                 | 21                  | 13                  | 33.2                  | 33                       | 64                                  | 13                        |
| MIN   | 4           | 6                      | 453                 | 60                 | 17                  | 11                  | 32.6                  | 33                       | 58                                  | 7                         |
| MAX   | 6           | 17                     | 569                 | 76                 | 24                  | 14                  | 33.7                  | 34                       | 66                                  | 16                        |
| Media | 5           | 12                     | 513                 | 69.2               | 21                  | 12.6                | 33.2                  | 33.3                     | 61.7                                | 12.3                      |
| P-1   | 17          | 8                      | 472                 | 75                 | 25                  | 12.9                | 33.7                  | 34                       | 82                                  | 31                        |
| P-2   | 20          | 8                      | 494                 | 75                 | 25                  | 13.7                | 33.6                  | 34                       | 76                                  | 23                        |
| P-3   | 28          | 20                     | 486                 | 80                 | 20                  | 13.6                | 33.4                  | 33                       | 82                                  | 19                        |
| P-4   | 14          | 12                     | 492                 | 67                 | 25                  | 15.8                | 32.8                  | 33                       | 87                                  | 24                        |
| P-5   | 4           | 7                      | 497                 | 43                 | 14                  | 13.5                | 33.7                  | 34                       | 86                                  | 14                        |
| P-6   | 11          | 13                     | 503                 | 62                 | 23                  | 12.58               | 33.2                  | 34                       | 83                                  | 18                        |
| MIN   | 4           | 7                      | 472                 | 43                 | 14                  | 12.6                | 32.8                  | 33                       | 76                                  | 14                        |
| MAX   | 28          | 20                     | 503                 | 80                 | 25                  | 15.8                | 33.7                  | 34                       | 87                                  | 31                        |
| Media | 16          | 11                     | 491                 | 67                 | 22                  | 13.7                | 33.4                  | 34                       | 82.7                                | 21.5                      |

SA= sistemas de alimentación P= sistemas de alimentación en pastoreo C= sistemas de alimentación en corte MIN= valores mínimos MAX= valores máximos

### Anexo C: Composición química de los ingredientes de la ración

| Ingredientes              | MS<br>g/kg | PC<br>g/kg/MS | N<br>g/kg/MS |
|---------------------------|------------|---------------|--------------|
| Pastos nativos (Pastoreo) | 35         | 168.8         | 27           |
| Pastos mixtos (Pastoreo)  | 20         | 193.8         | 31           |
| Pastos mixtos (Corte)     | 76         | 125.0         | 20           |
| Heno alfalfa (Corte)      | 87         | 193.8         | 31           |
| Salvado de maíz (Corte)   | 88         | 150.0         | 24           |
| Pastos nativos (Pastoreo) | 35         | 168.8         | 27           |
| Pastos mixtos (Pastoreo)  | 20         | 193.8         | 31           |
| Silo de maíz (Ambos)      | 32         | 75.0          | 12           |
| Rastrojo de Maíz (Ambos)  | 96         | 43.8          | 7            |
| Maíz Molido (Ambos)       | 89         | 106.3         | 17           |
| Silo Avena (Ambos)        | 75         | 81.3          | 13           |
| Silo Cebada (Ambos)       | 24.2       | 62.5          | 10           |
| Concentrado 18 (Ambos)    | 92         | 175.0         | 28           |
| Concentrado 20 (Ambos)    | 92         | 193.8         | 31           |

MS= Materia seca PC= Proteína cruda N= Nitrógeno

**Anexo D: Valores medios para las entradas totales de N por sistema de alimentación y época del año (kg N/hato)**

| Entradas N (kg N/hato) |                    |       |                |        |             |        |
|------------------------|--------------------|-------|----------------|--------|-------------|--------|
| SA                     | Fertilizantes N TT |       | Alimentos N TT |        | Entradas TT |        |
|                        | Lluvia             | Seca  | Lluvia         | Seca   | Lluvia      | Seca   |
| C-1                    | 690.0              | 437.0 | 215.1          | 229.9  | 905.1       | 666.9  |
| C-2                    | 345.0              | 161.0 | 502.8          | 536.8  | 847.8       | 697.8  |
| C-3                    | 399.0              | 266.0 | 888.2          | 796.4  | 1287.2      | 1062.4 |
| C-4                    | 460.0              | 381.0 | 1273.8         | 1289.0 | 1733.8      | 1670.0 |
| C-5                    | 486.0              | 353.0 | 391.5          | 373.5  | 877.5       | 726.5  |
| C-6                    | 624.0              | 445.0 | 423.0          | 545.4  | 1047.0      | 990.4  |
| MIN                    | 345.0              | 161.0 | 215.1          | 229.9  | 847.8       | 666.9  |
| MAX                    | 690.0              | 445.0 | 1273.8         | 1289.0 | 1733.8      | 1670.0 |
| Media                  | 500.7              | 340.5 | 615.7          | 628.5  | 1116.4      | 969.0  |
| P-1                    | 2024.0             | 234.0 | 243.5          | 193.0  | 2267.5      | 427.0  |
| P-2                    | 1632.0             | 528.0 | 665.0          | 551.6  | 2297.0      | 1079.6 |
| P-3                    | 128.0              | 55.0  | 258.3          | 246.9  | 386.3       | 301.9  |
| P-4                    | 1115.0             | 363.0 | 257.2          | 283.4  | 1372.2      | 646.4  |
| P-5                    | 322.0              | 184.0 | 132.2          | 179.0  | 454.2       | 363.0  |
| P-6                    | 981.0              | 251.0 | 255.1          | 274.9  | 1236.1      | 525.9  |
| MIN                    | 128.0              | 55.0  | 132.2          | 179.0  | 386.3       | 301.9  |
| MAX                    | 2024.0             | 528.0 | 665.0          | 551.6  | 2297.0      | 1079.6 |
| Media                  | 1033.7             | 269.2 | 301.9          | 288.1  | 1335.5      | 557.3  |

SA= sistemas de alimentación P= sistemas de alimentación en pastoreo C= sistemas de alimentación en corte MIN= valores mínimos MAX= valores máximos

**Anexo E: Valores medios para las salidas totales de N por sistema de alimentación y época del año (kg N/hato)**

| Salidas de N (kg N/hato) |         |       |            |      |            |       |
|--------------------------|---------|-------|------------|------|------------|-------|
| SA                       | Leche N |       | Animales N |      | Salidas TT |       |
|                          | Lluvia  | Seca  | Lluvia     | Seca | Lluvia     | Seca  |
| C-1                      | 151.0   | 155.5 | 31.7       | 43.5 | 182.7      | 199.0 |
| C-2                      | 175.3   | 139.1 | 48.0       | 71.9 | 223.3      | 210.9 |
| C-3                      | 70.9    | 80.1  | 23.5       | 34.8 | 94.4       | 114.9 |
| C-4                      | 96.4    | 84.3  | 11.7       | 4.6  | 108.0      | 88.9  |
| C-5                      | 112.5   | 106.4 | 24.0       | 43.5 | 136.5      | 149.9 |
| C-6                      | 148.9   | 154.6 | 37.4       | 57.2 | 186.3      | 211.8 |
| MIN                      | 70.9    | 80.1  | 11.7       | 4.6  | 94.4       | 88.9  |
| MAX                      | 175.3   | 155.5 | 48.0       | 71.9 | 223.3      | 211.8 |
| Media                    | 125.8   | 120.0 | 29.4       | 42.6 | 155.2      | 162.6 |
| P-1                      | 90.7    | 76.7  | 21.6       | 23.8 | 112.3      | 100.6 |
| P-2                      | 262.5   | 288.3 | 23.5       | 26.8 | 286.1      | 315.1 |
| P-3                      | 89.7    | 86.4  | 24.5       | 18.2 | 114.2      | 104.5 |
| P-4                      | 111.6   | 139.6 | 37.4       | 40.6 | 149.0      | 180.2 |
| P-5                      | 48.7    | 61.9  | 11.6       | 10.1 | 60.4       | 72.1  |
| P-6                      | 94.8    | 79.9  | 36.0       | 26.0 | 130.8      | 106.0 |
| MIN                      | 48.7    | 61.9  | 11.6       | 10.1 | 60.4       | 72.1  |
| MAX                      | 262.5   | 288.3 | 37.4       | 40.6 | 286.1      | 315.1 |
| Media                    | 116.3   | 122.1 | 25.8       | 24.3 | 142.1      | 146.4 |

SA= sistemas de alimentación P= sistemas de alimentación en pastoreo C= sistemas de alimentación en corte MIN= valores mínimos MAX= valores máximos

**Anexo F: Valores medios para el balance y la eficiencia de utilización del N por sistema de alimentación y época del año (kg N/hato)**

| SA    | Balance (kg N/hato) |        | EUN %  |      | Anual   |       |
|-------|---------------------|--------|--------|------|---------|-------|
|       | Lluvia              | Seca   | Lluvia | Seca | Balance | EUN % |
| C-1   | 722.4               | 467.8  | 20.2   | 29.9 | 1190.2  | 24.3  |
| C-2   | 624.5               | 486.8  | 26.3   | 30.2 | 1111.3  | 28.1  |
| C-3   | 1192.8              | 947.5  | 7.3    | 10.8 | 2140.3  | 8.9   |
| C-4   | 1625.7              | 1581.1 | 6.2    | 5.3  | 3206.8  | 5.8   |
| C-5   | 741.1               | 576.6  | 15.6   | 20.6 | 1317.6  | 17.9  |
| C-6   | 860.7               | 778.6  | 17.8   | 21.4 | 1639.3  | 19.5  |
| MIN   | 624.5               | 467.8  | 6.2    | 5.3  | 1111.3  | 5.8   |
| MAX   | 1625.7              | 1581.1 | 26.3   | 30.2 | 3206.8  | 28.1  |
| Media | 961.2               | 806.4  | 15.6   | 19.7 | 1767.6  | 17.4  |
| P-1   | 2155.2              | 326.5  | 5.0    | 23.6 | 2481.7  | 7.9   |
| P-2   | 2010.9              | 764.5  | 12.5   | 29.2 | 2775.4  | 17.8  |
| P-3   | 272.1               | 197.4  | 29.6   | 34.6 | 469.5   | 31.8  |
| P-4   | 1223.2              | 466.2  | 10.9   | 27.9 | 1689.4  | 16.3  |
| P-5   | 393.8               | 291.0  | 13.3   | 19.9 | 684.7   | 16.2  |
| P-6   | 1105.3              | 420.0  | 10.6   | 20.2 | 1525.2  | 13.4  |
| MIN   | 272.1               | 197.4  | 5.0    | 19.9 | 469.5   | 7.9   |
| MAX   | 2155.2              | 764.5  | 29.6   | 34.6 | 2775.4  | 31.8  |
| Media | 1193.4              | 410.9  | 13.6   | 25.9 | 1604.3  | 17.2  |

SA= sistemas de alimentación P= sistemas de alimentación en pastoreo C= sistemas de alimentación en corte MIN= valores mínimos MAX= valores máximos

**Anexo G: Aportes y conversión de N por estrategia de alimentación (kg/N/SA/año)**

| SA    | Entradas de N        |                      |        | Salidas de N     |                  |                  |
|-------|----------------------|----------------------|--------|------------------|------------------|------------------|
|       | Alimentos<br>kg/N/SA | Reemplazo<br>kg/N/SA | Total  | Carne<br>kg/N/SA | Leche<br>kg/N/SA | Purín<br>kg/N/SA |
| C-1   | 2002.7               | 28.6                 | 2031.3 | 114.2            | 196.6            | 1720.4           |
| C-2   | 3071.9               | 45.6                 | 3117.5 | 173.5            | 260.3            | 2683.4           |
| C-3   | 1409.7               | 19.1                 | 1428.8 | 70.7             | 106.0            | 1252.1           |
| C-4   | 1015.5               | 10.2                 | 1025.7 | 39.3             | 98.3             | 887.7            |
| C-5   | 1639.3               | 19.1                 | 1658.4 | 87.1             | 160.5            | 1410.8           |
| C-6   | 2269.8               | 30.5                 | 2300.3 | 127.4            | 205.7            | 1967.2           |
| MIN   | 1015.5               | 10.2                 | 1025.7 | 39.3             | 98.3             | 887.7            |
| MAX   | 3071.9               | 45.6                 | 3117.5 | 173.5            | 260.3            | 2683.4           |
| Media | 1901.5               | 25.5                 | 1927.0 | 102.0            | 171.2            | 1653.6           |
| P-1   | 1513.6               | 19.3                 | 1532.9 | 71.9             | 124.3            | 1336.7           |
| P-2   | 1397.6               | 19.3                 | 1417.0 | 61.1             | 131.6            | 1224.2           |
| P-3   | 3205.5               | 40.7                 | 3246.2 | 114.2            | 329.0            | 2803.0           |
| P-4   | 1994.6               | 29.8                 | 2024.4 | 95.4             | 197.5            | 1731.4           |
| P-5   | 1008.8               | 10.7                 | 1019.5 | 26.6             | 71.5             | 921.4            |
| P-6   | 2285.4               | 28.3                 | 2313.7 | 98.3             | 159.2            | 2056.1           |
| MIN   | 1008.8               | 10.7                 | 1019.5 | 26.6             | 71.5             | 921.4            |
| MAX   | 3205.5               | 40.7                 | 3246.2 | 114.2            | 329.0            | 2803.0           |
| Media | 1900.9               | 24.7                 | 1925.6 | 77.9             | 168.9            | 1678.8           |

SA= sistemas de alimentación P= sistemas de alimentación en pastoreo C= sistemas de alimentación en corte MIN= valores mínimos MAX= valores máximos

## Anexo H: Lugar de deposición de purines para los sistemas de alimentación en corte

(%/día)

| SA    | categoría  | Corral<br>piso de<br>cemento | Corral<br>piso de<br>tierra | Pastoreo<br>mixto | Pastoreo<br>nativo |
|-------|------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------|--------------------|
| C-1   | Vacas      | 0                            | 100                         | 0                 | 0                  |
|       | Terneros   | 0                            | 100                         | 0                 | 0                  |
|       | Desarrollo | 0                            | 100                         | 0                 | 0                  |
|       | Vaquillas  | 0                            | 100                         | 0                 | 0                  |
| C-2   | Vacas      | 100                          | 0                           | 0                 | 0                  |
|       | Terneros   | 100                          | 0                           | 0                 | 0                  |
|       | Desarrollo | 100                          | 0                           | 0                 | 0                  |
|       | Vaquillas  | 100                          | 0                           | 0                 | 0                  |
| C-3   | Vacas      | 0                            | 100                         | 0                 | 0                  |
|       | Terneros   | 0                            | 100                         | 0                 | 0                  |
|       | Desarrollo | 100                          | 0                           | 0                 | 0                  |
|       | Vaquillas  | 0                            | 100                         | 0                 | 0                  |
| C-4   | Vacas      | 0                            | 100                         | 0                 | 0                  |
|       | Terneros   | 0                            | 100                         | 0                 | 0                  |
|       | Desarrollo | 0                            | 100                         | 0                 | 0                  |
|       | Vaquillas  | 0                            | 100                         | 0                 | 0                  |
| C-5   | Vacas      | 100                          | 0                           | 0                 | 0                  |
|       | Terneros   | 100                          | 0                           | 0                 | 0                  |
|       | Desarrollo | 100                          | 0                           | 0                 | 0                  |
|       | Vaquillas  | 100                          | 0                           | 0                 | 0                  |
| C-6   | Vacas      | 50                           | 50                          | 0                 | 0                  |
|       | Terneros   | 100                          | 0                           | 0                 | 0                  |
|       | Desarrollo | 100                          | 0                           | 0                 | 0                  |
|       | Vaquillas  | 50                           | 50                          | 0                 | 0                  |
| Media | Vacas      | 42                           | 58                          | 0                 | 0                  |
|       | Terneros   | 50                           | 50                          | 0                 | 0                  |
|       | Desarrollo | 67                           | 33                          | 0                 | 0                  |
|       | Vaquillas  | 42                           | 58                          | 0                 | 0                  |

SA= sistemas de alimentación P= sistemas de alimentación en pastoreo

**Anexo I: Lugar de deposición de purines para los sistemas de alimentación en pastoreo (%/día)**

| SA    | Categoría  | Corral<br>piso de<br>cemento | Corral<br>piso de<br>tierra | Pastoreo<br>mixto | Pastoreo<br>nativo |
|-------|------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------|--------------------|
| P-1   | Vacas      | 50                           | 17                          | 25                | 8                  |
|       | Terneros   | 83                           | 0                           | 17                | 0                  |
|       | Desarrollo | 83                           | 0                           | 17                | 0                  |
|       | Vaquillas  | 50                           | 17                          | 25                | 8                  |
| P-2   | Vacas      | 0                            | 62                          | 30                | 8                  |
|       | Terneros   | 0                            | 50                          | 50                | 0                  |
|       | Desarrollo | 0                            | 70                          | 30                | 0                  |
|       | Vaquillas  | 0                            | 62                          | 30                | 8                  |
| P-3   | Vacas      | 62                           | 0                           | 30                | 8                  |
|       | Terneros   | 50                           | 0                           | 50                | 0                  |
|       | Desarrollo | 70                           | 0                           | 30                | 0                  |
|       | Vaquillas  | 62                           | 0                           | 30                | 8                  |
| P-4   | Vacas      | 0                            | 75                          | 25                | 0                  |
|       | Terneros   | 0                            | 25                          | 75                | 0                  |
|       | Desarrollo | 0                            | 75                          | 25                | 0                  |
|       | Vaquillas  | 0                            | 75                          | 25                | 0                  |
| P-5   | Vacas      | 0                            | 67                          | 33                | 0                  |
|       | Terneros   | 0                            | 50                          | 50                | 0                  |
|       | Desarrollo | 0                            | 67                          | 33                | 0                  |
|       | Vaquillas  | 0                            | 67                          | 33                | 0                  |
| P-6   | Vacas      | 50                           | 17                          | 25                | 8                  |
|       | Terneros   | 100                          | 0                           | 0                 | 0                  |
|       | Desarrollo | 83                           | 0                           | 17                | 0                  |
|       | Vaquillas  | 50                           | 17                          | 25                | 8                  |
| Media | Vacas      | 27                           | 40                          | 28                | 5                  |
|       | Terneros   | 39                           | 21                          | 40                | 0                  |
|       | Desarrollo | 39                           | 35                          | 25                | 0                  |
|       | Vaquillas  | 27                           | 40                          | 28                | 5                  |

SA= sistemas de alimentación P= sistemas de alimentación en pastoreo



**Anexo J: Emisiones de N<sub>2</sub>O por lugar de producción de GEI en (Kg CO<sub>2</sub>)**

| SA    | Corral<br>piso de<br>cemento | Corral<br>piso de<br>tierra | Pastoreo<br>mixto | Pastoreo<br>nativo | Estercolero | Se<br>esparce<br>en campo |
|-------|------------------------------|-----------------------------|-------------------|--------------------|-------------|---------------------------|
| C-1   | 0.000                        | 0.077                       | 0.000             | 0.000              | 0.048       | 0.045                     |
| C-2   | 0.139                        | 0.000                       | 0.000             | 0.000              | 0.093       | 0.086                     |
| C-3   | 0.014                        | 0.107                       | 0.000             | 0.000              | 0.084       | 0.098                     |
| C-4   | 0.000                        | 0.081                       | 0.000             | 0.000              | 0.063       | 0.059                     |
| C-5   | 0.112                        | 0.000                       | 0.000             | 0.000              | 0.075       | 0.070                     |
| C-6   | 0.073                        | 0.038                       | 0.000             | 0.000              | 0.153       | 0.071                     |
| MIN   | 0.000                        | 0.000                       | 0.000             | 0.000              | 0.048       | 0.045                     |
| MAX   | 0.139                        | 0.107                       | 0.000             | 0.000              | 0.153       | 0.098                     |
| Media | 0.056                        | 0.051                       | 0.000             | 0.000              | 0.086       | 0.072                     |
| P-1   | 0.085                        | 0.012                       | 0.023             | 0.023              | 0.067       | 0.063                     |
| P-2   | 0.000                        | 0.057                       | 0.029             | 0.023              | 0.071       | 0.065                     |
| P-3   | 0.070                        | 0.000                       | 0.025             | 0.022              | 0.047       | 0.043                     |
| P-4   | 0.000                        | 0.059                       | 0.021             | 0.000              | 0.046       | 0.043                     |
| P-5   | 0.000                        | 0.181                       | 0.042             | 0.000              | 0.068       | 0.064                     |
| P-6   | 0.096                        | 0.018                       | 0.031             | 0.033              | 0.078       | 0.073                     |
| MIN   | 0.000                        | 0.000                       | 0.021             | 0.000              | 0.046       | 0.043                     |
| MAX   | 0.096                        | 0.181                       | 0.042             | 0.033              | 0.078       | 0.073                     |
| Media | 0.042                        | 0.055                       | 0.029             | 0.017              | 0.063       | 0.059                     |

SA= sistemas de alimentación P= sistemas de alimentación en pastoreo C= sistemas de alimentación en corte MIN= valores mínimos MAX= valores máximos

## Anexo K: Emisiones de CH<sub>4</sub> por lugar de producción de GEI en (Kg CO<sub>2</sub>)

| SA    | Fermentación entérica | Corral piso de cemento | Corral piso de tierra | Pastoreo mixto | Pastoreo nativo | Estercolero |
|-------|-----------------------|------------------------|-----------------------|----------------|-----------------|-------------|
| C-1   | 1.400                 | 0.000                  | 0.092                 | 0.000          | 0.000           | 0.624       |
| C-2   | 1.423                 | 0.010                  | 0.000                 | 0.000          | 0.000           | 0.111       |
| C-3   | 1.653                 | 0.001                  | 0.112                 | 0.000          | 0.000           | 0.952       |
| C-4   | 1.208                 | 0.000                  | 0.090                 | 0.000          | 0.000           | 0.763       |
| C-5   | 1.361                 | 0.008                  | 0.000                 | 0.000          | 0.000           | 0.735       |
| C-6   | 1.446                 | 0.006                  | 0.046                 | 0.000          | 0.000           | 0.018       |
| MIN   | 1.208                 | 0.000                  | 0.000                 | 0.000          | 0.000           | 0.018       |
| MAX   | 1.653                 | 0.010                  | 0.112                 | 0.000          | 0.000           | 0.952       |
| Media | 1.415                 | 0.004                  | 0.057                 | 0.000          | 0.000           | 0.534       |
| P-1   | 1.246                 | 0.005                  | 0.013                 | 0.006          | 0.003           | 0.569       |
| P-2   | 1.133                 | 0.000                  | 0.005                 | 0.007          | 0.003           | 0.082       |
| P-3   | 1.024                 | 0.005                  | 0.000                 | 0.006          | 0.002           | 0.051       |
| P-4   | 1.094                 | 0.000                  | 0.064                 | 0.006          | 0.000           | 0.544       |
| P-5   | 1.619                 | 0.000                  | 0.014                 | 0.011          | 0.000           | 0.726       |
| P-6   | 1.495                 | 0.006                  | 0.017                 | 0.007          | 0.003           | 0.668       |
| MIN   | 1.024                 | 0.000                  | 0.000                 | 0.006          | 0.000           | 0.051       |
| MAX   | 1.619                 | 0.006                  | 0.064                 | 0.011          | 0.003           | 0.726       |
| Media | 1.269                 | 0.003                  | 0.019                 | 0.007          | 0.002           | 0.440       |

SA= sistemas de alimentación P= sistemas de alimentación en pastoreo C= sistemas de alimentación en corte MIN= valores mínimos MAX= valores máximos

**Anexo L: Gases con efecto invernadero procedentes de la utilización del N y el manejo de purines en (Kg CO<sub>2</sub>)**

| SA    | GEI leche | GEI carne | GEI leche + carne | GEI vaca en hato/año | Emisiones de N <sub>2</sub> O | Emisiones de CH <sub>4</sub> |
|-------|-----------|-----------|-------------------|----------------------|-------------------------------|------------------------------|
| C-1   | 2.13      | 19.24     | 1.32              | 4728                 | 0.170                         | 1.960                        |
| C-2   | 1.87      | 14.40     | 1.08              | 4357                 | 0.318                         | 1.552                        |
| C-3   | 3.03      | 23.05     | 1.72              | 4805                 | 0.303                         | 2.727                        |
| C-4   | 2.27      | 29.21     | 1.55              | 5869                 | 0.204                         | 2.066                        |
| C-5   | 2.14      | 20.80     | 1.37              | 5565                 | 0.257                         | 1.883                        |
| C-6   | 1.86      | 15.50     | 1.11              | 4253                 | 0.335                         | 1.525                        |
| MIN   | 1.86      | 14.40     | 1.08              | 4253                 | 0.170                         | 1.530                        |
| MAX   | 3.03      | 29.21     | 1.72              | 5869                 | 0.340                         | 2.730                        |
| Media | 2.22      | 20.37     | 1.36              | 4930                 | 0.260                         | 1.950                        |
| P-1   | 2.12      | 18.96     | 1.30              | 5086                 | 0.276                         | 1.844                        |
| P-2   | 1.53      | 16.10     | 0.95              | 3664                 | 0.245                         | 1.285                        |
| P-3   | 1.30      | 19.51     | 0.94              | 3358                 | 0.208                         | 1.092                        |
| P-4   | 1.88      | 20.74     | 1.26              | 4905                 | 0.169                         | 1.711                        |
| P-5   | 2.73      | 38.01     | 1.92              | 4248                 | 0.355                         | 2.375                        |
| P-6   | 2.53      | 21.50     | 1.53              | 4784                 | 0.329                         | 2.001                        |
| MIN   | 1.30      | 16.10     | 0.94              | 3358                 | 0.170                         | 1.090                        |
| MAX   | 2.73      | 38.01     | 1.92              | 5086                 | 0.360                         | 2.380                        |
| Media | 2.02      | 22.47     | 1.32              | 4341                 | 0.260                         | 1.720                        |

SA= sistemas de alimentación P= sistemas de alimentación en pastoreo C= sistemas de alimentación en corte MIN= valores mínimos MAX= valores máximos