

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS, INGENIERÍA Y MEDICINA

**PROGRAMAS MULTIDISCIPLINARIOS DE POSGRADO EN CIENCIAS
AMBIENTALES**

TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

**IMPACTO AMBIENTAL DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE LECHE DE
GANADO BOVINO EN EL VALLE DE SAN LUIS POTOSÍ, MÉXICO.**

PRESENTA:

M.C. MIGUEL ÁNGEL BELTRÁN SANTOYO

DIRECTOR DE TESIS:

DR. GREGORIO ÁLVAREZ FUENTES

ASESORES:

DR. CARLOS CONTRERAS SERVÍN

DR. JUAN MANUEL PINOS RODRÍGUEZ

Mayo 2016

CRÉDITOS INSTITUCIONALES

PROYECTO REALIZADO EN:

INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE ZONAS DESÉRTICAS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ

CON FINANCIAMIENTO DE:

CONACYT

AGRADEZCO A CONACYT EL OTORGAMIENTO DE LA BECA-TESIS

Becario No. 265342

**EL DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES RECIBE APOYO ATRAVÉS DEL
PROGRAMA NACIONAL DE POSGRADOS DE CALIDAD (PNPC)**

Agradecimientos

Al Dr. Gregorio Álvarez Fuentes por aceptarme como su estudiante doctoral por su apoyo y dirección para poder realizar mis estudios de investigación.

Al Dr. Juan Manuel Pinos Rodríguez por su asesoría y colaboración que siempre me ha brindado.

Al Dr. Carlos Contreras Servín por todo su apoyo para poder realizar este proyecto.

Al Dr. Rigoberto Castro Rivera por su tutela y apoyo que siempre me brindo durante el año sabático de mi director de tesis.

Al Dr. Juan Rogelio Aguirre Rivera por todo el apoyo que siempre me ofreció durante mi estancia en el Instituto de Investigación de Zonas Desérticas.

Al Instituto de Investigación de Zonas Desérticas por permitirme realizar mis estudios en sus instalaciones, a todos y cada uno de los doctores por todo su apoyo y excelentes consejos, así como también a todo el personal que labora en el mismo.

A los Programas Multidisciplinarios de Posgrado en Ciencias Ambientales de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, por darme la oportunidad de participar en su programa. Así como a sus coordinadores en turno; Dr. Roberto Briones Gallardo, Dra. Patricia Julio Miranda y Dr. Luis Armando Bernal Jácome; al personal de apoyo, Maricela, Lorena, Karla, Laura y Farah.

A mis amigos y compañeros de los Programas Multidisciplinarios de Posgrado en Ciencias Ambientales y del Instituto de Zonas Desérticas.

A todos los productores que me abrieron las puertas de sus unidades de producción, proporcionándome su experiencia, datos requeridos y muestras para el estudio.

Al Ing. José Antonio Lorca por todo su apoyo y proporcionarme los ácidos húmicos, humus de lombriz y semilla de Triticale, al Ing. Ramón Burgaña por permitirme realizar la siembra de Triticale en su propiedad y su ayuda en las labores del cultivo.

Dedicatoria

Este trabajo lo dedico con todo mi amor a mi querida Esposa Claudia y a mis hijos José Miguel y María Greta por quienes despierto, trabajo y esfuerzo día a día.

A mi Mamá María de los Ángeles por enseñarme con su amor y trabajo que toda meta se logra con entrega, responsabilidad, disciplina y compromiso.

A mis hermanos Francisco Xavier y Luis Manuel por todo su amor y apoyo incondicional.

A mis tíos y primos por su gran amor y cariño.

Contenidos

Índice de cuadros	v
Índice de figuras	vii
Introducción	1
Capítulo I	
Revisión de Literatura	3
Importancia de la leche de ganado bovino	3
Sistemas de producción de leche de ganado bovino en México	4
Producción nacional de leche	10
Comercialización y consumo	11
Impacto ambiental de los sistemas de producción de leche de ganado bovino	11
Producción de Metano	13
Medidas de mitigación	17
Justificación	25
Objetivo general	25
Objetivos particulares	25
Hipótesis	26
Literatura citada	27
Capítulo II	
Emisión de metano en los sistemas de producción de leche en ganado bovino del valle de San Luis Potosí, México	32
Resumen	32
Introducción	33
Materiales y métodos	34

Resultados y discusión	35
Conclusiones	40
Capítulo III	
Eficiencia alimenticia y excreción de nutrientes de los sistemas de producción de leche de ganado bovino en el valle de San Luis Potosí, México	44
Resumen	44
Introducción	45
Materiales y métodos	45
Resultados y discusión	49
Conclusiones	56
Literatura citada	57
Capítulo IV	
Fertilización con Humus de lombriz y ácidos húmicos vs fertilizante en la producción de triticale (X Triticum secale Wittmack)	60
Resumen	60
Introducción	61
Materiales y métodos	62
Resultados y discusión	66
Conclusiones	73
Literatura citada	74
Conclusiones generales	76

Índice de cuadros

Capítulo I

Revisión de Literatura

Cuadro 1. Importación de leche en polvo descremada en México 2011-2015	11
--	----

Capítulo II

Emisión de metano en los sistemas de producción de leche en ganado bovino del valle de San Luis Potosí, México

Cuadro 2. Estructura y emisión de metano de los sistemas de producción de leche en ganado bovino del valle de San Luis Potosí, México. (n=15)	36
---	----

Cuadro 3. Factores de emisión de metano entérico y de manejo de heces en los sistemas de producción de leche de ganado bovino del valle de San Luis Potosí, México (n=15)	37
---	----

Cuadro 4. Variables para análisis clúster de los sistemas de producción de leche de ganado bovino del valle de San Luis Potosí, México (n=15)	39
---	----

Capítulo III

Eficiencia alimenticia y excreción de nutrientes de los sistemas de producción de leche de ganado bovino en el valle de San Luis Potosí, México

Cuadro 5. Composición de la dieta de los sistemas de producción de leche de ganado bovino del valle de San Luis Potosí, México (n=14)	52
---	----

Cuadro 6. Estructura y excreción de nutrientes de los sistemas de producción de leche de ganado bovino del valle de San Luis Potosí, México (n=14)	52
--	----

Capítulo IV

Fertilización con Humus de lombriz y ácidos húmicos vs fertilizante en la producción de triticale (*X Triticum secale Wittmack*)

Cuadro 7. Caracteres agronómicos a los 45 días de emergencia	66
--	----

Cuadro 8. Caracteres agronómicos a los 80 días de emergencia	67
--	----

Cuadro 9. Caracteres agronómicos a los 110 días de emergencia	67
---	----

Cuadro 10. Caracteres agronómicos a los 132 días de emergencia	68
Cuadro 11. Producción total de grano de triticales (<i>X Triticum secale Wittmack</i>) (kg ha ⁻¹) (n=3)	70
Cuadro 12. Propiedades bromatológicas a cosecha (n = 3)	72

Índice de figuras

Introducción

Capítulo I

Revisión de Literatura

Figura 1. Producción de leche en México 1983-2013 4

Figura 2. Ubicación de unidades de producción de leche de ganado bovino del valle de San Luis Potosí, México 8

Figura 3. Grado de marginación y ubicación de unidades de producción de leche de ganado bovino del valle de San Luis Potosí, México 9

Figura 4. Contribución porcentual de la producción nacional de leche y población de ganado bovino por estado 2014 10

Figura 5. Esquema de producción de metano en rumen 15

Figura 6. Inventario Nacional de Emisiones GEI 2013 16

Figura 7. Inventario Nacional de Emisiones GEI Agropecuario 2013 16

Capítulo III

Eficiencia alimenticia y excreción de nutrientes de los sistemas de producción de leche de ganado bovino en el valle de San Luis Potosí, México

Figura 8. Dendograma de los sistemas de producción de leche de ganado bovino del valle de San Luis Potosí, México 50

Figura 9. Concentración de excreción de Nitrógeno de los sistemas de producción de leche de ganado bovino en el valle de San Luis Potosí, México (n=28) 54

Figura 10. Concentración de excreción de Fósforo de los sistemas de producción de leche de ganado bovino en el valle de San Luis Potosí, México (n=28) 55

Figura 11. Concentración de excreción de Potasio de los sistemas de producción de leche de ganado bovino en el valle de San Luis Potosí, México (n=28) 55

Capítulo IV

Fertilización con Humus de lombriz y ácidos húmicos vs fertilizante en la producción de triticale (*X Triticum secale Wittmack*)

Figura 12. Producción de triticale a cosecha	69
Figura 13. Producción de grano de triticale	70
Figura 14. Rendimiento total de MS (kg ha^{-1}) por tratamiento	71

INTRODUCCIÓN

Las ciencias ambientales estudian la relación de los humanos con la naturaleza y en la actualidad los efectos de la actividad humana son bien conocidos; contaminación atmosférica, en agua y suelo, pérdida de biodiversidad, cambio climático, cambio de uso de suelo, desertificación, donde el impacto ambiental se relaciona directamente con el crecimiento de la población.

Actualmente la población mundial alcanza los 7,349 millones de personas y se espera que para el 2050 alcance los 9,600 millones de habitantes (UNFPA, 2015). México en los últimos 100 años ha quintuplicado el número de habitantes del país, por lo que la producción de alimentos ha incrementado debido al crecimiento de la humanidad. Aunado a ello la demanda de proteína animal se espera se duplique debido a la urbanización, cambios culturales y al aumento de sus ingresos (Steinfeld et al., 2006).

En las tres últimas décadas la producción mundial de leche ha aumentado en más del 50%, pasando de 482 millones de toneladas en 1982 a 754 millones de toneladas en 2012. México ocupa el lugar 14 en la producción mundial de leche 10,724 megalitros (MI), con una población de 2,382,440 cabezas en una superficie agrícola de 1,031,660 km² (FAO, 2015), a nivel estatal San Luis Potosí contribuye con una población de 16,023 cabezas, produciendo 128.7 MI de leche y ocupando el 17 lugar de la producción de leche nacional. Por su parte el valle de San Luis Potosí produce 17.7 MI de leche, con una población de 2,300 cabezas (SIAP, 2014).

En México de acuerdo con el inventario nacional de emisiones de GEI en 2013 el sector agropecuario contribuye con el 12%; de las cuales el 64% corresponde a la fermentación entérica y 17% al manejo del estiércol. Por lo anterior los sistemas de producción de carne y leche aportan 10% de las emisiones totales (INECC, 2016).

Las heces de ganado bovino son una fuente importante de nutrientes, que si no son tratadas de manera adecuada pueden convertirse en una fuente de contaminación. Los principales nutrientes excretados en heces son N, P y K y juegan un importante papel en la contaminación de agua y suelo. Las vacas lecheras excretan al ambiente entre el 70 y 85%

de Nitrógeno (N) y entre el 58 y 75% de Fósforo (P) en heces y orina (Van Horn et al., 1994; Álvarez-Fuentes et al., 2016).

Los sistemas de producción de leche en el valle de San Luis Potosí son familiares donde la problemática de producción se debe a limitantes nutricionales debido a la calidad y disponibilidad de forrajes, esquemas de nutrición que no cubren los requerimientos nutricionales de las vacas, se carece de programas de mejoramiento genético y los problemas de salud en el hato se deben a falta de programas sanitarios, se tiene un manejo inadecuado de las heces; donde los productores las acumulan en los corrales un semestre o hasta un año dependiendo del número de animales en el hato, lo que provoca problemas ambientales, en el bienestar humano y animal (Vera Ávila et al., 2009).

Por lo anterior se puede mencionar que en el valle de San Luis Potosí los sistemas de producción de leche de ganado bovino especializado podrían generar una cantidad importante de residuos y que pueden ser fuente de contaminación, por lo cual el objetivo del presente trabajo es: describir los sistemas de producción de leche de ganado bovino en el valle de San Luis Potosí, México, su impacto ambiental por sus emisiones de gases de efecto invernadero así como también por la excreción de nutrientes. Valorar su impacto ambiental en base la eficiencia de producción y lo diferenciará en el presente estudio primeramente al evaluar la emisión de metano en los sistemas de producción de leche de ganado bovino en el valle de San Luis Potosí, México y posteriormente apreciando la eficiencia alimenticia y excreción de nutrientes de los sistemas de producción de leche de ganado bovino en el valle de San Luis Potosí, México, paralelamente se propone el tratamiento de las heces en los sistemas de producción de leche por medios biológicos; como el compost y vermicompost calificando la fertilización con humus de lombriz y ácidos húmicos vs fertilizante en la producción de triticale.

CAPITULO I

REVISIÓN DE LITERATURA

La demanda en la producción de alimentos va en aumento continuo debido al crecimiento demográfico. La población mundial actual es de 7,349 millones de personas y se espera que para el 2050 alcance los 9,600 millones, con una tasa de crecimiento de 1.18% año 2005-2010 (UNFPA, 2015); México en los últimos 100 años ha quintuplicado su población, hasta 112 millones de habitantes actualmente y tasa de crecimiento de 1.8% por año del 2005-2010. En 1950 la población urbana era 42.6% y actualmente alcanza un 78% (INEGI, 2015) por lo anterior la demanda mundial de alimentos de origen animal se espera duplique por los cambios culturales, urbanización y aumento de sus ingresos (Steinfeld et al., 2006).

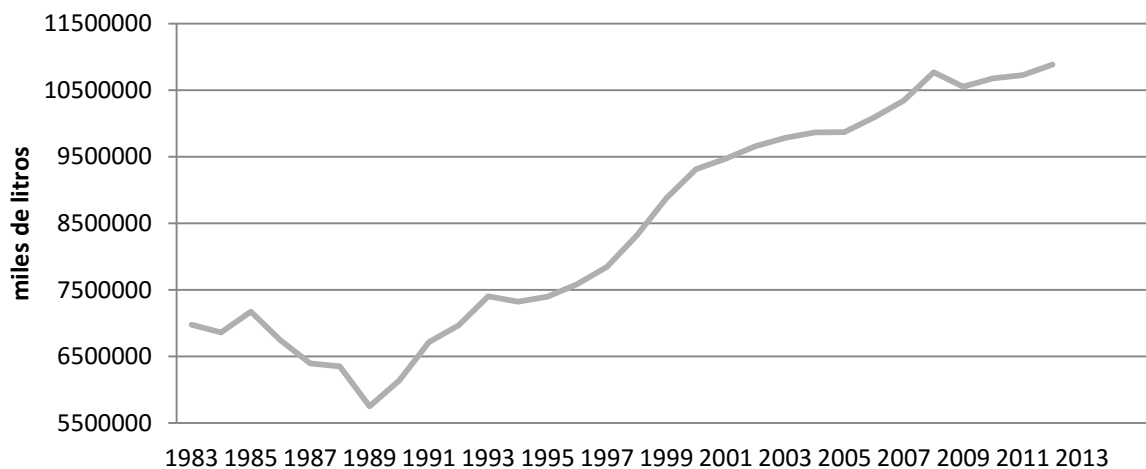
IMPORTANCIA DE LA LECHE DE GANADO BOVINO EN MÉXICO

La principal importancia de los rumiantes en específico del ganado bovino es su capacidad de uso de los carbohidratos estructurales, al contar con un estomago compuesto con cuatro compartimentos y una flora y fauna bacteriana que transforma la fibra y otros productos no aptos para el consumo humano, transformándolos en productos de alto valor biológico como es la carne y leche (Church, 1993).

El aprovechamiento del ganado bovino en México comenzó posterior a la conquista de los españoles siendo ellos quienes trajeron los primeros bovinos alrededor de 1524. La ganadería extensiva entonces tuvo un crecimiento importante de 1542 a 1810 con el fin de abastecer de alimento a la población. Debido a la revolución para el año de 1940 hubo la necesidad de repoblar la población de ganado bovino, se importaron razas especializadas con ello el crecimiento en la producción de leche (Casasola, 1978).

La leche es uno de los productos de origen animal más importante en la alimentación del ser humano por su contenido de proteínas de alto valor biológico, vitaminas y minerales. En las tres últimas décadas la producción mundial de leche se ha incrementado en más del 50 %, de 482 millones de toneladas en 1982 a 754 millones de toneladas en 2012 (FAO, 2015). En México creció en 55% con una tasa media de crecimiento anual de 1.7% (Figura

1) (SIAP, 2014). La eficiencia de producción de leche por vaca incrementó 19.7% en México, en 1983 la producción promedio por vaca fue de 3,788.4 l y para el 2012 alcanzo 4,536.3 l por lactancia, sin embargo, en los Estados Unidos aumento en 71.9 %, su producción incrementó de 5,725.3 l en 1983 a 9,841.3 l por vaca por lactancia de 305 días, en 2012 (FAOSTAT, 2016). En México la producción de leche empieza a crecer a partir de 1989, debido a la liberación del precio por litro de leche, donde el crecimiento de la población de vacas al 2013 fue 34.9 % además del incremento en la eficiencia de producción por vaca (Figura 1).



(SIAP, 2016)

Figura 1. Producción de leche en México 1983-2013

SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE LECHE DE GANADO BOVINO EN MÉXICO

En México la producción de leche de ganado bovino es muy diversa en cuanto a su desarrollo tecnológico, agroecológico y socioeconómico, se pueden clasificar por su grado de intensificación en: intensivo, semi-intensivo y extensivas, para fines prácticos se distinguen cuatro tipos de producción de leche: especializado, semi-especializado, doble propósito y familiar o de traspatio:

Especializado

Cuyo objetivo es maximizar el aprovechamiento de los recursos naturales, humanos y económicos, donde el ganado es especializado para la producción de leche, principalmente de la raza Holstein y en menor escala Jersey y Pardo Suizo Americano, se encuentra confinado y se le suministran forrajes de buena calidad como alfalfa, avena y ensilado de maíz entre otros, además de alimento balanceado de acuerdo a sus requerimientos nutricionales por etapa de producción, el grado de adopción de tecnología es mayor, el ordeño es mecánico, cuentan con tanques enfriadores, la reproducción es por inseminación artificial, practican la medicina preventiva (vacunas, desparasitantes, etc.), suplementación mineral, el promedio de producción es de 8,000 l vaca⁻¹ año⁻¹. Los productores están organizados tanto vertical como horizontalmente, practican una economía de escala para la compra de insumos y la producción es industrializada, Este sistema produce el 60 % de la producción nacional, y localiza en los estados de Aguascalientes, Coahuila, Chihuahua, Durango, Guanajuato, Jalisco, Querétaro, Estado de México., Puebla y Zacatecas (SIAP, 2014).

Semi-especializado

Este sistema de producción se compone entre los sistemas de producción especializada y extensiva, los cuales con el objetivo de incrementar la eficiencia animal de los sistemas extensivos proporcionan concentrados y suplementos en corrales, mejorando la calidad de la dieta y productividad animal, además también la mayoría ya cuenta con sistemas de ordeño mecánicos (Ávila & Gutiérrez, 2010).

Doble propósito

Se localiza principalmente en la áreas tropicales (trópico húmedo y trópico seco) su sistema de alimentación se basa en pastoreo de gramíneas nativas e inducidas; con ganado de cruza de Cebú con Holstein o Pardo suizo para la producción de carne y becerros, donde la producción de leche es una actividad secundaria, caracterizada por la ordeña estacional del 10% de los vientres recién paridos que muestran mayor temperamento lechero; en este tipo de lechería se observan grandes picos de producción en la época de lluvias, se tiene un uso limitado o nulo de suplementos, las lactancias son muy cortas y la

producción de leche es alrededor de 700 l vaca⁻¹ año⁻¹. Las principales deficiencias de este sistema de producción son su baja producción, baja calidad de los forrajes debido al deterioro de praderas; por un exceso de carga animal, compactación y erosión de suelos; su reproducción es por monta directa donde el mejoramiento genético es deficiente por cruza inapropiadas y falta de selección de ganado genéticamente superior, baja eficiencia reproductiva con un intervalo entre partos de 17 meses; por anestro posparto, pubertad tardía y mala condición corporal. Abarcan una gran superficie de terreno donde el animal camina en busca de su alimento y se pueden observar primeramente en Chiapas y Veracruz, participando en un 10% de la producción nacional (SIAP, 2014), el presente sistema es el de mayor impacto al ambiente por litro de leche generado debido a que su producción promedio es limitada, con una huella de carbonó 7 veces superior a los sistemas intensivos (Knapp et al., 2014).

Familiar o de traspatio

Se localiza principalmente en regiones semiáridas y templadas, son hatos inferiores a 100 animales en donde los animales se encuentran en pequeños corrales en el traspatio de los poblados rurales y conurbados en construcciones rústicas, donde el manejo es deficiente, sobre todo en la higiene del ordeño, de lo que resulta un producto de baja calidad que normalmente se expende como leche bronca a boteros intermediarios, queseros de la localidad, centros de acopio o directamente al consumidor, su sistema de producción es manejado por los integrantes de la familia, el alimento proporcionado al animal es generalmente de mala calidad (pajas y rastrojos de maíz, sorgo y trigo), la dieta es inadecuada; al no cubrir los requerimientos nutricionales de los animales, se carece de programas de mejoramiento genético, la eficiencia reproductiva es limitada por una baja fertilidad, la producción de leche es alrededor de 3,000 l vaca⁻¹ año⁻¹, el intervalo entre partos es de 16 meses y normalmente utilizan la monta directa con toros no probados sin el correspondiente examen clínico para evitar la transmisión de enfermedades reproductivas y proporciona el 30% de la producción nacional (SIAP, 2014).

Los sistemas de producción de leche en el valle de San Luis Potosí por su grado de intensificación son familiares, sus características son: una baja producción por limitantes nutricionales, a la mala calidad y disponibilidad de forrajes, esquemas de nutrición que no

cubren los requerimientos nutricionales de las vacas, se carece de programas de mejoramiento genético y los problemas de salud en el hato se deben a falta de programas sanitarios y malas prácticas pecuarias.

Los sistemas de producción de leche del valle de San Luis Potosí, México, en base a estudio de exploración, resultó que se localizan en la periferia y zonas de mayor grado de marginación de la urbe de los municipios de San Luis Potosí, Soledad de Graciano Sánchez y Cerro de San Pedro, (Figuras 2 y 3). La estructura de los hatos de producción de leche de ganado bovino del valle de San Luis Potosí, fue 50% vacas en ordeño, 17% vacas secas y 33% vacas de reemplazo y otros, el tamaño del hato resultó en un rango de 20 a 125 con un promedio de 54 cabezas, sus características fueron una baja producción de leche en un rango de 6 a 25 l vaca⁻¹ día⁻¹, con una producción promedio de 14 l vaca⁻¹ día⁻¹, la baja producción de leche se debe a dietas de mala calidad por su baja digestibilidad y una mala administración de las unidades de producción, el precio de venta por litro de leche es de \$4.0 a \$5.0 pesos con un precio promedio de \$4.7 pesos por debajo de la media nacional de \$4.94 pesos (SIAP, 2012).

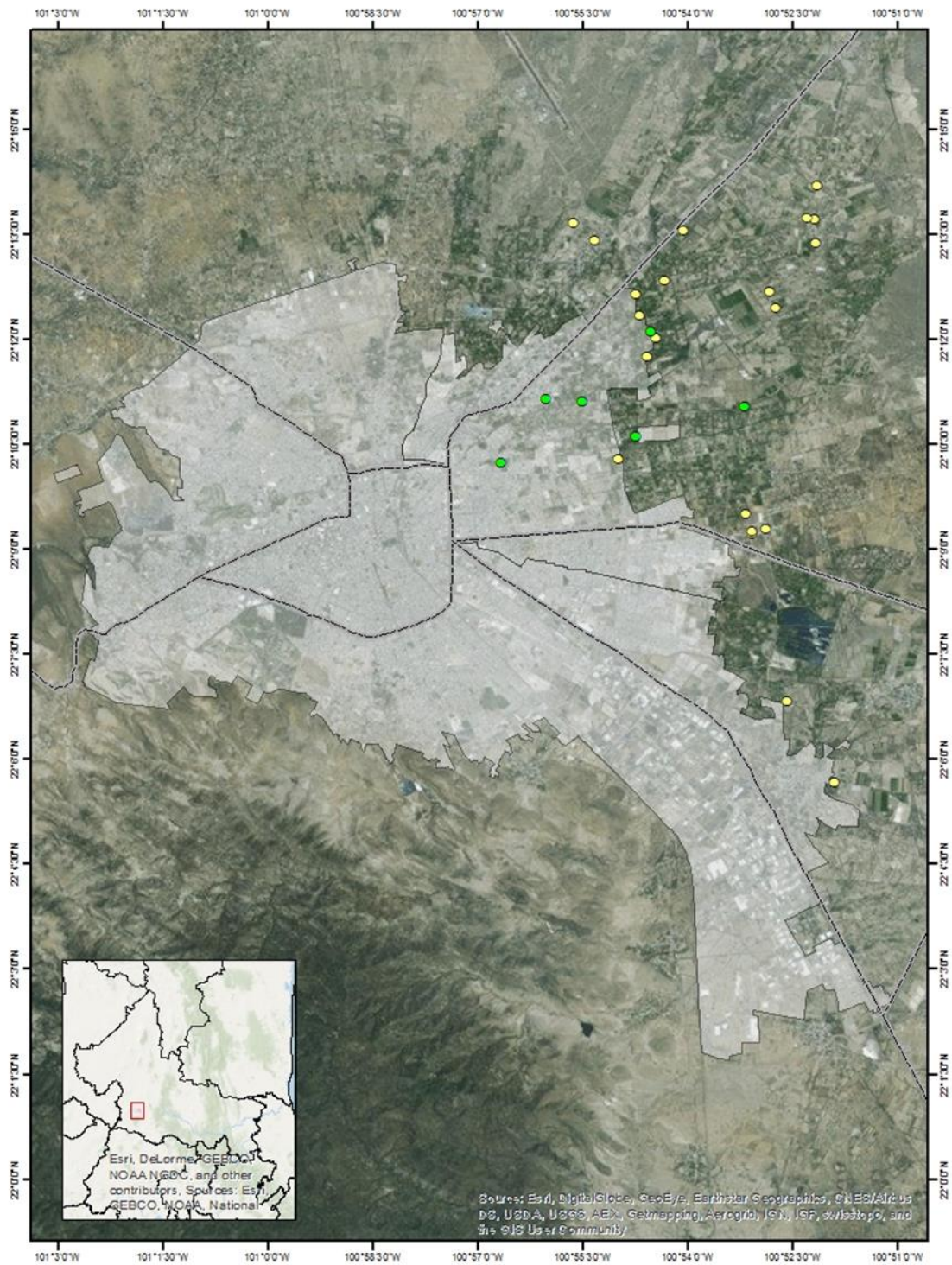


Figura 2. Ubicación de unidades de producción de leche de ganado bovino del valle de San Luis Potosí, México

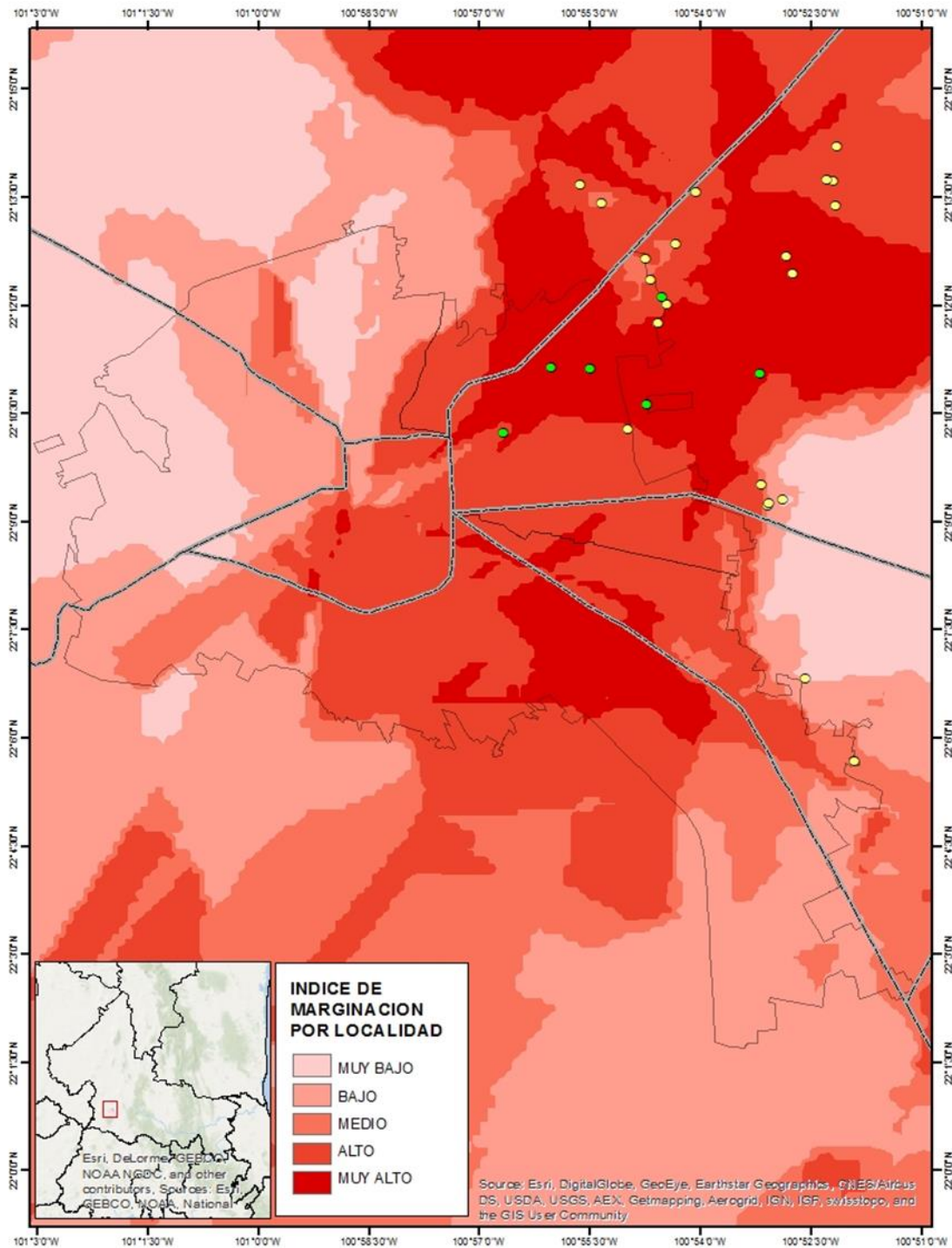
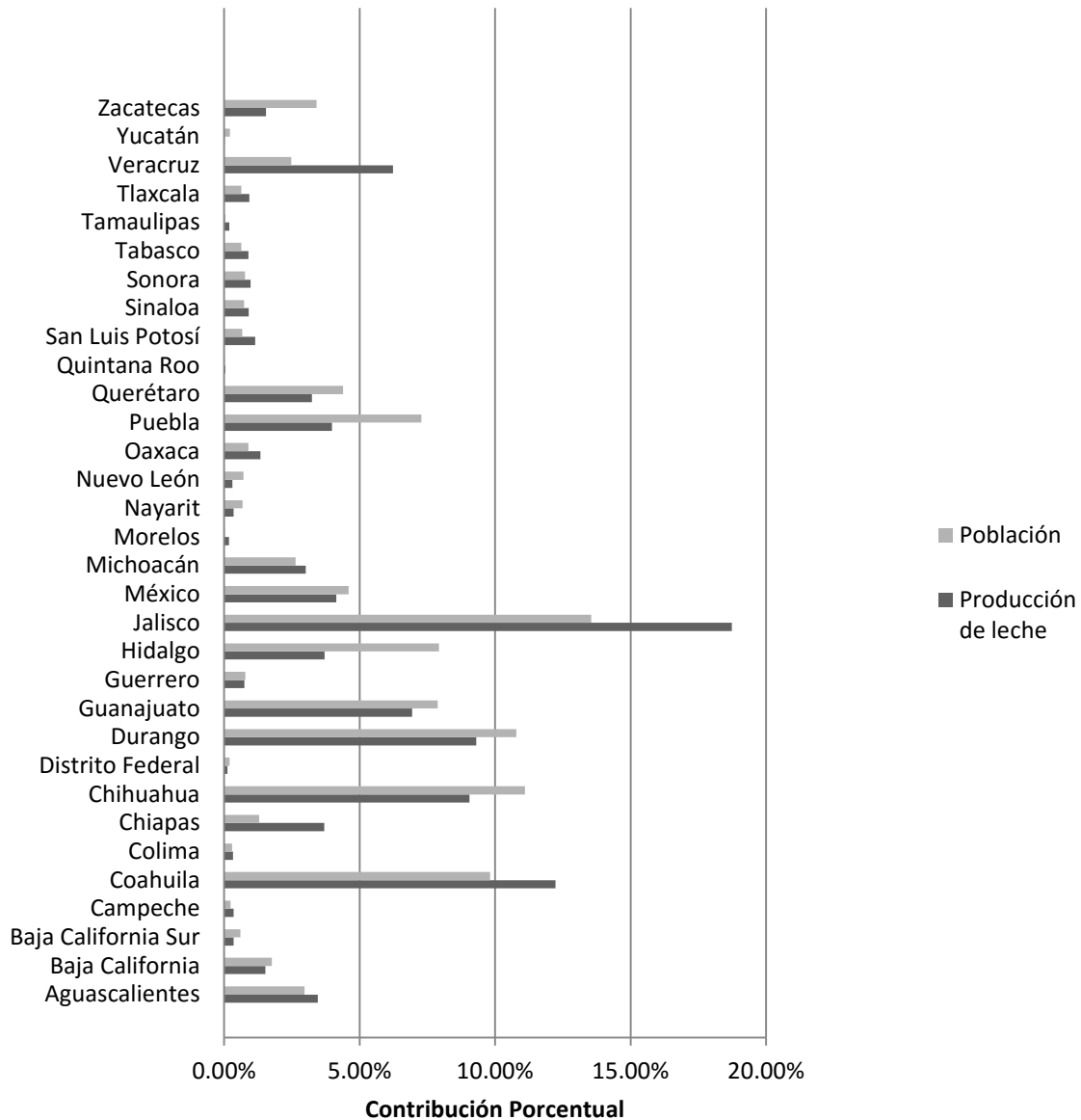


Figura 3. Grado de marginación y ubicación de unidades de producción de leche de ganado bovino del valle de San Luis Potosí, México

PRODUCCIÓN NACIONAL DE LECHE

El estado con mayor producción de leche; es Jalisco seguido de Coahuila, Durango, Chihuahua, Guanajuato, en estos estados la producción es principalmente en sistemas especializados, el estado de Veracruz también es un productor importante, sin embargo, la producción se da en el sistema de doble propósito (Figura 2).



(SIAP, 2015)

Figura 4. Contribución porcentual de la producción nacional de leche y población de ganado bovino por estado 2014

COMERCIALIZACIÓN Y CONSUMO DE LECHE

En los últimos diez años el consumo de leche se ha incrementado a una tasa media anual de 1.6%, observándose un comportamiento distinto para los países desarrollados en comparación con los países en vías de desarrollo; los países desarrollados tienden a una ligera disminución de sus consumos per-cápita con un consumo actual 200 kg de leche, los países en desarrollo el promedio de consumo por habitante es de 44 kg muy por debajo de los 188 kg recomendado por FAO (2015), en México, el consumo promedio de leche por habitante es de 97 kg.

México actualmente ocupa el 1er. lugar como importador de leche descremada al tener un déficit en la producción de leche del 20%, con una tasa de crecimiento media anual de 18.5% (2011-2015) (Cuadro 1), la importación es principalmente reconstituida y destinada a los programas de apoyo LICONSA (Secretaría de Economía, 2012; FAO, 2015).

Cuadro 1. Importación de leche en polvo descremada en México 2011-2015

Año	Importación de Leche en polvo descremada (miles de ton)	Crecimiento Anual %
2011	194	
2012	236	22%
2013	198	-16%
2014	203	3%
2015	230	13%

(USDA, 2015)

IMPACTO AMBIENTAL DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE LECHE DE GANADO BOVINO

Los sistemas de producción de leche al igual que toda actividad humana causa un impacto al ambiente y puede ser de manera puntual cuando se conoce el origen y responsable de la descarga; no puntuales o difusas cuando se desconoce el origen y responsable.

Impacto a la litosfera.

El principal impacto a la litosfera es la excreción de nutrientes al suelo, estas se deben principalmente por un inadecuado suministro de nutrientes con respecto a los requerimientos de las vacas, las cuales excretan al ambiente entre el 70 y 85% de Nitrógeno (N) y entre el 65 y 75% de Fósforo (P) al suelo a través de las heces y orina (Van Horn et al., 1994), estudios más recientes como los de Álvarez et al., (2016) mencionan que el 58% de Fósforo consumido es excretado en heces y 0.44% en orina, conjuntamente el cambio de uso de suelo para pastoreo del ganado bovino y para la siembra y cosecha de forrajes para su alimentación, así como también el uso inadecuado de fertilizantes y abonos provoca la salinidad del suelo (Steinfeld et al., 2006).

Impacto a la hidrosfera

El agua es el elemento esencial para el desarrollo de la vida y de igual manera que el suelo el N y P son sus principales contaminantes; los cuales son transportados a los mantos de agua por lixiviación y escorrentía, se reconoce que las pérdidas de P por los sistemas de producción animal contribuyen a la eutrofización de los mantos de agua por el exceso de nutrientes, ocasionando un desarrollo excesivo de vegetación y otros organismos que agotan el oxígeno del agua y con ello la ausencia de vida Chávez et al., (2011) menciona que los drenajes agrícolas y las aguas residuales son las principales fuentes de contaminantes de la Ciénega de Chapala en Michoacán.

El Nitrógeno en el agua tiene dos fuentes principales orgánico por acumulación de heces sin tratar e inorgánico por aplicación en exceso de fertilizantes y desconocimiento del nivel de nutrientes presentes en el suelo (Fernández Hernando, 2009).

El principal efecto perjudicial para la salud derivado de la ingestión de nitratos y nitritos es la metahemoglobinemia (MHb), es decir, un incremento de metahemoglobina en la sangre, que es una hemoglobina (Hb) modificada (oxidada) incapaz de fijar el oxígeno y que provoca limitaciones de su transporte a los tejidos. La metahemoglobina se forma cuando en la Hb se oxida el Fe^{2+} a Fe^{3+} .

Cuando la metahemoglobinemia es elevada, la primera manifestación clínica es la cianosis, generalmente asociada a una tonalidad azulada de la piel, por lo que la enfermedad se conoce como «enfermedad de los niños azules». Los síntomas son los siguientes: si la MHb es mayor del 10% de la Hb total, se producen dolores de cabeza, debilidad, taquicardias y falta de respiración. Si es mayor del 50%, da lugar a hipoxemia grave y a depresión del sistema nervioso central, y cuando es mayor del 70%, puede llegar a causar la muerte (Fernández Hernando, 2009).

Impacto a la atmosfera

La agricultura y la producción pecuaria contribuyen ampliamente a las emisiones antropogénicas de metano (CH₄), dióxido de carbono (CO₂) y óxido nitroso (N₂O) a la atmósfera. El aumento de las concentraciones de estos gases provoca un calentamiento de la superficie terrestre y la destrucción de la capa de ozono en la estratosfera (Primavesi et al., 2004).

El impacto a la atmosfera se debe a sus emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) como el CO₂ en un 9 %, por la respiración de las vacas; CH₄ con un 37 % por la fermentación entérica de los rumiantes y del manejo de las heces, con un poder de calentamiento atmosférico 25 veces superior al del CO₂ y 65 % N₂O por los procesos de nitrificación y desnitrificación de la descomposición aeróbica de las heces con un potencial de calentamiento 298 veces más potente que el CO₂ (IPCC, 2014; Steinfeld et al., 2009).

PRODUCCIÓN DE METANO EN LOS RUMIANTES

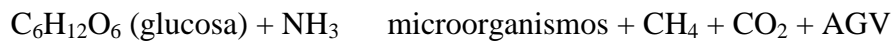
Los rumiantes gracias a su proceso evolutivo han desarrollado una relación simbiótica con las bacterias anaeróbicas ruminales logrando con ello el aprovechamiento y fermentación de los carbohidratos como fuente de energía, lo que implica pérdidas; en la producción de calor y metano (Van Soest, 1982). La producción de CH₄ en los rumiantes constituye una pérdida de energía que se estima es del 2 al 12% del consumo de energía (Johnson & Johnson, 1995), se correlaciona con la digestibilidad y motilidad de la dieta suministrada es producto de la fermentación anaerobia de los carbohidratos estructurales como la celulosa y hemicelulosa por parte de bacterias metanogénicas del rumen (*Methanobrevibacter ruminantium*, *Methanosarcina barkeri*, *Methanobacterium bryantii* y

Methanomicrobium mobile) las cuales el H₂ excedente por reducción de CO₂ producen el CH₄ que puede ser exhalado por los animales en forma de eructos (Figura. 3).

Fermentación entérica o ruminal

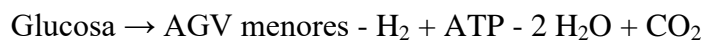
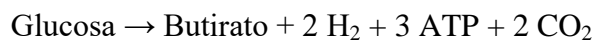
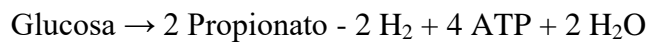
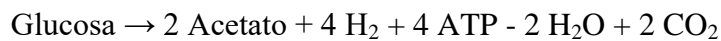
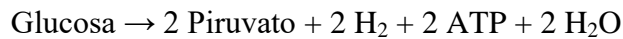
La capacidad de los rumiantes de utilizar celulosa, hemicelulosa y pectina depende de la capacidad de degradación de los microorganismos gastrointestinales y de la habilidad del rumiante de aprovechar los microorganismos y sus productos (Van Soest, 1982).

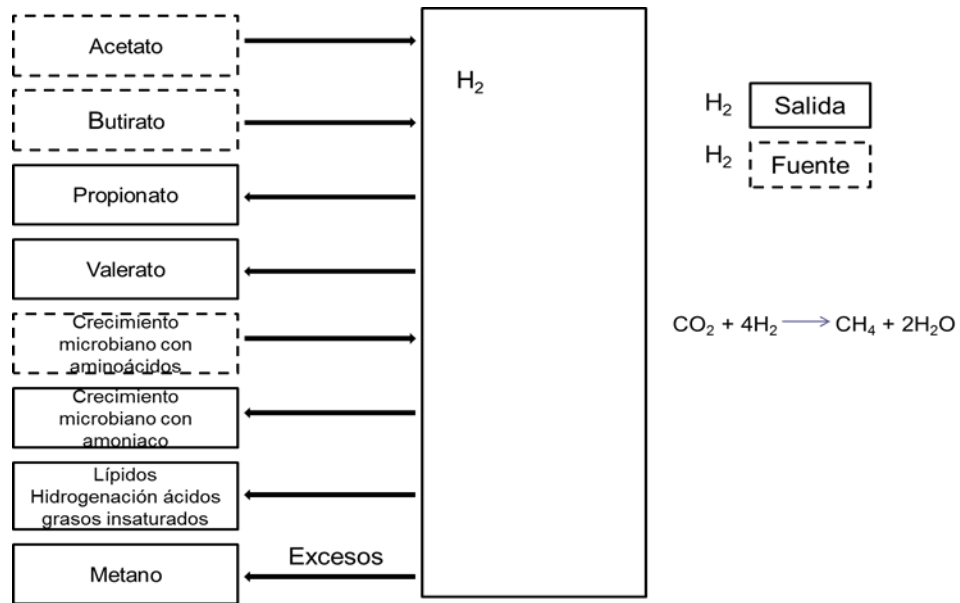
La estequiometría general de los carbohidratos ha sido descrita por Van Soest (1994)



Donde los principales productos de la fermentación microbiana de los carbohidratos son los ácidos grasos volátiles (AGV), acetato, propionato y butirato, CH₄ y CO₂.

Las principales ecuaciones estequiométricas de la fermentación de la glucosa en el rumen (Sauvant et al., 2011).



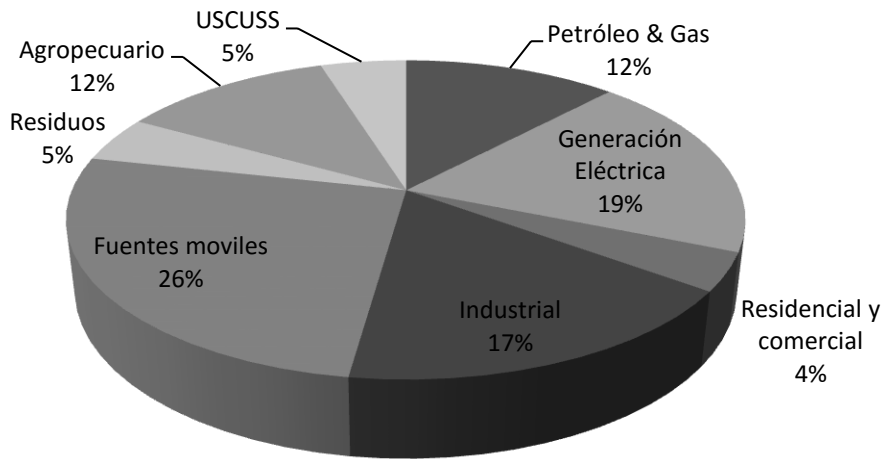


Baldwin et al., 1987; Mills et al., 2001

Figura 5. Esquema de producción de metano en rumen

Como se observa en el esquema de producción de CH_4 (Figura 3). El acetato y butirato promueven la producción de metano mientras que el propionato reduce el hidrogeno en el rumen minimizando con ello la producción de metano.

En México de acuerdo con el inventario nacional de emisiones de GEI en 2013 el sector agropecuario contribuye con el 12% (Figura 4), de las cuales el 64% corresponde a la fermentación entérica, 17% al manejo del estiércol, 17% a suelos agrícolas, 2% a quemas agrícolas (Figura 5), el resto a cultivo de arroz, combustión de gas L.P. y querosinas. Por lo anterior los sistemas de producción de carne y leche aportan 10% de las emisiones totales (INECC, 2016).



Uso del suelo, cambio de uso del suelo y silvicultura (USCUSS).

Figura 6. Inventario Nacional de Emisiones GEI 2013

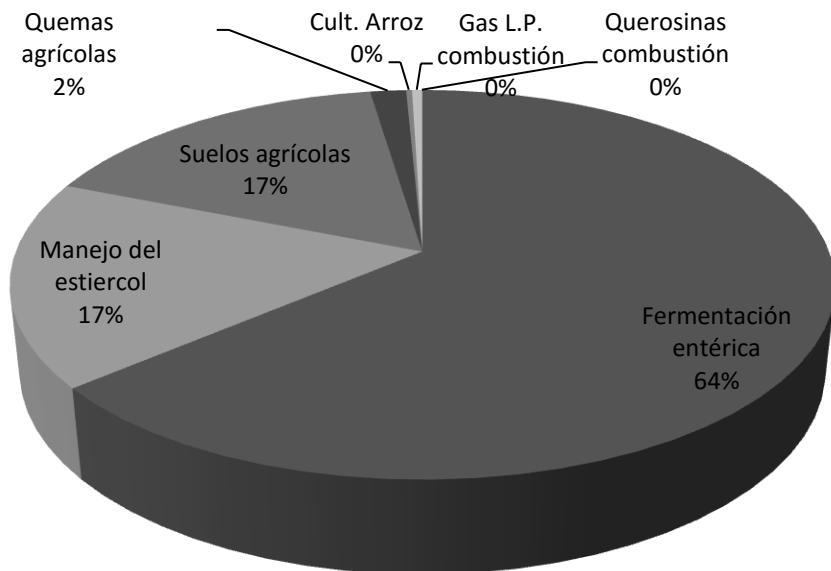


Figura 7. Inventario Nacional de Emisiones GEI Agropecuario 2013

(INECC, 2016)

MEDIDAS DE MITIGACIÓN

Las medidas de mitigación en la producción de leche requieren de un entendimiento detallado de todo el proceso y de factores como: costos de producción, competitividad y riesgos ambientales en que incurren deben de ser considerados por los productores e interesados.

Factores de alimentación

Los alimentos para el ganado bovino usualmente se dividen en forrajes y concentrados. Los concentrados comúnmente son de alta calidad con un bajo contenido de fibra y humedad, se distinguen de los forrajes por su alto contenido de energía digestible por unidad de peso y volumen. Los forrajes son plantas angiospermas y se dividen en dos grandes familias gramíneas y leguminosas (Van Soest, 1982). Las plantas obtienen energía del sol, fijando carbón en su estructura celular por medio de la fotosíntesis. Factores como la cantidad luz, textura de suelo, calidad y volumen de agua ha desarrollado que las plantas se adapten a ambientes específicos a través de procesos selectivos, estos factores tienen influencia en la calidad del alimento, donde la temperatura está inversamente relacionada con la digestibilidad del alimento es decir a mayor temperatura promedio menor digestibilidad, por lo anterior las plantas tropicales de ciclo fotosintético C4 usualmente tienen un valor nutritivo menor a las especies C3 (Van Soest, 1982).

Efectos de fertilización, agua y suelo.

El más importante efecto de la fertilización con Nitrógeno, es el incremento en el contenido de nitrógeno en la planta, usualmente se tiene la idea de que la fertilización incrementa la calidad del forraje sin embargo solo se refiere al contenido de proteína cruda.

El estrés por agua retarda el desarrollo de la planta y su madurez, lo cual reduce la digestibilidad y la producción de biomasa. Las plantas crecen en diferentes suelos, teniendo un efecto en el balance de nutrientes disponibles para la planta, lo cual influye en su crecimiento y composición (Van Soest, 1982).

Dietas ricas en forraje resultan en fermentación acética que incrementa la producción de metano como los estudios de (Aguerre et al., 2011) donde concluyen que incrementar el

porcentaje de forraje de 47 a 68% aumenta la emisión de metano comparado con la fermentación propionica derivada de la fermentación de los concentrados, se ha reportado que la proporción de concentrados en la dieta presenta una correlación negativa con la emisión de metano. Estudios previos manifiestan que dietas con una ración de concentrado superior al 40% disminuye considerablemente la emisión de metano entérico (Hristov et al., 2013 c).

La digestibilidad de los forrajes y valor nutritivo disminuye a medida que maduran, siendo la lignina el primer factor con influencia en la digestibilidad, secundariamente la cantidad de celulosa por su relación con la lignificación, al disminuir la proporción de hojas por tallo, la relación hoja tallo usualmente es tomada como un índice de calidad asumiendo que las hojas son de mayor calidad que los tallos, siendo este índice de mayor valor para las leguminosas que para las gramíneas, por lo que si al ganado lechero se le suministran forrajes con un grado de madurez avanzado la producción de metano incrementa, así como incluir ensilados de leguminosas hay una emisión menor de CH₄ comparado con dietas donde solo se incluyen gramíneas, debido a que estos últimos tienen una mayor proporción de carbohidratos estructurales, y generan una elevada producción de propionato (Hassanat et al., 2013; Hristov et al., 2013 c).

El suplementar grasa en la dieta reduce la emisión de metano debido a la biohidrogenación de los ácidos grasos insaturados, por el proceso de saturación de los dobles enlaces presentes en ellos, donde la producción de metano está inversamente relacionada con la digestibilidad de la dieta y con la concentración de grasa en la misma (Grainger, et al., 2010; Rasmussen & Harrison, 2011; Benchaar et al., 2013; Hristov, et al., 2013). El (NRC, 2001) recomienda la adición de grasas < 2% debido a que un consumo mayor de ácidos grasos reduce el consumo de materia seca (CMS) lo cual limita la producción de leche. Sin embargo, existen estudios en donde se les ha proporcionado hasta un 6% sin afectar el CMS y producción de leche (Rasmussen & Harrison, 2011; Benchaar et al., 2013).

Calidad de los forrajes

Carbohidratos

Los carbohidratos son la principal reserva de energía fotosintética en las plantas y comprende del 50 al 80% de la materia seca de los forrajes y cereales. El forraje se compone de los tallos, hojas y en ocasiones del grano, su función principal es la de suministrar energía a los microorganismos del rumen, así como también evitar la acidosis y otros problemas metabólicos por los efectos de la rumia y producción de saliva (Van Soest, 1982).

La calidad de un forraje, en específico su digestibilidad se define por su contenido de fibra cruda la cual está compuesta por fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA), su contenido determina cómo las vacas responden a la producción de leche, condición corporal, emisión de CH₄ y concentración de N en orina (Beukes, et al., 2010).

Fibra detergente Neutro

La fibra detergente neutro es el material insoluble en solución detergente neutra representa los componentes estructurales de las células de las plantas (Celulosa, hemicelulosa, lignina y cutina) es lo menos digestible de los forrajes debido a que su fermentación es más lenta que la de los carbohidratos no estructurales (NRC, 2001).

La celulosa es el carbohidrato más abundante en la tierra y comprende de un 20 a 40% de la materia seca de las plantas y su aprovechamiento depende de la actividad microbiana en el rumen.

La hemicelulosa es el más complejo de los polisacáridos y su digestibilidad se relaciona directamente con la celulosa y negativamente con la lignificación. En los rumiantes la celulosa es digerida en el rumen y la hemicelulosa gran parte escapa del rumen y es digerida en el tracto bajo (Russell, 2002).

La producción de lignina y cutina por las plantas es un medio de defensa al estrés ambiental, siendo estas resistentes a la degradación anaeróbica porque su estructura

condensada no permite su hidrólisis lo cual reduce el consumo de materia seca, limita la producción de leche e incrementa la emisión de CH₄.

Fibra detergente ácida

La fibra detergente ácida es el material insoluble en solución detergente ácida y se compone (Celulosa, lignina y cutina) y su análisis es un predictor de la digestibilidad del forraje (Van Soest, 1994).

Incluir forrajes de calidad en la dieta, incrementar la digestibilidad y consumo de éstos reduce la producción de metano, incrementa la producción de leche y reduce la excreción de nutrientes (Mirzaei y Maheri, 2011).

Factores ambientales

La humedad y temperatura afectan la producción de leche por el gasto energético para mantener la temperatura corporal (estrés por calor o bajas temperaturas) así como también el animal reduce el consumo de materia seca e incrementa el consumo de agua, por lo anterior es recomendable proporcionar suficiente sombra y en zonas de altas temperaturas el uso de rociadores (Hristov et al., 2013 c).

Factores de Manejo del hato

El abastecimiento de agua, agrupamiento de acuerdo a su estado fisiológico (vacas en producción, secas, vaquillas, becerras), frecuencia y nivel de alimentación, forma de alimentación y ordeño.

Aumentar el consumo de energía metabolizable con el incremento del nivel de alimentación reduce la proporción de energía usada para mantenimiento (Yan et al., 2010; Ramin & Huhtanen, 2013; Knapp et al., 2014) donde existe una correlación negativa entre la emisión de metano con el nivel de alimentación e ingesta de energía. Reemplazar el ensilado de pastos o alfalfa por ensilado de maíz, reducen la producción de metano, al aumentar la concentración de propionato, disminuir el pH así como también las concentraciones de acetato y butirato; adicional a ello decreció, la población de protozoarios quienes mantienen una relación de simbiosis con las bacterias metanogénicas al ser productores de hidrógeno (Lettat et al., 2013).

Las estrategias más efectivas de mitigación por excreción de nutrientes a suelo y agua son; modificar la dieta sin afectar la producción de leche, reducir la excreción de N, se puede llevar acabo al reducir la cantidad de Nitrógeno consumido y al modificar el tipo de proteína en la dieta, la excreción de Fósforo puede ser evitada al suministrar de manera precisa los requerimientos del animal (Kebreab et al., 2010); reducir el uso de Fósforo mineral como fertilizante y suplemento en la dieta, así como también aprovechar el uso de Fósforo presente en el suelo como lo muestran los estudios de (Huhtanen et al., 2011).

Suplementos para reducir la emisión de metano

Modificar la digestión en el rumen nos permite maximizar la eficiencia microbiana para ello actualmente existen una amplia variedad de suplementos que pueden reducir la emisión de CH₄, como inhibidores químicos, ácidos orgánicos, y compuestos secundarios de las plantas (Knapp et al., 2014).

Ionoforos

Existen diversos ionóforos, los carboxílicos (monensina y lasalocida) son los que se han utilizado con mayor frecuencia en la alimentación de rumiantes, mayormente la monensina antibiótico originalmente desarrollado para el tratamiento de la coccidiosis (Russell, 2002), el cual afecta a las bacterias ruminales productoras de H⁺, debido a que interrumpen el intercambio iónico y modifican los gradientes protónicos y catiónicos de la membrana celular, originando con ello la reducción de metano al disminuir el H⁺ disponible para la bacterias metanogénicas. McGarvey, et al., (2010) mencionan que las propiedades antimicrobianas de la monensina son más efectivas contra las baterías gram positivas que las gram negativas, por lo cual la función del rumen es más eficiente al reducir la metanogénesis. Duffield et al., (2012) concluye que la monensina mejora la eficiencia del alimento en ganado especializado en la producción de carne en las etapas de crecimiento y finalización. Appuhamy et al., (2013) mencionan que la monensina reduce la emisión de metano en dietas con alto contenido de fibra detergente neutra. Sin embargo, en vacas suplementadas con grano, la monensina no tiene efecto en la reducción de emisión metano (Grainger et al., 2010).

Taninos

Los taninos son compuestos fenólicos de alto peso molecular que pueden formar complejos fuertes con proteínas y otras macromoléculas. La afinidad de los taninos por las proteínas varía dependiendo de sus características químicas y de las condiciones fisicoquímicas del sistema (Reed, 1995). Se han dividido en dos grupos con base en su origen químico: hidrolizables y condensados. Los primeros son polímeros de ácidos fenólicos y los condensados son estructuralmente complejos de oligómeros y polímeros de unidades flavonoides (flavan-3-ol, flavan-3,4-diol y biflavanes) (Lascano, 2004).

Los taninos condensados reducen la emisión de metano aunque en algunas ocasiones el consumo de materia seca es menor y la producción de leche se ve afectada al reducir la absorción de los aminoácidos (Hristov et al., 2013a). Los taninos condensados parecen disminuir el metano más a través de una reducción en la digestión de la fibra, mientras que los taninos hidrolizables actúan más a través de la inhibición del crecimiento y/o actividad de las bacterias metanógenicas (Jayanegara et al., 2015; Bueno et al., 2015).

Saponinas

Las saponinas, las cuales también tienen efectos marcados en la dinámica digestiva de los rumiantes, normalmente se unen a azúcares conjugados de triterpenoides o esteroides Aregheore, (1999), formando espumas estables al entrar en contacto con el agua, confiriéndole potencialidad como factor timpánico.

Las saponinas tienen un característico sabor amargo. Este aspecto, además de su efecto irritante a nivel de la boca y garganta le confieren una baja palatabilidad, lo cual redundaría en un bajo consumo voluntario. Este mismo autor citando otros trabajos señala que, las saponinas inhiben la fermentación ruminal y la síntesis en el rumen. Además estas forman complejos insolubles con algunos minerales como Calcio, Hierro y Zinc, haciéndolos no disponibles para el animal. Van Soest, (1994), reporta que estas sustancias pueden tener efectos negativos sobre las bacterias celulolíticas, pero los rumiantes en pastoreo pueden adaptarse a ellas y detoxificarlas. Los anteriores conceptos señalan a las saponinas como metabolitos secundarios generalmente con efectos negativos en la alimentación animal,

pero diversos trabajos reportan sus bondades como sustancias defaunantes a nivel ruminal, o sea para disminuir la cantidad de protozoarios, obteniéndose importantes beneficios nutricionales (Machado, (1997).

Cuando el rumen es defaunado, la degradabilidad de proteínas del alimento es más bajo que en el rumen sin defaunar, sobre todo cuando las fuentes de proteína insoluble predominan. Así, cuando el rumen es defaunado puede esperarse que mayor cantidad de proteína escape de la digestión y fluya al intestino.

Saponinas se ha reportado que su uso minimiza la emisión de metano sin embargo también reduce la digestibilidad de la materia orgánica, se requieren estudios a largo plazo para poder recomendar su uso (Hristov et al., 2013a).

Mejoramiento genético

El mejoramiento genético incrementa el aprovechamiento de nutrientes y la eficiencia alimenticia, junto con mejoras en la dieta suministrada a la vacas, reduce la emisión de metano por litro de leche (Beukes et al., 2010; Knapp et al., 2014). El mejoramiento genético se puede realizar por medio de selección de vacas genéticamente superiores, programas de inseminación artificial y transferencia de embriones (Steinfeld et al., 2009).

Bienestar animal

El profesor Donald Broom de la universidad de Cambridge en 1986, define el bienestar animal como “el estado en el que un animal trata de adaptarse a su ambiente”, el consejo de bienestar para Animales de granja (FAWC) en 1993 mencionan que se debe evitar el sufrimiento de los animales durante las manipulaciones que el hombre haga con ellos, de brindarles ambientes confortables de modo que puedan gozar de lo que se ha llamado las 5 libertades; animales libres de hambre y sed, libres de malestar físico y térmico, libres de enfermedad y lesiones, libres para poder expresar un patrón de comportamiento normal y libres de miedos y angustias. Mejorar el bienestar animal, puede aumentar la producción por vaca, con ello se obtendrá una mejora económica al incrementar la rentabilidad del hato y fertilidad, al reducir la mortalidad y morbilidad, lo cual reduce la intensidad de emisión de metano en los sistemas de producción ganadera (Hristov et al., 2013b).

Manejo de las heces.

Las heces de las vacas generalmente contienen micro y macro nutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas. Capturar y reciclar las heces al campo reduce la utilización de Nitrógeno inorgánico y minimiza las emisiones de GEI, como lo menciona el estudio de (Beukes et al., 2010) donde concluyen decrecen las emisiones de GEI de 27 a 32%.

Una alternativa viable para el tratamiento de las heces, es el compostaje el cual se define como la descomposición biológica de los residuos orgánicos en un ambiente aeróbico y vermicompost cuando participan durante el proceso diversas especies de lombrices. La aplicación de compost y/o vermicompost influye en las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo; incrementan la materia orgánica, mejoran la capacidad de retención de agua, reduce la erosión, aumenta la biomasa microbiana y su actividad, además de contener vitaminas y hormonas de crecimiento para el cultivo (Thirunavukkarasu & Vinoth, 2013).

JUSTIFICACION.

Los sistemas de producción de leche de ganado bovino han sido uno de los sectores más atacados por los grupos ambientalistas. A los gases de efecto invernadero que emiten CO₂, CH₄ y N₂O y por la cantidad de nutrientes que excretan en heces y orina (N, P y K), si son manejados inadecuadamente contaminan suelos y agua. En general, se asocia a los sistemas de producción intensivos con mayores problemas ambientales. Sin embargo, es necesario determinar el impacto de los sistemas de producción de leche; familiares. La tendencia mundial es reducir el impacto ambiental actual, aumentar la productividad animal y el desarrollo de mejores prácticas pecuarias.

Por ello se requiere evaluar los sistemas de producción de leche de ganado bovino en cuanto a la emisión de gases de efecto invernadero así como también la excreción de nutrientes en heces y si existen diferencias entre los mismos, además de calificar el potencial de utilización de los nutrientes recuperados en las sistemas de producción de leche como abonos en reemplazo de fertilizantes minerales.

OBJETIVO GENERAL

Describir los sistemas de producción de leche de ganado bovino en el valle de San Luis Potosí, México., su impacto ambiental; por sus emisiones de gases de efecto invernadero así como también por la excreción de nutrientes.

OBJETIVOS PARTICULARES

- 1) Estimar la emisión de metano en los sistemas de producción de leche en ganado bovino del valle de San Luis Potosí, México.
- 2) Evaluar la eficiencia alimenticia y excreción de nutrientes de los sistemas de producción de leche de ganado bovino en el valle de San Luis Potosí, México.
- 3) Comparar el humus de lombriz y ácidos húmicos obtenidos de heces de ganado bovino lechero como abono vs fertilizante en la producción de triticale (*X Triticum secale Wittmack*)

HIPÓTESIS

- 1) El impacto ambiental generado por los sistemas de producción de leche en pequeña escala o familiar es de acuerdo a la eficiencia alimenticia de cada uno de ellos.

LITERATURA CITADA

- Aguerre, M. J., Wattiaux, M. A., Powell, J. M., Broderick, G. A., & Arndt, C. 2011. Effect of forage-to-concentrate ratio in dairy cow diets on emission of methane, carbon dioxide, and ammonia, lactation performance, and manure excretion. *Journal of Dairy Science*, 94(6), 3081–3093. <http://doi.org/10.3168/jds.2010-4011>
- Álvarez-Fuentes, G., Appuhamy, J. A. D. R. N., & Kebreab, E. 2016. Prediction of phosphorus output in manure and milk by lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 99(1), 771–782. <http://doi.org/10.3168/jds.2015-10092>
- Appuhamy, J. A. D. R. N., Strathe, A. B., Jayasundara, S., Wagner-Riddle, C., Dijkstra, J., France, J., & Kebreab, E. 2013. Anti-methanogenic effects of monensin in dairy and beef cattle: a meta-analysis. *Journal of Dairy Science*, 96(8), 5161–73. <http://doi.org/10.3168/jds.2012-5923>
- Aregheore, E.M. 1999. Nutritive and antinutritive value of some tree legumes used in ruminant livestock nutrition in Pacific island countries. *Journal of South Pacific Agriculture*. Vol. 6, No. 2; p. 50-61
- Benchaar, C., Hassanat, F., Gervais, R., Chouinard, P. Y., Julien, C., Petit, H. V., & Massé, D. I. 2013. Effects of increasing amounts of corn dried distillers grains with solubles in dairy cow diets on methane production, ruminal fermentation, digestion, N balance, and milk production. *Journal of Dairy Science*, 96(4), 2413–27. <http://doi.org/10.3168/jds.2012-6037>
- Beukes, P. C., Gregorini, P., Romera, A. J., Levy, G., & Waghorn, G. C. 2010. Improving production efficiency as a strategy to mitigate greenhouse gas emissions on pastoral dairy farms in New Zealand. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 136(3-4), 358–365. <http://doi.org/10.1016/j.agee.2009.08.008>
- Bueno, I. C. S., Brandi, R. A., Franzolin, R., Benetel, G., Fagundes, G. M., Abdalla, A. L., Louvandini, H., Muir, J. P. 2015. In vitro methane production and tolerance to condensed tannins in five ruminant species. *Animal Feed Science and Technology*, 205, 1–9. <http://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.03.008>
- Chávez-Alcántar, A., Velázquez-Machuca, M., Pimentel-Equihua, J. L., Venegas-González, J., Montañez-Soto, J. L., Vázquez-Gálvez, G. 2011. Hydrochemistry of Surface Water in the Cienega of Chapala and Water Quality Index. *Red de Revistas Científicas de América Latina, El Caribe, España Y Portugal*, 29(2395-8030), 13.
- Church, D. C. 1993. *The Ruminant animal: digestive physiology and nutrition*. Prospect Heights, Ill. : Waveland Press.

- Duffield, T. F., Merrill, J. K., Bagg, R. N., & Duffi, T. F. 2012. Meta-analysis of the effects of monensin in beef cattle on feed efficiency, body weight Meta-analysis of the effects of monensin in beef cattle on feed efficiency, body weight gain, and dry matter intake 1. *J. Anim. Sci*, 90, 4583–4592. <http://doi.org/10.2527/jas2011-5018>
- FAO. 2015. Retrieved from <http://www.fao.org/agriculture/dairy-gateway/produccion-lechera/es/#.VpF0oRUrKhc> (Consulta: enero de 2013).
- Fernández Hernando, P. 2009. El agua, fuente de vida y de problemas. *Vida científica*, (100), 57–62.
- Fortis-Hernández, M., Leos-Rodríguez, J. A., Preciado-Rangel, P., Castillo, I. O., García-Salazar, J. A.O, & García-hernández, J. L. 2009. FORRAJERO CON RIEGO POR GOTEEO Application of Organic Fertilizers in the Production of Forage Corn with Drip Irrigation, 329–336.
- Grainger, C., Williams, R., Clarke, T., Wright, a-D. G., & Eckard, R. J. 2010. Supplementation with whole cottonseed causes long-term reduction of methane emissions from lactating dairy cows offered a forage and cereal grain diet. *Journal of Dairy Science*, 93(6), 2612–2619. <http://doi.org/10.3168/jds.2009-2888>
- Grainger, C., Williams, R., Eckard, R. J., & Hannah, M. C. 2010. A high dose of monensin does not reduce methane emissions of dairy cows offered pasture supplemented with grain. *Journal of Dairy Science*, 93(11), 5300–8. <http://doi.org/10.3168/jds.2010-3154>
- Hassanat, F., Gervais, R., Julien, C., Massé, D. I., Lettat, A., Chouinard, P. Y., Petit, H.V., Benchaar, C. 2013. Replacing alfalfa silage with corn silage in dairy cow diets: Effects on enteric methane production, ruminal fermentation, digestion, N balance, and milk production. *Journal of Dairy Science*, 96(7), 4553–67. <http://doi.org/10.3168/jds.2012-6480>
- Hristov, a. N., Oh, J., Firkins, J. L., Dijkstra, J., Kebreab, E., Waghorn, G., Makkar, H. P.S., Adesogan, A. T., Yang, W., Lee, C., Gerber, P.J., Henderson, B., & Tricarico, J. M. 2013a. SPECIAL TOPICS-Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: II. A review of enteric methane mitigation options. *Journal of Animal Science*, 91(11), 5045–5069. <http://doi.org/10.2527/jas2013-6585>
- Hristov, a. N., Oh, J., Firkins, J. L., Dijkstra, J., Kebreab, E., Waghorn, G., Makkar, H. P.S., Adesogan, A. T., Yang, W., Lee, C., Gerber, P.J., Henderson, B., & Tricarico, J. M. 2013b. SPECIAL TOPICS-Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: I. A review of enteric methane mitigation options. *Journal of Animal Science*, 91(11), 5045–5069. <http://doi.org/10.2527/jas2013-6583>

- Hristov, a. N., Oh, J., Lee, C., Meinen, R., Montes, F., Ott, T., Firkins, J., Rots, A., Dell, C., Adesogan, A., Yang, W., Tricarico, J., Kebreak, E., Waghorn, G., Dijkstra, J., Oosting, S. 2013. Mitigation of greenhouse gas emissions in livestock production A review of technical options for non-CO2 emissions. <http://doi.org/10.1016/j.agee.2005.08.009>
- Hristov, A. N., Ott, T., Tricarico, J., Rotz, A., Waghorn, G., Adesogan, A., Dijkstra, J., Montes, F., Oh, J., Kebreab, E., Oosting, S.J., Gerber, P.J., Henderson, B., Makkar, H.P.S., & Firkins, J. L. 2013. Special topics--Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: III. A review of animal management mitigation options. *Journal of Animal Science*, 91(11), 5095–113. <http://doi.org/10.2527/jas.2013-6585>
- INECC. 2016. Retrieved from <http://www.inecc.gob.mx/> (Consulta: febrero de 2016).
- INEGI. 2015. Retrieved from <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/temas/default.aspx?s=est&c=17484> (Consulta: enero de 2015).
- Jayanegara, A., Goel, G., Makkar, H. P. S., & Becker, K. 2015. Divergence between purified hydrolysable and condensed tannin effects on methane emission, rumen fermentation and microbial population in vitro. *Animal Feed Science and Technology*, 209, 60–68. <http://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.08.002>
- Knapp, J. R., Laur, G. L., Vadas, P. a, Weiss, W. P., & Tricarico, J. M. 2014. Invited review: Enteric methane in dairy cattle production: quantifying the opportunities and impact of reducing emissions. *Journal of Dairy Science*, 97(6), 3231–61. <http://doi.org/10.3168/jds.2013-7234>
- Knowlton, K. F., Wilkerson, V. a, Casper, D. P., & Mertens, D. R. 2010. Manure nutrient excretion by Jersey and Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, 93(1), 407–412. <http://doi.org/10.3168/jds.2009-2617>
- Lascano, C. 2004. Efecto del ambiente y del genotipo en la composición y actividad biológica de los taninos presentes en leguminosas. En: TANINOS EN LA NUTRICIÓN DE RUMIANTES EN COLOMBIA. Memorias de taller sobre taninos. CIAT-ETH. s.l. : Hess HD y Gómez J.,. p 25-38.
- Lettat, a, Hassanat, F., & Benchaar, C. 2013. Corn silage in dairy cow diets to reduce ruminal methanogenesis: effects on the rumen metabolically active microbial communities. *Journal of Dairy Science*, 96(8), 5237–48. <http://doi.org/10.3168/jds.2012-6481>.

- Machado, O. 1997. Valor nutricional de los alimentos. Elementos de evaluación y factores de calidad. Medellín : Editorial Universidad de Antioquia, 252 p.
- Martinez, C. M., Chung, Y.-H., Ishler, V. a, Bailey, K. W., & Varga, G. a. 2009. Effects of dietary forage level and monensin on lactation performance, digestibility and fecal excretion of nutrients, and efficiency of feed nitrogen utilization of Holstein dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 92(7), 3211–3221. <http://doi.org/10.3168/jds.2008-1306>
- McGarvey, J. A., Hamilton, S. W., Depeters, E. J., & Mitloehner, F. M. 2010. Effect of dietary monensin on the bacterial population structure of dairy cattle colonic contents. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 85(6), 1947–1952. <http://doi.org/10.1007/s00253-009-2229-8>
- NRC 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. National Research Council. National Academy Press. Washington, D.C. USA. 381 p.
- Preston, T. y L Eng, R.A. 1990 Ajustando los sistemas de producción pecuaria a los recursos disponibles: Aspectos básicos y aplicados del nuevo enfoque sobre la nutrición de rumiantes en el trópico. Colombia: CONDRIT,. p. 312.
- Ramin, M., & Huhtanen, P. 2013. Development of equations for predicting methane emissions from ruminants. *Journal of Dairy Science*, 96(4), 2476–2493. <http://doi.org/10.3168/jds.2012-6095>
- Rasmussen, J., & Harrison, A. 2011. The Benefits of Supplementary Fat in Feed Rations for Ruminants with Particular Focus on Reducing Levels of Methane Production. *ISRN Veterinary Science*, 2011(Table 1), 1–10. <http://doi.org/10.5402/2011/613172>
- Reed, J.D. 1995. Nutritional toxicology of tannins and related poliphenols in forage legumes. *Journal Animal Science*. Vol. 73; p. 1516- 1528.
- Russell, J. B. 2002. Rumen Microbiology and and Its Role in Ruminant Nutrition.
- Sauvant, D., Giger-Reverdin, S., Serment, A., & Broudiscou, L. 2011. Influences des regimes et de leur fermentation dans le rumen sur la production de methane par les ruminants. *Productions Animales*, 24(5), 433–446.
- Secretaria de Economia. 2012. Secretaría de Economía. http://www.economia.gob.mx/files/comunidad_negocios/industria_comercio/informacionSectorial/analisis_sector_lacteo.pdf, 1–29.
- SIAP. 2014. Retrieved from <http://www.siap.gob.mx/ganaderia-resumen-estatal-pecuario/> (Consulta: enero de 2015).

- Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T., Castel, V., Rosales, M., de Haan, C. 2006. La larga sombra del ganado, 465.
- Thirunavukkarasu, M., & Vinoth, R. 2013. Influence of vermicompost application alongwith nitrogen on growth, nutrients uptake, yield attributes and economics of rice (*Oryza sativa* L.). *International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology*, 6(4), 599–604. <http://doi.org/10.5958/j.2230-732X.6.4.037>
- UNFPA. 2015. Retrieved from <http://www.unfpa.org/es/world-population-dashboard> (Consulta: enero de 2015).
- Ushida, K. 1989. Effect of defaunation on Nitrogen digestión in sheep fed ammonia-treated straw with or without maize. The roles of protozoa and fungi in ruminant digestion. Australia: s.n., p 309 – 311.
- Van Horn, H. H., Wilkie, A. C., Powers, W. J., & Nordstedt, R. A. 1994. Components of Dairy Manure Management Systems. *Journal of Dairy Science*, 77(7), 2008–2030. [http://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(94\)77147-2](http://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(94)77147-2)
- Van Soest, P. J. 1982. Nutritional ecology of the ruminants. Cornell University Press, 2, 11–45.
- Yan, T., Mayne, C. S., Gordon, F. G., Porter, M. G., Agnew, R. E., Patterson, D. C., Ferris, C.P., Kilpatrick, D. J. 2010. Mitigation of enteric methane emissions through improving efficiency of energy utilization and productivity in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 93(6), 2630–2638. <http://doi.org/10.3168/jds.2009-2929>

CAPITULO II

EMISIÓN DE METANO EN LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE LECHE EN GANADO BOVINO DEL VALLE DE SAN LUIS POTOSÍ, MÉXICO

METHANE EMISSION OF DAIRY PRODUCTION SYSTEMS IN

SAN LUIS POTOSI VALLEY, MÉXICO

Miguel Ángel Beltrán Santoyo, Gregorio Álvarez Fuentes, Juan Manuel Pinos Rodríguez,
Carlos Contreras Servín

RESUMEN

Los sistemas de producción de leche originan impactos globales debido a las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) como el CO₂, CH₄ y N₂O provenientes de la respiración, fermentación entérica y del manejo de las heces. El objetivo de este estudio fue caracterizar los sistemas de producción de leche en ganado bovino del valle de San Luis Potosí, México, e identificar diferencias entre ellos en cuanto a la producción de leche, eficiencia de conversión del alimento y las emisiones de metano. Se evaluaron 15 de 35 unidades de producción de leche de ganado bovino ubicadas en el valle de San Luis Potosí, México, con hatos 20 a 100 vacas en producción. Las emisiones de CH₄ se determinaron con base en las directrices del panel intergubernamental de cambio climático (IPCC). El factor de emisión (FE) de CH₄ por fermentación entérica de vacas en producción fue 51.27 ± 11.71 kg año⁻¹ vaca⁻¹, mientras que por el manejo de heces fue 0.22 ± 0.05 kg año⁻¹ vaca⁻¹. Un análisis de correlación de Pearson de intensidad de metano y eficiencia alimenticia mostró un coeficiente $r = -0.92$, es decir, al aumentar la eficiencia de conversión del alimento disminuye la intensidad de emisión de metano.

Palabras clave: Emisión de metano, eficiencia alimenticia, producción de leche.

Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Calle Altaír No. 200, Colonia del Llano San Luis Potosí S.L.P.
México

INTRODUCCIÓN

La población mundial es 7200 millones de personas y para el 2050 será 9100 millones de habitantes (UNFPA, 2013); México tiene 112 336 538 habitantes con una tasa de crecimiento 1.8 % (INEGI, 2010), por lo cual la producción de alimentos aumenta debido al continuo incremento poblacional. Además las necesidades de alimentos de origen animal se duplicaría para satisfacer las demandas debidas a una mayor población, la urbanización, los cambios culturales y al aumento de sus ingresos (Steinfeld et al., 2009). Así, se han desarrollado sistemas intensivos de producción pecuaria que aportan 65 % de la producción lechera nacional, y el 35 % restante se produce en sistemas a pequeña escala con hatos de menos de 100 vacas (SIAP, 2011).

México ocupa el lugar 14 en la producción mundial de leche con 10 724.30 ML, y una población de 2 382 440 de vacas especializadas en su producción, en una superficie agrícola de 1 031 660 km² (FAO, 2011). En San Luis Potosí hay 16 023 vacas que producen 128.77 ML, por lo cual ocupa el lugar 17 de la producción lechera nacional. En el valle de San Luis Potosí se producen 17.79 ML de leche con 2300 vacas (SIAP, 2011).

Los sistemas pecuarios originan impactos globales debido a las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) como el dióxido de carbono (CO₂) en un 9 %, por la respiración de las vacas; el metano (CH₄) con un 37 % por la fermentación entérica de los rumiantes y del manejo de las heces, con un poder de calentamiento atmosférico 25 veces superior al del CO₂ y 65 % de óxido nitroso (N₂O) por los procesos de nitrificación y desnitrificación de la descomposición aeróbica de las heces con un potencial de calentamiento 298 veces más potente que el CO₂ (IPCC, 2014; Steinfeld et al., 2009).

La producción de CH₄ en los rumiantes constituye una pérdida de energía del 2 al 12 % de la ingesta de alimento (Johnson y Johnson, 1995) y está correlacionada con el consumo de materia seca, digestibilidad y motilidad de la dieta suministrada. El metano se genera principalmente por la fermentación ruminal del alimento cuyos excedentes de hidrógeno (H₂) producidos son usados por las bacterias metanogénicas para la reducción del CO₂ a CH₄, el cual es emitido por los animales mediante los eructos. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue caracterizar los sistemas de producción de leche en ganado bovino del valle

de San Luis Potosí, México, e identificar las diferencias entre ellos en cuanto a la producción de leche, eficiencia de conversión del alimento y las emisiones de metano.

MATERIALES Y MÉTODOS

La zona de estudio se localiza al occidente de la Sierra Madre Oriental, entre 21° 57' y 22° 40' N, y 100° 44' y 101° 11' O, formando una cuenca superficial cerrada, con una extensión aproximada de 1980 km² (CNA, 2002). La temperatura y precipitación media anual es de 16.9 °C y 416.4 mm, respectivamente (SMN, 2014). La información se recolectó de manera aleatoria en 15 de 35 unidades de producción con hatos que variaron entre 20 y 100 vacas Holstein en ordeño y confinamiento, de los cuales se obtuvieron y analizaron las variables: tamaño del hato, vacas en producción, producción promedio de leche, porcentaje de proteína y porcentaje de grasa en leche, peso vivo, ingesta de materia seca, relación forraje:concentrado y manejo de heces. Para calcular el factor de emisión de metano entérico y del manejo de las heces, la eficiencia de aprovechamiento del alimento fue definida como litros de leche producidos por kg de materia seca (MS) ingeridos por día. La intensidad de emisión de metano se calculó como la cantidad emitida de metano entérico y por el manejo de las heces por litro de leche producida (Leslie et al., 2008), para lo cual la producción de leche año⁻¹ se ajustó a 305 d de lactancia. Los sistemas de producción fueron clasificados mediante estadística descriptiva y análisis clúster con las variables mencionadas. La ingesta de MS (kg vaca⁻¹ d⁻¹) y de energía total (Mcal vaca⁻¹ d⁻¹) se calculó con el software del NRC (2001). La emisión de CH₄ se determinó con base en Intergovernmental Panel on Climate Change, 2006, nivel 2 (Dong et al., 2006); la ecuación (1) se usó para la emisión de CH₄ por fermentación entérica, la ecuación (2) para la emisión de CH₄ por el manejo de las heces, y la ecuación (3) para estimar la cantidad de sólidos volátiles excretados:

$$FEe CH_4 = EB \times (Ym/100) \times 365 \div (55.65) \quad (1)$$

donde FEe CH₄ es el factor de emisión de CH₄ entérico kg vaca⁻¹ año⁻¹; EB es la ingesta de energía total, MJ vaca⁻¹ d⁻¹; Ym es el factor de conversión en CH₄, porcentaje de la energía total del alimento convertida en CH₄ de 6.5 % ± 1 %; el factor 55.65 (MJ kg⁻¹ CH₄) es el contenido de energía del CH₄.

$$FEh CH_4 = (SV \times 365) \times [B_o \times 0.67 Kg m^3 \times \frac{\sum_{S,k} MCF_{S,k}}{100 \times MS_{S,k}}.] \quad (2)$$

donde FEh CH₄ es el factor de emisión de CH₄ por manejo de heces kg vaca⁻¹ año⁻¹; SV los sólidos volátiles excretados por día; Bo es la capacidad máxima de producción de CH₄ de las heces, 0.188 m³ CH₄/SV; 0.67 es el factor de conversión de m³ de CH₄ a kg de CH₄; MCF_{S,k} son factores de conversión de CH₄ para cada sistema de manejo de heces (S) por región climática (k), = 1.5 %; MS_(S,k) es la fracción de las heces manejadas en el sistema (S) en la región climática (k), sin dimensión = 0.1.

$$SV = ((EB \times 0.5) + (0.04 \times EB)) \times (0.92 \div 18.45) \quad (3)$$

donde SV son sólidos volátiles excretados por día; EB es la energía total por día (MJ vaca⁻¹ d⁻¹).

El peso vivo se calculó de acuerdo con la metodología de Quetelet (Ávila y Gutiérrez, 2010); con la longitud del cuerpo y perímetro torácico (ecuación 4):

$$PV = (PT)^2 \times L \times C \quad (4)$$

donde PV es el peso vivo del animal; PT es el perímetro torácico; L es el largo o longitud del cuerpo; C es la constante para hembras (87.5); constante para machos (99).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La estructura de los 15 hatos de producción de leche de ganado bovino del valle de San Luis Potosí, fue 49 % vacas en ordeño, 8 % vacas secas y 43 % vacas de reemplazo y otros (Cuadro 2). Para vacas en producción en la zona de estudio, la EB del alimento consumida fue 17.25±3.94 Mcal vaca⁻¹ d⁻¹, la excreción de sólidos volátiles fue 3.24±0.74 kg vaca⁻¹ d⁻¹, la ingesta de MS fue 13.45±1.76 kg vaca⁻¹ d⁻¹ y el factor de emisión de CH₄ por fermentación entérica fue 51.27±11.71 kg año⁻¹ vaca⁻¹, esta última fue menor (121 kg año⁻¹ vaca⁻¹) a la indicada por el IPCC (2006) nivel 1 para América del Norte, donde la producción de leche (8400 kg año⁻¹ vaca⁻¹) es superior a la producción en la zona de estudio (3774.07±1392.46 kg año⁻¹ vaca⁻¹). Esto se debe a la digestibilidad y relación de forraje:concentrado, la cual es mayor para la dieta en América del Norte, y también la ingesta de MS y la eficiencia de conversión del alimento es mayor, y la calidad genética de

las vacas es mejor. En los factores de emisión de metano entérico hubo diferencias ($p \leq 0.05$) de acuerdo con el estado fisiológico de las vacas, lo cual se atribuyó a que los requerimientos mayores de energía para estas vacas, lo cual induce aumento de la ingesta de MS y de la excreción de sólidos volátiles (Cuadro 3). Lo anterior muestra que los actuales inventarios de CH_4 están sobreestimados ya que en ellos hay un único factor de emisión de CH_4 entérico ($72 \text{ kg año}^{-1} \text{ vaca}^{-1}$) para la todas las vacas sin tomar en cuenta su etapa fisiológica.

Cuadro 2. Estructura y emisión de metano de los sistemas de producción de leche en ganado bovino del valle de San Luis Potosí, México. (n=15)

Categoría				Emisión de CH_4 (kg) de origen	
	n	%	PV (kg)	Entérico ($\text{kg} \times 10^3$)	Manejo de heces (kg)
Vacas producción	463	49	486.8 ± 50.8	23.7 ± 5.4	101.8 ± 23.1
Vacas secas	79	8	458.2 ± 51.9	2.4 ± 0.1	10.2 ± 0.7
Vaquillas al parto	130	14	346.1 ± 60.0	4.2 ± 0.6	18.2 ± 2.6
Becerras destetadas a primer servicio.	122	13	234.6 ± 32.4	2.8 ± 0.3	12.2 ± 1.2
Becerras 0 a 6 meses	118	13	105.4 ± 22.7	0.9 ± 0.0	4.7 ± 0.0
Otros (becerros, novillos, sementales)	24	3	515.9 ± 100.5	0.8 ± 0.1	3.8 ± 0.5
Total	936	100		35.1 ± 6.7	151.1 ± 28.2

PV= Peso vivo, se obtuvo con la ecuación $\text{PV} = (\text{PT})^2 * \text{L} * \text{C}$ (Ávila y Gutiérrez, 2010)

El factor de emisión de CH_4 (Cuadro 4) para el manejo de las heces fue $0.22 \pm 0.05 \text{ kg año}^{-1} \text{ vaca}^{-1}$, y fue menor al que marca el IPCC nivel 1, para América del Norte ($71 \text{ kg año}^{-1} \text{ vaca}^{-1}$) y América Latina ($1 \text{ kg año}^{-1} \text{ vaca}^{-1}$). El FEh CH_4 encontrado coincide con el hallado ($0.21 \text{ kg año}^{-1} \text{ vaca}^{-1}$) en México por González y Ruiz (2007). Los inventarios actuales de CH_4 de la FAO, consideran un factor de emisión de CH_4 entérico de 72 kg año^{-1}

vaca⁻¹, del que resulta una emisión de 67392 kg para las 936 vacas de los 15 hatos de producción de la zona de estudio, comparados con los 35090.42±6668.27 kg obtenido en esta investigación, lo cual es una sobreestimación de 60 a 240 %. De acuerdo con el factor de CH₄ por manejo de las heces (1 kg año⁻¹ vaca⁻¹) se obtiene una emisión de 936 kg comparado con 151.09±28.24 kg, por lo cual es cinco a siete veces superior al obtenido en el presente estudio (Cuadro 2).

Cuadro 3. Factores de emisión de metano entérico y de manejo de heces en los sistemas de producción de leche de ganado bovino del valle de San Luis Potosí, México. (n=15)

	IMS kg vaca ⁻¹ día ⁻¹	EB Mcal vaca ⁻¹ día ⁻¹	FE _e CH ₄ kg año ⁻¹ vaca ⁻¹	SV kg vaca ⁻¹ día ⁻¹	FE _h CH ₄ kg año ⁻¹ vaca ⁻¹
Vacas Producción	13.4 ± 1.8	17.2 ± 3.9	51.3 ± 11.7	3.2 ± 0.7	0.2 ± 0.0
Vacas Secas	9.0 ± 1.0	10.3 ± 0.7	30.7 ± 2.0	1.9 ± 0.1	0.1 ± 0.0
Vaquillas al Parto	9.2 ± 1.2	10.9 ± 1.7	32.5 ± 5.0	2.0 ± 0.3	0.1 ± 0.0
Becerras destetadas a primer servicio.	5.8 ± 0.6	7.9 ± 0.9	23.6 ± 2.7	1.5 ± 0.2	0.1 ± 0.0
Becerras 0 a 6 meses	1.9 ± 0.0	2.7 ± 0.0	8.0 ± 0.0	0.5 ± 0.0	0.0 ± 0.0
Otros (becerros, novillos, sementales)	11.8 ± 1.0	12.2 ± 1.4	36.2 ± 4.2	2.3 ± 0.3	0.2 ± 0.0

IMS= Ingesta de materia seca; EB= Energía bruta; FE_e= Factor de emisión de metano entérico, se obtuvo con la ecuación FE_e CH₄= EB* (Ym/100) * 365 / (55.65); FE_h= Factor de emisión de metano heces, se obtuvo con la ecuación FE_h CH₄ = (SV *365) * [BO * 0.67 kg m⁻³ * ΣS_k MCF S_k /100 * MS (S, k)]; SV=Solidos volátiles se obtuvo con la ecuación SV = (EB *0.5+(0.04*EB))*(0.92/18.45) (Dong *et al.*, 2006)

Del análisis clúster resultaron tres grupos (Cuadro 4), entre los cuales no hay diferencias significativas en tamaño del hato, vacas en producción, peso vivo y contenido de proteína y grasa en leche. Para vacas con eficiencia alimenticia baja (Cuadro 4) la producción de leche fue menor (6.25±2.19 L) y la intensidad de emisión de CH₄ fue mayor (19.59±4.10 g L⁻¹); en estos sistemas se ordeña con equipo portátil y mano de obra familiar, la superficie para la producción de alimento es pequeña (1.5±2.12 ha), la dieta se basa en una relación 95:5 de forraje:concentrado: alfalfa fresca (Medicago sativa), maguey (Agave salmiana) y sorgo, el concentrado es una mezcla de 40 % pollinaza, 20 % maíz en grano, 20 % salvado y 20 %

concentrado comercial. La eficiencia alimenticia media (Cuadro 4) se define por una producción de leche de 11.58 ± 2.69 L y una intensidad de emisión de CH_4 de 14.44 ± 2.3 g L^{-1} . No hay diferencia ($p \leq 0.05$) entre el grupo de baja y media eficiencia alimenticia en la ingesta de MS, la relación de forraje:concentrado, EB consumida por las vacas en producción, y factor de emisión entérico. Igualmente, el grupo de eficiencia alimenticia media no tiene diferencia ($p \leq 0.05$) con el de eficiencia alimenticia alta en la relación de forraje:concentrado, pero si tuvo una menor ($p \leq 0.05$) producción de leche e intensidad de emisión de CH_4 en comparación al grupo de eficiencia alimenticia alta. El grupo con eficiencia media se caracteriza por el uso de una dieta con alfalfa fresca y concentrado comercial, con una relación forraje:concentrado de 66:34 y una mayor ($p \leq 0.05$) ingesta de MS 13.20 ± 0.83 kg vaca⁻¹ d⁻¹, respecto al grupo de eficiencia alimenticia baja. El grupo de mayor eficiencia alimenticia tuvo la menor ($p \leq 0.05$) intensidad de emisión de CH_4 (11.74 ± 1.51 g L^{-1}), la dieta es de mayor digestibilidad ($p \leq 0.05$) y es 55:45 forraje:concentrado, ensilado de maíz, ensilado de sorgo, alfalfa fresca y alfalfa henificada, el concentrado es una mezcla de 75 % concentrado comercial y 25 % grano de maíz; la ingesta de MS fue 15.87 ± 1.72 kg vaca⁻¹ d⁻¹, la producción de leche aumentó y la emisión de CH_4 por litro de leche producido disminuyó.

Cuadro 4. Variables para análisis clúster de los sistemas de producción de leche de ganado bovino del valle de San Luis Potosí, México. (n=15)

Variables	Eficiencia alimenticia*		
	Baja	Media	Alta
Tamaño de hato, vacas	24.5 ± 0.7 a	67.9 ± 31.8 a	69.7 ± 19.5 a
Vacas en producción, vacas	16.5 ± 2.1 a	32.1 ± 12.4 a	36.0 ± 7.8 a
Producción promedio, l día ⁻¹	6.2 ± 2.2 c	11.6 ± 2.7 b	19.2 ± 0.9 a
Proteína en leche, %	3.0 ± 0.2 a	3.1 ± 0.1 a	3.0 ± 0.2 a
Grasa en leche, %	3.2 ± 0.5 a	3.1 ± 0.5 a	3.2 ± 0.3 a
Peso vivo promedio de las vacas en producción, kg	460.5 ± 46.0 a	489.6 ± 50.0 a	495.0 ± 70.0 a
IMS vacas en producción, kg vaca ⁻¹ día ⁻¹	11.1 ± 1.4 b	13.2 ± 0.8 b	15.9 ± 1.7 a
Relación forraje:concentrado	95:5 ± 7.0 a	66:34 ± 16.7 ab	55:45 ± 9.3 b
Energía bruta consumida vacas en producción, Mcal día ⁻¹	12.0 ± 1.8 b	16.6 ± 2.0 b	23.0 ± 3.2 a
Factor de emisión entérico, kg año ⁻¹ vaca ⁻¹	35.8 ± 5.3 b	49.3 ± 6.0 b	68.3 ± 9.5 a
Sólidos volátiles, kg vaca ⁻¹ día ⁻¹	2.3 ± 0.4 b	3.1 ± 0.4 b	4.3 ± 0.6 a
Factor de emisión heces, kg año ⁻¹ vaca ⁻¹	0.2 ± 0.0 c	0.2 ± 0.0 b	0.3 ± 0.0 a
Intensidad de emisión de metano entérico y heces de vacas en producción, g l ⁻¹	19.6 ± 4.1 a	14.4 ± 2.3 b	11.7 ± 1.5 b

* IMS= Ingesta de materia seca.

Medias con distinta letra en una hilera son estadísticamente diferentes (Tukey, p≤0.05).

Baja (0.55 ± 0.13). Media (0.87 ± 0.18). Alta (1.21 ± 0.12)

El análisis de correlación de Pearson mostró que intensidad de emisión de CH₄ se correlaciona negativamente (r = -0.92) con la eficiencia alimenticia, lo cual muestra que la intensidad de emisión de CH₄ aumenta cuando la eficiencia alimenticia disminuye.

El análisis de regresión lineal simple (ecuación 5) muestra:

$$IECH_4 = -11.98 \text{ g}^{-1} \times EA + 25.35 \quad r^2 = 0.863 \quad (5)$$

donde IECH₄ es la intensidad de emisión de metano; EA es la eficiencia del alimento.

Incrementar la productividad en vacas lecheras puede ser la estrategia más exitosa para reducir la intensidad de emisión de CH₄. Para ello se deben tomar en cuenta los factores de alimentación que afectan el consumo de MS y producción de leche. Así, la composición de la dieta, forma física, humedad, relación forraje:concentrado y la calidad genética de las vacas aumentan o disminuyen la producción de leche. Hristov (2013) manifiesta que dietas con más de 40 % de concentrado disminuyen la emisión de CH₄ entérico lo cual se observa en el presente estudio ya que vacas con eficiencia alta presentan una intensidad de emisión de CH₄ menor en 65 % respecto a las vacas con eficiencia baja. El aumento de la digestibilidad del forraje e ingesta de forraje digestible reduce las emisiones de CH₄ por fermentación entérica y manejo de las heces (Afshar y Naser, 2011). Además, según Hassanat et al. (2012) y Lettat et al. (2013), el remplazo del ensilado de pastos o alfalfa por ensilado de maíz reduce la producción de metano, al aumentar la concentración de propionato, disminuye el pH y las concentraciones de acetato y butirato, y decrece la población de protozoarios que mantienen una relación de simbiosis con las bacterias metanogénicas al producir hidrógeno.

CONCLUSIONES

La presente investigación mostró que los factores de emisión de metano entérico y el manejo de las heces difieren por estado fisiológico de las vacas, y la intensidad de emisión de metano se correlaciona de manera negativa con la eficiencia de utilización del alimento, por lo que se considera que los inventarios de metano actuales no reflejan impacto ambiental real.

Los inventarios de emisión de metano deben por lo tanto, realizarse de acuerdo con la estructura de los hatos y el estado fisiológico de los animales que los componen.

Duplicar la ingesta de energía total, aumentar el consumo de materia seca en relación al peso vivo e incrementar la ración de concentrado para vacas con baja eficiencia alimenticia, podría incrementar la producción de leche y disminuir el impacto negativo por la emisión de metano por litro de leche producida.

LITERATURA CITADA

Afshar M. and M. Naser. 2011. Factors affecting mitigation of methane emission from ruminants I: feeding strategies. *J. Asian J. Anim Vet. Adv.* 9: 888-908.

Ávila S. y A. Gutiérrez. 2010. Producción de leche con ganado bovino. Manual moderno. México. 424 p.

CNA 2002. Comisión Nacional del Agua. Determinación de la disponibilidad de agua en el acuífero San Luis Potosí, estado de San Luis Potosí. 20 p.

Dong H., J. Mangino, T. McAllister, J. Hatfield, D. Johnson, K. Lassey, M. Aparecida, A. Romanovskaya, D. Bartram, D. Gibb, J. Martin. 2006. Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, Volumen 4: Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra. IPCC. (Intergovernmental Panel on Climate Change). IGES.(Institute for Global Environmental Strategies). Japon. 91 p.

González, E. y L. Ruiz. 2007. Methane conversion factors from cattle manure in México. *R. Atmosfera* 1: 183-192.

Hassanat, F., R. Gervais , C. Julien , D. I. Massé , A. Lettat , P. Y. Chouinard, H. V. Petit , and C. Benchaar. 2012. Replacing alfalfa silage with corn silage in dairy cow diets: effects on enteric methane production, ruminal fermentation, digestion, n balance, and milk production. *J. Dairy Sci.* 96: 4553–4567.

Hristov, A., J. Oh, C. Lee, R. Meinen, F. Montes, T. Ott, J. Firkins, A. Rotz, C. Dell, A. Adesogan, W. Yang, J. Tricarico, E. Kebreab, G. Waghorn, J. Dijkstra, S. Oosting. 2013. Mitigation of greenhouse gas emissions in livestock production. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma. 206 p.

Instituto Nacional de estadística, geografía e informática (INEGI).

<http://www3.inegi.org.mx/sistemas/temas/default.aspx?s=est&c=17484> (consulta: marzo 2014).

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).

http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/ch2s2-10-2.html (Consulta: Dic de 2014)

Johnson, K. and D. Johnson. 1995. Methane Emissions from Cattle. *J. Anim Sci.* 73:2483-2492.

Leslie, M., M. Aspin, y H. Clark, 2008. Greenhouse gas emissions from New Zealand agriculture: issues, perspectives and industry response. *Austr. J. Exp. Agric.* 48: 1–5.

Lettat, A., F. Hassanat, and C. Benchaar. 2013. Corn silage in dairy cow diets to reduce ruminal methanogenesis: Effects on the rumen metabolically active microbial communities. *J. Dairy Sci.* 96: 5237-5248.

NRC 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. National Research Council. National Academy Press. Washington, D.C. USA. 381 p.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). <http://faostat.fao.org/site/569/DesktopDefault.aspx?PageID=569#ancor>. (Consulta: julio de 2011).

Servicio Meteorológico Nacional (SMN).

http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=42&Itemid=75. (Consulta: enero de 2014).

Sistema de información agroalimentaria y pesquera (SIAP).

http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=373 (Consulta: junio de 2013).

Shinkai, T., O. Enishi, M. Mitsumori , K. Higuchi, Y. Kobayashi , A. Takenaka ,K. Nagashima , M. Mochizuki, and Y. Kobayashi. 2012. Mitigation of methane production from cattle by feeding cashew nut shell liquid .» *J. Dairy Sci.* 95: 5308–5316.

Steinfeld, H., P. Gerber, T. Wassenaar, V. Castel, M. Rosales, Cees de Haan. 2009. La larga sombra del ganado problemas ambientales y opciones. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma. 431p.

United Nations Population Fund (UNFPA). www.unfpa.org (Consulta: junio de 2013).

CAPITULO III

EFICIENCIA ALIMENTICIA Y EXCRECIÓN DE NUTRIENTES DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE LECHE DE GANADO BOVINO EN EL VALLE DE SAN LUIS POTOSÍ, MÉXICO

FEED EFFICIENCY AND NUTRIENT EXCRETION FROM DAIRY PRODUCTION SYSTEMS IN THE VALLEY OF SAN LUIS POTOSÍ, MÉXICO.

RESUMEN

Evaluar la eficiencia alimenticia en los sistemas de producción de leche, así como también la excreción de nutrientes permite observar si el aprovechamiento del alimento es óptimo y da a conocer si existe algún riesgo ambiental. Por lo cual se plantea el objetivo de evaluar la eficiencia alimenticia y excreción de nutrientes de los sistemas de producción de leche de ganado bovino en el valle de San Luis Potosí, México. La eficiencia alimenticia, se determinó con litros de leche producidos por kg de materia seca consumidos y la intensidad de excreción de nutrientes determinada por la cantidad de nutrientes excretados en heces por litro de leche. Se realizó un análisis de correlación Pearson entre la eficiencia alimenticia y excreción de nutrientes, posteriormente se obtuvieron ecuaciones de regresión para la emisión de cada uno de los nutrientes. La correlación entre excreción de y eficiencia alimenticia fue negativa ($r = -0.9425$), lo que demuestra que la concentración de excreción de nutrientes aumenta cuando la eficiencia alimenticia disminuye. Las ecuaciones para la intensidad de excreción de Nitrógeno (IEN): $IEN = -33.012 \text{ g l}^{-1} \times EA + 59.0830$; intensidad de excreción de Fósforo (IEP) $IEP = -5.3619 \text{ g l}^{-1} \times EA + 9.6868$; intensidad de excreción de Potasio (IEK) $IEK = -3.6302 \text{ g l}^{-1} \times EA + 7.835$. El incremento de la eficiencia alimenticia reduce la excreción de nutrientes.

Palabras clave: Eficiencia alimenticia, producción de leche, excreción de nutrientes, intensidad de excreción.

INTRODUCCIÓN

La población mundial es 7,349 millones de personas y para el 2050 será 9,600 millones de habitantes (UNFPA, 2015); México tiene 112,336,538 habitantes con una tasa de crecimiento de 1.8% (INEGI, 2015), por lo que la producción de alimentos aumenta debido al continuo crecimiento poblacional.

En las tres últimas décadas la producción mundial de leche ha aumentado en más del 50%, pasando de 482 millones de toneladas en 1982 a 754 millones de toneladas en 2012 (FAO, 2015). México creció en 55% con una tasa media de crecimiento anual de 1.7% (SIAP, 2014). En México la producción por vaca incrementó 19.7%, en 1983 fue de 3,788.4 l y para el 2012 alcanzó 4,536.3 l/lactancia, sin embargo, en los Estados Unidos aumentó en 71.9 % al acrecentar su producción de 5,725.3 l en 1983 a 9,841.3 l/lactancia en 2012 (FAOSTAT, 2016).

En México en 2014 existía una población de 2,430,581 vacas especializadas en la producción de leche de la que se obtuvieron 11,129.62 megalitros (MI) de leche, en San Luis Potosí hay 16,349 vacas, que producen 127.30 MI, por lo que ocupa el lugar 17 de la producción lechera nacional. En el valle de San Luis Potosí se producen 17.6 MI de leche con 2,300 vacas (SIAP, 2016).

Los sistemas de producción de leche en el valle de San Luis Potosí son familiares donde la problemática de producción se debe a limitantes nutricionales debido a la calidad y disponibilidad de forrajes, esquemas de nutrición que no cubren los requerimientos nutricionales de las vacas, se carece de programas de mejoramiento genético y los problemas de salud en el hato se deben a falta de programas sanitarios, se tiene un manejo inadecuado del estiércol; donde los productores lo acumulan en los corrales un semestre o hasta un año dependiendo del número de animales en el hato lo que provoca problemas en el bienestar humano y animal (Vera Ávila et al., 2009).

El estiércol en los sistemas de producción de leche es considerado el principal residuo y es fuente de contaminantes al suelo, agua y atmosfera. El principal impacto al agua y suelo es la excreción de nutrientes, las vacas lecheras excretan al ambiente a través de las heces y orina entre el 70 y 85% de Nitrógeno (N) (Van Horn et al., 1994; Gregorini, et al., 2016) y

entre el 58 y 75% de Fósforo (P) consumidos (Van Horn et al., 1994; Álvarez et al., 2016), las pérdidas de Fósforo (P) por los sistemas de producción animal contribuyen a la eutrofización de los mantos de agua (Steinfeld et al., 2006), Chávez et al., (2011) mencionan que los drenajes agrícolas y las aguas residuales son las principales fuentes de contaminantes de la ciénega de Chapala en Michoacán.

La excreción de potasio (K) ocurre principalmente en la orina 80 y 20 % de K no absorbido en heces (NRC, 2001; Van Horn et al., 1994). Y no suele ser considerado contaminante de aguas o suelos, debido a su capacidad de fijación e intercambio iónico, sin embargo, su solubilidad, puede originar pérdidas al ambiente por lavado en suelos con poca cobertura vegetal o arenosos. (Lampkin, 2001).

Por lo anterior la evaluación de la eficiencia alimenticia en los sistemas de producción de leche, así como de la excreción de nutrientes permite ver si el aprovechamiento del alimento es óptimo y da a conocer el riesgo ambiental. Por lo que en el presente estudio se planteó el objetivo de evaluar la eficiencia alimenticia y excreción de N, P y K en los sistemas de producción de leche de ganado bovino en el valle de San Luis Potosí, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

La zona de estudio, se localiza en el valle de San Luis Potosí, México, al occidente de la Sierra madre oriental, entre los paralelos 21° 57' y 22° 40' de latitud norte; los meridianos 100° 44' y 101° 11' de longitud oeste formando una cuenca superficial cerrada, con una extensión aproximada de 1,980 km². La temperatura y precipitación media anual es de 16.9° C. y 416.4 mm respectivamente (SMN, 2014).

Se recolectó información de 14 establos en la zona de estudio donde el tamaño del hato varió entre 18 y 100 vacas en producción, de los cuales se obtuvieron y analizaron las siguientes variables: número de animales, vacas en producción, producción de leche, porcentaje de proteína y grasa en leche, peso vivo, relación forraje:concentrado, consumo de materia seca así como también la eficiencia alimenticia, la cual se determinó con litros de leche producidos por kg de materia seca consumidos.

Leslie et al., (2008) proponen que la emisión de metano debe ser en base a la eficiencia y productividad animal por lo cual generan un indicador denominado intensidad de emisión de metano el cual definen como la cantidad emitida de metano entérico y por el manejo de las heces por litro de leche producida, por lo que de igual manera se expresa la intensidad de excreción de nutrientes determinada por la cantidad de nutriente excretado en heces por litro de leche producido.

Para determinar el peso vivo se utilizó la metodología de Quetelet (Ávila y Gutiérrez, 2010); con la longitud del cuerpo y perímetro torácico ecuación 1.

$$PV = PT^2 \times L \times C \quad (1)$$

donde: PV = peso vivo; PT = perímetro torácico; L = largo o longitud del cuerpo; C = constante para hembras (87.5); constante para machos (99).

El cálculo del consumo de materia seca se realizó utilizando el software del Nutrient Requirements of Dairy Cattle (NRC, 2001).

Para estimar la excreción de nutrientes en heces se realizó por medio de las ecuaciones de American Society of Agricultural Engineers (ASAE, 2005).

La excreción de estiércol (EE) para vacas en producción se determinó conforme a la ecuación 2.

$$EE = (PL \times 0.172) + (CMS \times 2.207) + (Gr L \times 171.83) + (Pr L \times 505.31) - 8.17 \quad (2)$$

Error residual = 7.00

donde: PL = producción de leche; CMS = consumo de materia seca; Gr L= % grasa en leche; Pr L= % proteína en leche.

La excreción de Nitrógeno (EN) para vacas en producción se determinó conforme a la ecuación 3.

$$EN = (PL \times 4.204) + 283.3 \quad (3)$$

Error residual = 110.8

donde: PL = producción de leche.

La excreción de Fósforo (EP) para vacas en producción se calculó conforme a la ecuación 4.

$$EP = (PL \times 0.773) + 46.015 \quad (4)$$

Error residual = 14.48

donde: PL = producción de leche.

La excreción de Potasio (EK) para vacas en producción se evaluó conforme a la ecuación 5.

$$EK = (PL \times 1.8) + 31.154 \quad (5)$$

Error residual = 26.94

donde: PL = producción de leche.

El contenido de proteína y grasa en leche se determinó con un equipo analizador de leche por ultrasonidos, marca EON, modelo Ekomilk ULTRA PRO (Bulgaria), se tomaron muestras de 6 ml del tanque de almacenamiento y conservadas en hielera durante el traslado para su evaluación.

Análisis Estadístico

Para la clasificación de las unidades de producción se realizó un análisis clúster con el PROC CLUSTER de SAS (SAS, 2002) ver 9.00. Los grupos obtenidos se clasificaron de acuerdo a la eficiencia alimenticia, obteniendo cuatro grupos: baja (0.6 ± 0.0), media (0.8 ± 0.1), alta (1.1 ± 0.0) y superior (1.2 ± 0.1). Se realizó un análisis de varianza para comparar estos grupos mediante un diseño completamente al azar y una prueba de medias de Tukey (Steel et al., 1997). Para observar si había relación entre la excreción de nutrientes y la eficiencia alimenticia, se realizó, un análisis de correlación de Pearson, cuando las variables se correlacionaron se corrió un análisis de regresión.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La estructura de los hatos de las unidades de producción de leche del valle de San Luis Potosí, México, resultó en un tamaño de hato promedio de 65 ± 31 cabezas, de las cuales 50% son vacas en ordeño y el resto del hato en animales de reemplazo y otros, con una producción promedio de leche 12.93 ± 4.18 l vaca⁻¹ día⁻¹, un peso vivo de vacas en producción de 491.0 ± 49.9 kg con un consumo de materia seca de 13.69 ± 1.55 kg vaca⁻¹ día⁻¹, la eficiencia alimenticia fue de 0.93 ± 0.22 , con una excreción de estiércol húmedo de 45.35 ± 4.24 kg vaca⁻¹ día⁻¹, la excreción de N, P y K resultó en 337.7 ± 17.6 , 56.0 ± 3.2 , 54.4 ± 7.5 g vaca⁻¹ día⁻¹ respectivamente. La excreción de Fósforo resultó muy cercano al obtenido por Klop et al., (2013) 53.7 ± 21.0 g vaca⁻¹ día⁻¹ y superior al obtenido por Álvarez et al., (2016) 48.6 ± 19.0 y esto se puede deber al amplio rango de excreción de Fósforo que tiene de 15.5 a 99.2 y en el presente estudio fue de 51.6 a 61.5 g vaca⁻¹ día⁻¹. Groff & Wu, (2005) obtuvo un rango de excreción en orina y heces de 484 to 571 g vaca⁻¹ día⁻¹ las diferencias se pueden deber a la alta producción de leche de las vacas en su estudio con un rango de 31.5 a 39.5 l vaca⁻¹ día⁻¹, los autores también mencionan que la excreción de nitrógeno está en proporción al N consumido.

Del análisis clúster resultaron cuatro grupos a una distancia euclídea de 0.75 (Figura 6), donde de la matriz de correlación, las variables de mayor proporción fueron; la producción promedio 0.8159 y el peso vivo 0.1266, el análisis de conglomerado de enlace medio reflejó; la mayor asimetría en el consumo de materia seca 1.26 y excreción de estiércol 1.22 y la menor corresponde a la eficiencia alimenticia 0.21, entre los grupos no existen diferencias significativas ($p > 0.05$) en cuanto al tamaño del hato, peso vivo y calidad de la leche con respecto al contenido de proteína y grasa en leche. Los cuatro grupos resultantes se clasificaron de acuerdo a la eficiencia alimenticia de la siguiente manera: Baja eficiencia I (0.6 ± 0.0); Eficiencia media II (0.8 ± 0.1); eficiencia alta III (1.1 ± 0.0) y eficiencia superior IV (1.2 ± 0.1).

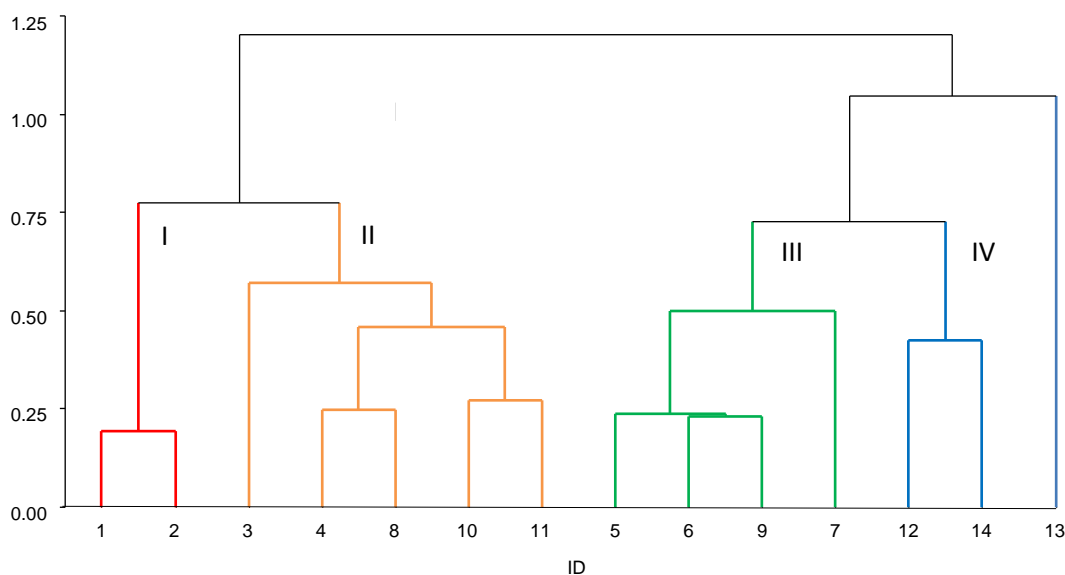


Figura 8. Dendrograma de los sistemas de producción de leche de ganado bovino del valle de San Luis Potosí, México

La producción promedio de leche para el grupo de eficiencia alimenticia baja 0.6 ± 0.0 (I) (Figura 8), resultó en 7.5 ± 0.4 l vaca⁻¹ día⁻¹ con un contenido de proteína de $3.0 \pm 0.2\%$ y grasa $3.0 \pm 0.2\%$, el consumo de materia seca resultó en 11.8 ± 0.4 kg vaca⁻¹ día⁻¹ y un peso vivo de las vacas en producción de 483.5 ± 13.4 kg, la dieta se basa principalmente en una relación 88:12 de forraje:concentrado, conformada por alfalfa fresca (*Medicago sativa*) y heno de avena, el concentrado es una mezcla de maíz en hojuelas y concentrado comercial (Cuadro 5). El ordeño es de forma manual y la reproducción es por monta directa.

El grupo de eficiencia alimenticia media 0.8 ± 0.1 (II) (Figura 8), la producción promedio de leche resultó en 10.3 ± 1.0 l vaca⁻¹ día⁻¹ con un contenido de proteína de $3.2 \pm 0.1\%$ y grasa $3.2 \pm 0.6\%$, con un consumo de materia seca de 13.4 ± 0.5 kg vaca⁻¹ día⁻¹ y peso vivo de animales en producción de 516.60 ± 52.4 kg, la dieta consta de una relación de forraje:concentrado de 67:33 conformada por alfalfa fresca, alfalfa henificada, avena henificada, silo de maíz y silo de sorgo, el concentrado es una mezcla de salvado de trigo,

maíz en hojuelas, melaza y concentrado comercial (Cuadro 5). El ordeño es mediante ordeñadoras portátiles y la reproducción es por monta directa.

El grupo de eficiencia alimenticia alta 1.1 ± 0.0 (III) (Figura 8), la producción promedio de leche resulto en 14.2 ± 1.3 l vaca⁻¹ día⁻¹ con un contenido de proteína de $3.1 \pm 0.2\%$ y grasa $3.1 \pm 0.3\%$, con un consumo de materia seca de 13.4 ± 0.8 kg vaca⁻¹ día⁻¹ y peso vivo de animales en producción de 459.80 ± 36.90 kg, la dieta se basa de una relación de forraje:concentrado de 62:38 conformada por alfalfa fresca, alfalfa henificada y avena henificada, el concentrado suministrado es maíz en hojuelas y concentrado comercial (Cuadro 5). El ordeño es mediante ordeñadoras portátiles y la reproducción es por monta directa, en una de las unidades de producción su sistema de reproducción es por inseminación artificial.

El grupo de eficiencia alimenticia superior 1.2 ± 0.1 (IV) (Figura 8), la producción promedio de leche resulto en 19.2 ± 1.0 l vaca⁻¹ día⁻¹ con un contenido de proteína de $3.0 \pm 0.2\%$ y grasa $3.2 \pm 0.3\%$, con un consumo de materia seca de 15.9 ± 1.7 kg vaca⁻¹ día⁻¹ y peso vivo de animales en producción de 495.0 ± 70.0 kg, , la dieta consta de una relación de forraje:concentrado de 55:45 conformada por alfalfa fresca, alfalfa henificada, heno de pasto, silo de maíz y silo de sorgo, el concentrado es comercial y melaza (Cuadro 5). Las 3 unidades de producción de este grupo cuentan con sala de ordeño y su sistema de reproducción es por inseminación artificial.

Existen diferencias ($p \leq 0.05$) en cuanto a la producción de leche presentando la mayor producción el grupo de eficiencia alimenticia superior con 19.2 ± 1.0 l vaca⁻¹ día⁻¹ y la menor el grupo de eficiencia alimenticia baja 7.5 ± 1.0 l vaca⁻¹ día⁻¹, el grupo de eficiencia alimenticia superior resalto con el mayor CMS con 15.9 ± 1.7 kg vaca⁻¹ día⁻¹ y el menor CMS el grupo de eficiencia alimenticia baja con 11.8 ± 0.4 kg vaca⁻¹ día⁻¹ (Cuadro 6).

Cuadro 5. Composición de la dieta de los sistemas de producción de leche de ganado bovino del valle de San Luis Potosí, México (n=14)

Composición de la dieta %	Eficiencia alimenticia			
	Baja n=2	Media n= 5	Alta n= 4	Superior n= 3
CMS kg vaca ⁻¹ día ⁻¹	11.8 ± 0.4 b	13.4 ± 0.5 b	13.4 ± 0.8 b	15.9 ± 1.7 a
Alfalfa Fresca	43.2 ± 0.8	19.5 ± 6.4	53.4 ± 10.6	9.0 ± 9.0
Alfalfa Henificada	-	6.3 ± 14.1	11.3 ± 13.0	19.3 ± 33.5
Avena Henificada	44.4 ± 9.7	5.2 ± 11.6	16.5 ± 19.4	-
Pasto Henificado	-	-	-	3.3 ± 5.8
Silo de Maíz	-	8.9 ± 8.2	-	10.5 ± 9.4
Silo de Sorgo	-	8.9 ± 8.2	-	10.5 ± 9.4
Salvado de Trigo	-	10.7 ± 10.8	-	-
Maíz en Hojuelas	6.3 ± 8.8	8.2 ± 11.7	3.1 ± 6.3	-
Melaza	-	1.5 ± 3.4	-	3.0 ± 5.2
Concentrado Comercial	6.3 ± 8.8	30.8 ± 18.5	15.8 ± 2.7	44.3 ± 9.7

CMS=Consumo de materia seca kg vaca⁻¹ día⁻¹; Medias con distinta letra por hilera son estadísticamente diferentes (p<0.05).

Cuadro 6. Estructura y excreción de nutrientes de los sistemas de producción de leche de ganado bovino del valle de San Luis Potosí, México (n=14)

Variables	Eficiencia alimenticia			
	Baja n=2	Media n= 5	Alta n= 4	Superior n= 3
Vacas en producción, vacas	21 ± 5 a	32 ± 14 a	34 ± 13 a	36 ± 8 a
Producción promedio, l vaca ⁻¹ día ⁻¹	7.5 ± 0.4 d	10.3 ± 1.0 c	14.2 ± 1.3 b	19.2 ± 1.0 a
Peso vivo promedio de las vacas en producción, kg	483.5 ± 13.4 a	516.6 ± 52.4 a	459.80 ± 36.9 a	495.0 ± 70.0 a
CMS % PV	2.44 ± 0.0 c	2.60 ± 0.20 bc	2.92 ± 0.1 ab	3.2 ± 0.1 a
EE húmedo kg día ⁻¹	39.5 ± 0.1 b	44.8 ± 0.1 ab	44.8 ± 2.1 ab	51.0 ± 5.1 a
N Excretado g vaca ⁻¹ día ⁻¹	314.8 ± 1.8 d	326.7 ± 4.4 c	343.2 ± 5.4 b	363.8 ± 4.0 a
P Excretado g vaca ⁻¹ día ⁻¹	51.8 ± 0.3 d	54.0 ± 0.8 c	57.0 ± 1.0 b	60.8 ± 0.7 a
K Excretado g vaca ⁻¹ día ⁻¹	44.7 ± 0.8 d	49.7 ± 1.9 c	56.8 ± 2.3 b	65.6 ± 1.7 a
IEN g l ⁻¹	42.0 ± 2.1 a	31.9 ± 2.9 b	24.2 ± 2.0 c	19.0 ± 0.7 c
IEP g l ⁻¹	6.9 ± 0.3 a	5.3 ± 0.5 b	4.0 ± 0.3 c	3.2 ± 0.1 c
IEK g l ⁻¹	6.0 ± 0.2 a	4.8 ± 0.3 b	4.0 ± 0.2 c	3.4 ± 0.1 c

EE= Excreción de estiércol; IEN= Intensidad de excreción de Nitrógeno en heces; IEP= Intensidad de excreción de Fósforo en heces; IEK= Intensidad de excreción de Potasio en heces; Medias con distinta letra por hilera son estadísticamente diferentes (p>0.05).

Con el análisis de correlación de Pearson entre la producción de leche y el CMS % PV, se obtuvo un $r = 0.89$, que indica que ambas variables están fuertemente asociadas, el coeficiente de determinación resulto en: $r^2 = 0.799$ explicando que la producción de leche aumenta conforme incrementa el CMS % PV, donde el mayor CMS se debe a una mejor relación de forraje:concentrado 55:45 en los sistemas de producción de leche de eficiencia alimenticia superior, por lo que las vacas en estos sistemas logran un consumo de materia seca 26% mayor al consumo de las vacas de los productores de baja eficiencia, lo que les permite una producción promedio de leche por vaca 2.5 veces más ($p < 0.05$) con respecto a los de baja eficiencia (Cuadro 6). Como mencionan los estudios de Yan et al., (2010); Ramin & Huhtanen, (2013); Knapp et al., (2014) que al aumentar el consumo de energía metabolizable con el incremento del nivel de alimentación reduce la proporción de energía usada para mantenimiento.

El grupo de eficiencia alimenticia baja se caracterizó por tener la menor excreción de estiércol húmedo 39.5 ± 0.1 kg vaca⁻¹día⁻¹ al igual que la menor excreción de nutrientes; N 314.8 ± 1.8 , P 51.8 ± 0.3 y K 44.7 ± 0.8 g vaca⁻¹día⁻¹, presentando diferencias ($p \leq 0.05$) con los otros grupos (Cuadro 6), lo cual coincide con el estudio realizado por Knowlton et al., (2010) donde mencionan que la menor excreción de heces y N entre vacas Holstein y Jersey son proporcionales a las diferencias en el consumo de materia seca y peso vivo.

La menor intensidad de excreción de nutrientes la obtuvo el grupo de eficiencia alimenticia superior para N de 19.0 ± 0.7 , P 3.2 ± 0.1 K 3.4 ± 0.1 g l⁻¹ sin diferencias ($p > 0.05$) con el grupo de eficiencia alimenticia alta y presentando una menor intensidad de excreción con los grupos de eficiencia alimenticia media y baja (Cuadro 6). Esto es debido a que conforme incrementa la eficiencia alimenticia y la producción de leche la excreción de N, P y K disminuyen (Figuras 9,10 y 11).

La correlación entre la de excreción de N, P y K y la eficiencia alimenticia fue negativa ($r = -0.94$) demostrando que ambas variables están fuertemente asociadas. El coeficiente de determinación: $r^2 = 0.8884$, el cual nos indica que la eficiencia alimenticia explica en 88.8% la intensidad de excreción de N, P y K. En la ecuación de regresión para el N (6) se explica que por cada unidad de cambio en la eficiencia alimenticia la excreción de N disminuye en 33.01 g por litro de leche producido (Figura 9).

$$IEN = -33.01 \text{ gl}^{-1} \times EA + 59.08 \quad (6)$$

donde IEN = Intensidad de excreción de N; EA = eficiencia alimenticia.

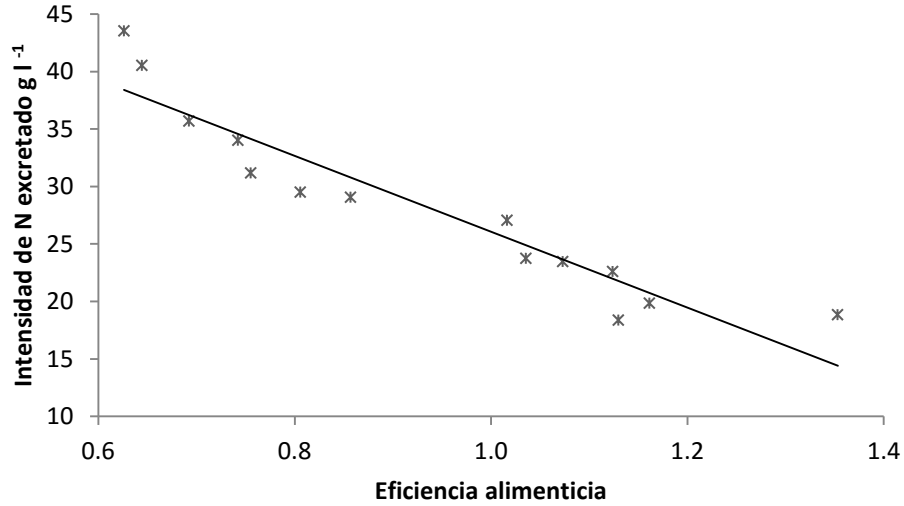


Figura 9. Intensidad de excreción de Nitrógeno de los sistemas de producción de leche de ganado bovino en el valle de San Luis Potosí, México (n=28)

En a la excreción de P la relación es negativa por cada unidad de cambio en la eficiencia alimenticia la intensidad de excreción de P disminuye en 5.36 g por litro de leche producido (Figura 10).

$$IEP = -5.3619 \text{ gl}^{-1} \times EA + 9.6868 \quad (7)$$

donde IEP = Intensidad de excreción de P; EA = eficiencia del alimento.

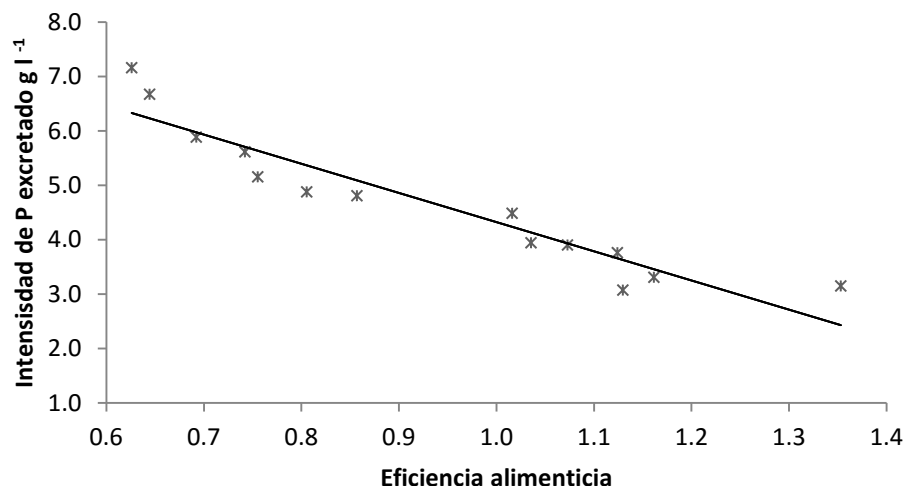


Figura 10. Intensidad de excreción de Fósforo de los sistemas de producción de leche de ganado bovino en el valle de San Luis Potosí, México (n=28)

La ecuación 8 nos indica que por cada unidad de cambio en la eficiencia alimenticia la intensidad de excreción de K disminuye en 3.63 g por litro de leche producido (Figura 11).

El análisis de regresión lineal simple resulta la ecuación 8.

$$IEK = -3.6302 \text{ gl}^{-1} \times EA + 7.835 \quad (8)$$

donde IEK = Intensidad de excreción de K; EA = eficiencia del alimento.

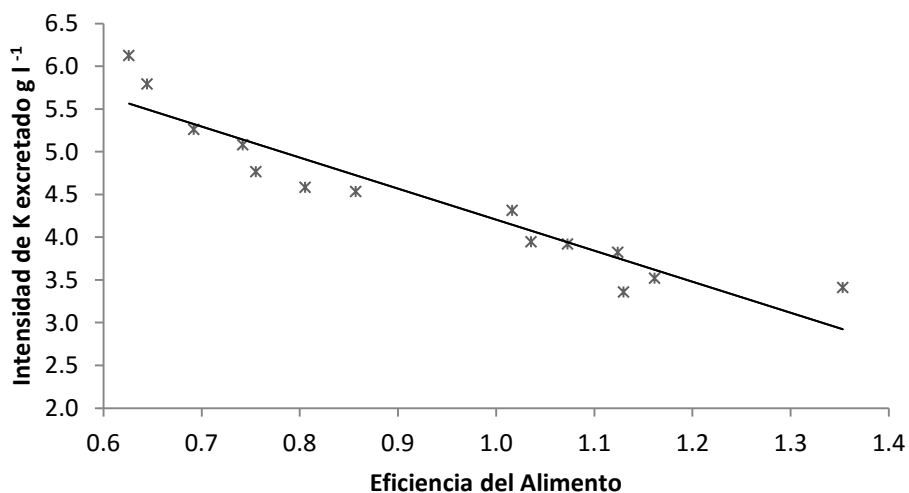


Figura 11. Intensidad de excreción de Potasio de los sistemas de producción de leche de ganado bovino en el valle de San Luis Potosí, México. (n=28)

Como se observa en las gráficas de regresión lineal permiten estimar la intensidad de excreción de nutrientes, lo cual coincide con los trabajos realizados por (Steinfeld et al., 2006; Hristov et al., 2013; Knapp et al., 2014;) donde mencionan que la mejor opción para minimizar el impacto actual de la producción de leche es mejorar la eficiencia alimenticia e incrementar la productividad animal (Figuras 9,10 y 11).

Las estrategias más efectivas de mitigación por excreción de nutrientes a suelo y agua son; modificar la dieta sin afectar la producción de leche (Martinez et al., 2009); mencionan que el mejorar la digestibilidad de la materia seca, incrementa la eficiencia alimenticia y reduce la excreción de N, también se puede llevar acabo al reducir la cantidad de Nitrógeno consumido y al modificar el tipo de proteína en la dieta, la excreción de Fósforo puede ser evitada al suministrar de manera precisa los requerimientos del animal (Kebreab et al., 2010); reducir la uso de Fósforo mineral como fertilizante y suplemento en la dieta, así como también aprovechar el uso de Fósforo presente en el suelo como lo muestran los estudios de (Huhtanen et al., 2011).

CONCLUSIONES

Cuatro grupos resultaron de acuerdo a la eficiencia alimenticia; Baja eficiencia I (0.6 ± 0.0); Eficiencia media II (0.8 ± 0.1); eficiencia alta III (1.1 ± 0.0) y eficiencia superior IV (1.2 ± 0.1). Donde la intensidad excreción de nutrientes se correlaciona de manera negativa con la eficiencia alimenticia, por ello el grupo de baja eficiencia alimenticia resulto con la mayor intensidad de excreción de nutrientes; 42.0 ± 2.1 ; 6.9 ± 0.3 ; $6.0 \pm 0.2 \text{ g l}^{-1}$ para N, P y K respectivamente, por lo cual incrementar la eficiencia alimenticia puede ser la estrategia más exitosa en reducir el impacto ambiental por la excreción de nutrientes.

La eficiencia alimenticia y productividad animal, se puede aumentar al suministrar forraje de mejor calidad e incrementar la proporción de concentrado.

LITERATURA CITADA

- Álvarez-Fuentes, G., Appuhamy, J. A. D. R. N., & Kebreab, E. 2016. Prediction of phosphorus output in manure and milk by lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 99(1), 771–782. <http://doi.org/10.3168/jds.2015-10092>
- American Society of Agricultural Engineers (ASAE). 2005. “Manure Production and Characteristics.” : 4.
- Ávila S. y A. Gutiérrez. 2010. Producción de leche con ganado bovino. Manual moderno. México. 424 p.
- Chávez-Alcántar, A., Velázquez-Machuca, M., Pimentel-Equihua, J. L., Venegas-González, J., Montañez-Soto, J. L., Vázquez-Gálvez, G. 2011. Hydrochemistry of Surface Water in the Cienega of Chapala and Water Quality Index. *Red de Revistas Científicas de América Latina, El Caribe, España Y Portugal*, 29(2395-8030), 13.
- FAO. 2015. Retrieved from <http://www.fao.org/agriculture/dairy-gateway/produccion-lechera/es/#.VpF0oRUrKhc> (Consulta: enero de 2013).
- Gregorini, P., Beukes, P. C., Dalley, D., & Romera, A. J. 2016. Screening for diets that reduce urinary nitrogen excretion and methane emissions while maintaining or increasing production by dairy cows. *Science of The Total Environment*, 551-552, 32–41. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.01.203>
- Groff, E. B., & Wu, Z. 2005. Milk Production and Nitrogen Excretion of Dairy Cows Fed Different Amounts of Protein and Varying Proportions of Alfalfa and Corn Silage. *Journal of Dairy Science*, 88(10), 3619–3632. [http://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(05\)73047-2](http://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(05)73047-2)
- Hristov, A. N., Ott, T., Tricarico, J., Rotz, A., Waghorn, G., Adesogan, A., ... Firkins, J. L. 2013. Special topics--Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: III. A review of animal management mitigation options. *Journal of Animal Science*, 91(11), 5095–113. <http://doi.org/10.2527/jas.2013-6585>

- Huhtanen, Pekka, Juha Nousiainen, and Eila Turtola. 2011. "Dairy Farm Nutrient Management Model: 2. Evaluation of Different Strategies to Mitigate Phosphorus Surplus." *Agricultural Systems* 104(5):383–91. Retrieved (<http://dx.doi.org/10.1016/j.agsy.2011.01.001>).
- INEGI. 2015. Retrieved from <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/temas/default.aspx?s=est&c=17484> (Consulta: enero de 2015).
- Kebreab, Ermias, Anders Strathe, James Fadel, Luis Moraes, and James France. 2010. "Impact of Dietary Manipulation on Nutrient Flows and Greenhouse Gas Emissions in Cattle." *Revista Brasileira de Zootecnia* 39:458–64.
- Klop, G., Ellis, J. L., Bannink, A., Kebreab, E., France, J., & Dijkstra, J. 2013. Meta-analysis of factors that affect the utilization efficiency of phosphorus in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 96(6), 3936–49. <http://doi.org/10.3168/jds.2012-6336>
- Knapp, J. R., Laur, G. L., Vadas, P. a, Weiss, W. P., & Tricarico, J. M. 2014. Invited review: Enteric methane in dairy cattle production: quantifying the opportunities and impact of reducing emissions. *Journal of Dairy Science*, 97(6), 3231–61. <http://doi.org/10.3168/jds.2013-7234>
- Knowlton, K. F., Wilkerson, V. a, Casper, D. P., & Mertens, D. R. 2010. Manure nutrient excretion by Jersey and Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, 93(1), 407–412. <http://doi.org/10.3168/jds.2009-2617>
- Lampkin, Nicolas. 2001. *Agricultura Ecológica*. Ed. Mundi-prensa, Edición 2001. Págs. 724
- Leslie, M., M. Aspin, y H. Clark, 2008. Greenhouse gas emissions from New Zealand agriculture: issues, perspectives and industry response. *Austr. J. Exp. Agric.* 48: 1–5.
- Martinez, C. M., Chung, Y.-H., Ishler, V. a, Bailey, K. W., & Varga, G. a. 2009. Effects of dietary forage level and monensin on lactation performance, digestibility and fecal excretion of nutrients, and efficiency of feed nitrogen utilization of Holstein dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 92(7), 3211–3221.

<http://doi.org/10.3168/jds.2008-1306>

NRC 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. National Research Council. National Academy Press. Washington, D.C. USA. 381 p.

Servicio Meteorológico Nacional (SMN).

http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=42&Itemid=75. (Consulta: enero de 2014).

SIAP. 2014. Retrieved from <http://www.siap.gob.mx/ganaderia-resumen-estatal-pecuario/> (Consulta: enero de 2015).

Steel, G. R., J.H. Torrie, and D.A. Dickey. 1997. Principles and procedures of statistics a biometrical approach. 3da. Edición. Ed. McGraw-Hill. México. D.F. 666 p.

Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T., Castel, V., Rosales, M., de Haan, C. 2006. La larga sombra del ganado, 465.

UNFPA. 2015. Retrieved from <http://www.unfpa.org/es/world-population-dashboard> (Consulta: enero de 2015).

Van Horn, H. H., Wilkie, A. C., Powers, W. J., & Nordstedt, R. A. 1994. Components of Dairy Manure Management Systems. *Journal of Dairy Science*, 77(7), 2008–2030. [http://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(94\)77147-2](http://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(94)77147-2)

Yan, T., Mayne, C. S., Gordon, F. G., Porter, M. G., Agnew, R. E., Patterson, D. C., Ferris, C.P., Kilpatrick, D. J. 2010. Mitigation of enteric methane emissions through improving efficiency of energy utilization and productivity in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 93(6), 2630–2638. <http://doi.org/10.3168/jds.2009-2929>

Capítulo IV

HUMUS DE LOMBRIZ Y ÁCIDOS HÚMICOS OBTENIDOS DE HECES DE GANADO BOVINO DE LECHE COMO ABONO VS FERTILIZANTE EN LA PRODUCCIÓN DE TRITICALE (*X TRITICUM SECALE WITTMACK*)

HUMUS AND HUMIC ACIDS OBTAINED FROM FECES OF DAIRY CATTLE AS COMPOST VS FERTILIZER ON TRITICALE PRODUCTION (*X TRITICUM SECALE WITTMACK*)

RESUMEN

El uso de abonos es cada vez más frecuente en la producción agrícola, debido a sus bondades con la fertilidad del suelo, y por ende al cultivo que se esté desarrollando, por lo que el objetivo del presente trabajo fue determinar el rendimiento de forraje, altura de planta, número de tallos por m², longitud foliar, número de hojas por tallo y rendimiento de materia seca, de triticales (*X Triticum secale Wittmack*), fertilizado con abonos (humus de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) y ácidos húmicos) y urea. Se utilizó un diseño completo al azar, con 6 tratamientos y 3 repeticiones, en unidades experimentales de 60 m², con una densidad de siembra de 100 kg de semilla por ha. Los tratamientos fueron: humus de lombriz (HL), ácidos húmicos (AH), urea, humus de lombriz + urea (HL+urea), ácidos húmicos + urea (AH+urea), testigo. La mayor altura (93.43 cm), número de tallos (68.11), número de hojas por tallo (2.27) y materia seca (3.38 g tallo⁻¹), se obtuvo con el tratamiento HL + urea, los valores más bajos en todas las variables se registró con el tratamiento AH. A corto plazo los fertilizantes orgánicos no presentan el mismo rendimiento de triticales en comparación con los fertilizantes químicos, sin embargo la combinación de ambos permite obtener mejores parámetros de producción en comparación con fertilización sola, ya sea química u orgánica.

Palabras clave: Humus de lombriz, ácidos húmicos, producción de triticales.

INTRODUCCIÓN

El estiércol de ganado bovino es una fuente importante de nutrientes, que si no es tratado de manera adecuada pueden convertirse en una fuente de contaminantes para los mantos freáticos y suelo. Las vacas lecheras excretan al ambiente entre el 70 y 85% de Nitrógeno (N) y entre el 58 y 75% de Fósforo (P) en heces y orina (Van Horn et al., 1994; Álvarez-Fuentes et al., 2016).

Una alternativa viable para el tratamiento de las heces, es el compostaje el cual se define como la descomposición biológica de los residuos orgánicos en un ambiente aeróbico y vermicompost cuando participan durante el proceso diversas especies de lombrices. La aplicación de vermicompost influye en las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo, que mejoran la capacidad de retención de agua, además de contener vitaminas y hormonas de crecimiento para el cultivo (Thirunavukkarasu & Vinoth, 2013).

La fertilización orgánica puede satisfacer la demanda de nutrientes de los cultivos reduciendo de manera significativa el uso de fertilizantes mejorando las características de los vegetales y suelo. Los cereales forrajeros de invierno se caracterizan por producir un alimento con un alto contenido de proteínas e hidratos de carbono solubles con un bajo contenido de fibra de los que destaca el triticale de invierno (*X Triticum secale Wittmack*) por tener un mayor rendimiento y su calidad de forraje (FEDNA, 2014).

El triticale es un cereal sintético resultado de la hibridación del trigo y centeno. El grano de triticale cuenta con un valor nutritivo entre el trigo y centeno, con un contenido de proteína del 11%, un 58% de almidón y un 23 % de amilosa su contenido de calcio es bajo y es relativamente alto en fósforo, potasio, fierro, zinc y manganeso (FEDNA, 2014).

En los sistemas de producción de leche se producen una gran cantidad de residuos los cuales pueden sometidos al proceso de composteo y mediante el uso de lombriz roja californiana, producir vermicompost, que mejora las condiciones del suelo, contiene nutrientes disponibles para las plantas que se estén cultivando. Por lo cual el objetivo de la presente investigación fue determinar el rendimiento de forraje, altura de planta, número de tallos por m², longitud foliar, número de hojas por tallo, rendimiento de materia seca y

propiedades bromatológicas de triticale, fertilizado con abonos orgánicos (humus de lombriz roja californiana y ácidos húmicos) y urea.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en la unidad de producción de leche “Rancho el Bordatxo” ubicado en San Felipe, Gto. México 21°40" N 100°56" O a una altura de 1885 msnm, de donde se obtuvo; el humus de lombriz y ácidos húmicos a partir de las heces de ganado lechero de la raza Holstein alimentado a base de maíz rolado, pasta de soya, alfalfa, silo de maíz y ensilado de triticale. Los tratamientos fueron humus de lombriz (HL), ácidos húmicos (AH), urea, humus de lombriz + urea (HL+urea), ácidos húmicos + urea (AH+urea) y un testigo sin abono ni fertilizante, se distribuyeron de acuerdo a un diseño completamente al azar con 3 repeticiones, cada unidad experimental estuvo constituida por una parcela de 60 m² (5x12) y una densidad de siembra de 100 kg ha⁻¹ de semilla de triticale. La fecha de siembra fue el 8 de diciembre de 2014, se realizó mediante una sembradora mecánica (Marca John Deere, modelo BD11, U.S.A.), se realizaron cinco riegos y fertilizaciones, en las siguientes fechas; el 15 diciembre y 24 de diciembre de 2014, 21 de enero, 18 de febrero, y 8 de abril de 2015.

Las variables a determinar fueron densidad de plantas/m² y número de tallos planta⁻¹, el muestreo se realizó por medio de 3 cuadros fijos de 0.25 m² (0.5m × 0.5m) para cada tratamiento. La medición de altura de planta (cm) se realizó mediante una regla graduada del suelo al ápice de la planta, para ello se seleccionaron 20 espigas al azar por tratamiento y repetición.

La tasa de elongación foliar (TEF) por tallo, se calculó como la sumatoria de las longitudes de las láminas foliares (cm) por la adición de la longitud total de cada hoja (ecuación 1).

$$TEF = Lf_1 + Lf_2 + Lf_3 + \dots + Lf_n \quad (1)$$

donde TEF = Tasa de elongación foliar; Lf = Longitud foliar

El tamaño de espiga (cm) desde el último entrenudo que inicia la espiga hasta el final de la misma, diámetro de tallos (mm) con un vernier, al centro de cada tallo y número de

hojas por tallo. Para ello se seleccionaron 10 espigas al azar por tratamiento y repetición. El rendimiento de grano a su madurez fisiológica a los 110, 135 días de emergencia para ello se realizó el corte de 10 tallos, para posteriormente secar en estufa de aire forzado (Marca Shel lab, modelo SMO34HP-2, U.S.A.) por 48 horas a 55° C y la trilla fue manualmente; el grano se colocó en bolsas de papel, se pesó y calculó rendimiento.

La determinación de cenizas se realizó mediante mufla (Marca LINDBERG, modelo 51894, U.S.A.) a 600° C por 3 horas.

Para obtener el porcentaje de cenizas se utilizó la siguiente fórmula

$$\text{Cenizas \%} = \frac{\text{Pérdida de peso en gramos}}{\text{Peso de la muestra en gramos}} \times 100$$

AOAC, 1990

Los análisis de fibra detergente neutra (FDN) fibra detergente ácida se realizó con la técnica de filtro de bolsa para determinación de fibra con un analizador de fibras marca ANKOM modelo A200.

Para cada análisis se pesaron 0.5 ± 0.05 g (MS) por separado de la muestra de cada uno de los tratamientos y se introdujeron a bolsas de filtro marca ANKOM modelo F-57, posteriormente se colocaron en el digestor 1 hora con las respectivas soluciones (detergente ácida y detergente neutra) posteriormente se secaron en una estufa de aire forzado durante 3 horas a una temperatura de 105°C.

El porcentaje de fibra se obtuvo con la siguiente fórmula:

$$\% FDA = \frac{(W3 - (W1 \times C1))}{W2} \times 100$$

$$\% FDN = \frac{(W3 - (W1 \times C1))}{W2} \times 100$$

Donde:

W1= Peso de la bolsa

W2=Peso de la muestra

W3= Peso seco de la bolsa después del proceso de extracción

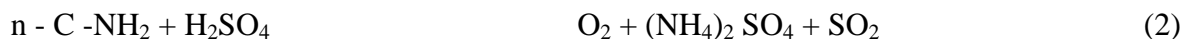
C1=Factor de corrección de la bolsa “blanco”

Van Soest, 1991

Determinación del contenido de proteína.

El contenido proteína cruda fue mediante el método Kjeldahl, se utilizó digestor, scrubber y destilador (Marca Büchi modelo K-355, Suiza), el cual mide el contenido en Nitrógeno de una muestra y consta de 3 etapas:

Etapa de digestión: un tratamiento con ácido sulfúrico concentrado, en presencia de un catalizador y ebullición convierte el nitrógeno orgánico en ión amonio, según la ecuación 2.



Procedimiento: Se introducen de 5 g de muestra en un tubo de mineralización y se ponen 3 g de catalizador que suele estar constituido por una mezcla de sales de cobre, óxido de titanio y/o óxido de selenio. De forma habitual se utiliza como catalizador una mezcla de K_2SO_4 : $CuSO_4$: Se (10:1:0,1 en peso). Después se adicionan 10 ml de H_2SO_4 concentrado. Posteriormente se digiere a 420 °C durante un tiempo que depende de la cantidad y tipo de muestra. Se sabe que la digestión ha terminado porque la disolución adquiere un color verde esmeralda característico.

En esta etapa, el nitrógeno proteico es transformado en sulfato de amonio por acción del ácido sulfúrico en caliente.

Etapa de destilación: se alcaliniza la muestra digerida y el nitrógeno se desprende en forma de amoníaco (ecuación 3). El amoníaco destilado se recoge sobre un exceso desconocido de ácido bórico (ecuación 4).



Procedimiento: Después de enfriar se adicionan al tubo de digestión 50 ml de agua destilada, se pone en el soporte del destilador y se adiciona una cantidad suficiente de hidróxido sódico 10 N, en cantidad suficiente (50 ml aprox.) para alcalinizar fuertemente el medio y así desplazar el amoniaco de las sales amónicas. El amoniaco liberado es arrastrado por el vapor de agua inyectado en el contenido del tubo durante la destilación, y se recoge sobre una disolución de ácido bórico (al 4 % p/v).

Etapas de valoración:

La cuantificación del nitrógeno amoniacal se realiza por medio de una volumetría ácido-base del ión borato formato, empleando ácido clorhídrico o sulfúrico y como indicador una disolución alcohólica de una mezcla de rojo de metilo y azul de metileno (ecuación 5). Los equivalentes de ácido consumidos corresponden a los equivalentes de amoniaco destilados.



De la valoración se puede calcular el número de equivalentes de nitrógeno recogidos y con éste dato se obtiene el porcentaje de nitrógeno en la muestra. Para calcular el porcentaje de proteína basta con multiplicar por un factor de conversión el % de nitrógeno calculado, para el triticale fue 5.83.

Análisis Estadístico

Para el análisis de la información obtenida se realizó un análisis de varianza para un diseño completamente al azar y una prueba de medias propuesto por Tukey (Steel et al., 1997), mediante el procedimiento PROC GLM SAS, también se realizó prueba de unidades repetidas en el tiempo para la producción de materia seca, mediante el procedimiento PROC MIXED de SAS (SAS, 2002) ver. 9.0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La emergencia ocurrió el 30 de diciembre del 2014 a los 15 días posteriores al primer riego.

Cuadro 7. Caracteres agronómicos a los 45 días de emergencia.

Variables	HL	AH	Urea	HL + Urea	AH + Urea	Testigo
Altura cm	30.8 c	20.8 e	33.0 bc	39.5 a	35.5 b	25.8 d
No. Plantas	18.5 a	19.2 a	21.5 a	21.7 a	19.4 a	21.5 a
No. Tallos	43.2 c	44.0 c	84.2 a	91.9 a	80.1 ab	53.3 bc
No de hoja talló⁻¹	3.7 abc	3.3 c	3.9 ab	4.1 a	3.9 ab	3.5 bc
Longitud foliar cm	50.3 b	38.1 c	63.4 a	50.3 b	62.7 a	47.9 bc
Materia Seca g tallo⁻¹	0.6 bc	0.5 c	0.9 a	1.0 a	0.8 ab	0.7 bc

Medias con la misma letra dentro de filas no difieren estadísticamente ($p > 0.05$).

Humus de lombriz = HL; Ácidos húmicos = AH; Humus de lombriz + Urea = HL + Urea; Ácidos húmicos + Urea = AH + Urea.

A los 45 días de emergencia se encontraron diferencias en altura, número de tallos, número de hojas por tallo, longitud foliar y materia seca por tallo ($p \leq 0.05$) en los tratamientos con fertilizante (urea) siendo superior el tratamiento con HL+Urea en todas las variables excepto por la longitud foliar en donde resulto mayor el tratamiento de urea ($p < 0.05$) y AH + Urea, el tratamiento de menor desarrollo fue el de AH, en cuanto al número de plantas no existe diferencias significativas entre tratamientos lo que nos indica que la densidad de siembra fue precisa en todos los tratamientos (Cuadro 7). El mayor desarrollo en los tratamientos con urea se puede deber a la mayor aportación de Nitrógeno el cual ayuda que el cultivo se desarrolle con mayor rapidez, además de que es bien conocido que la plantas absorben los nutrientes de forma inorgánica (Lampkin, 2001).

Cuadro 8. Caracteres agronómicos a los 80 días de emergencia.

Variables	HL	AH	Urea	HL + Urea	AH + Urea	Testigo
Altura cm	74.8 b	61.8 c	87.0 a	88.4 a	84.8 a	65.9 c
No. Plantas	18.9 a	18.0 a	21.3 a	20.5 a	19.4 a	21.4 a
No. Tallos	41.4 c	43.1 c	81.3 a	73.4 ab	82.8 a	49.9 bc
No de hoja talló⁻¹	3.8 ab	3.5 b	3.8 ab	4.1 a	4.1 a	3.5 b
Longitud foliar cm	51.3 bc	38.8 d	52.1 bc	62.19 a	58.2 ab	43.6 dc
Materia Seca g tallo⁻¹	1.9 ab	1.1 c	2.3 a	2.45 a	2.1 a	1.4 bc

Medias con la misma letra dentro de filas no difieren estadísticamente ($p>0.05$).

Humus de lombriz = HL; Ácidos húmicos = AH; Humus de lombriz + Urea = HL + Urea; Ácidos húmicos + Urea = AH + Urea

A los 80 días de emergencia los tratamientos con urea, resultaron superiores ($p>0.05$) al resto de los tratamientos en altura, número de tallos, número de hojas por tallo y materia seca, el contraste se presentó en la longitud foliar en donde la urea resulto sin diferencias estadísticas al humus de lombriz, el tratamiento de menor rendimiento fue el de ácidos húmicos (Cuadro 8).

Cuadro 9. Caracteres agronómicos a los 110 días de emergencia.

Tratamiento	HL	AH	Urea	HL + Urea	AH + Urea	Testigo
Altura cm	77.2 b	68.2 c	87.1 a	89.4 a	85.3 a	72.7 bc
No. Plantas	16.9 a	18.2 a	20.1 a	20.6 a	19.2 a	20.8 a
No. Tallos	41.8 b	44.8 b	73.2 a	69.3 a	75.3 a	44.9 b
No de hoja talló⁻¹	3.6 a	3.3 a	3.6 a	3.5 a	3.4 a	3.5 a
Longitud foliar cm	45.4 ab	38.4 b	44.4 ab	48.6 a	44.8 ab	42.0 ab
Materia Seca g tallo⁻¹	3.3 ab	2.1 c	2.9 abc	3.8 a	2.9 abc	2.4 bc

Medias con la misma letra dentro de columnas no difieren estadísticamente ($p>0.05$).

Humus de lombriz = HL; Ácidos húmicos = AH; Humus de lombriz + Urea = HL + Urea; Ácidos húmicos + Urea = AH + Urea

A los 110 días de emergencia los tratamientos con urea, resultaron superiores ($p<0.05$) al resto de los tratamientos en altura y número de tallos, en cuanto a la variable longitud foliar los tratamientos humus de lombriz y agua no presentan diferencias estadísticas, en lo que se refiere a la producción de materia seca el HL iguala a los tratamientos con fertilización inorgánica lo que se puede observar es que el aporte más importante de N y P de los abonos se da a través del tiempo por mineralización de los nutrientes que aún se encuentran de

manera orgánica (Lampkin, 2001), los tratamientos no difieren en cuanto al número de plantas y número de hojas por tallo, (Cuadro 8). En este periodo también se observó el pico de producción para los tratamientos de HL + urea y AH + urea ($p>0.05$) por lo cual se considera que los tratamientos con fertilización orgánica e inorgánica alcanzan su madurez fisiológica en un tiempo menor logrando con ello un uso más eficiente de los recursos; suelo y agua en la producción de forraje (Figura 10).

Cuadro 10. Caracteres agronómicos a los 132 días de emergencia.

Tratamiento	HL	AH	Urea	HL + Urea	AH + Urea	Testigo
Altura cm	81.45 b	68.37 d	86.03 b	93.43 a	85.97 b	75.27 c
No. Plantas	17.11 a	19.00 a	20.22 a	20.89 a	20.11 a	20.33 a
No. Tallos	39.11 c	42.33 c	69.56 a	68.11 a	64.78 ab	44.22 bc
No de hoja talló ⁻¹	2.07 a	1.67 a	2.45 a	2.27 a	1.93 a	1.63 a
Longitud foliar cm	23.33 a	18.77 a	25.93 a	24.65 a	21.47 a	18.68 a
Materia Seca g tallo ⁻¹	3.39 a	2.43 b	3.33 ab	3.38 a	3.05 ab	3.00 ab

Medias con la misma letra dentro de columnas no difieren estadísticamente ($p>0.05$).

Humus de lombriz = HL; Ácidos húmicos = AH; Humus de lombriz + Urea = HL + Urea; Ácidos húmicos + Urea = AH + Urea

A los 132 días de emergencia los tratamientos con humus de lombriz HL+ urea, resultó superior ($p<0.05$) al resto de los tratamientos en todas las variables, los tratamientos con fertilización orgánica e inorgánica resultaron superiores en el número de tallos, las diferencias se presentan en la altura y producción de materia seca en donde el tratamiento de AH resultó el menor. (Cuadro 10).

En cuanto a la altura, el tratamiento con HL + urea, resultó el de mejor desarrollo ($p>0.05$) mismo que conservo durante todo el ciclo del cultivo seguido de los tratamientos con urea y HL resultando menor el tratamiento de ácidos húmicos por debajo del testigo.

El diámetro de tallo el tratamiento de HL + urea, resultó el mayor ($p<0.05$) durante todo el ciclo del cultivo seguido de los tratamientos con urea y AH + urea, resultando menor el tratamiento de ácidos húmicos, aún por debajo del testigo.

La longitud de espiga el tratamiento de HL + urea, resultó el mayor ($p<0.05$) durante todo el ciclo del cultivo junto a los tratamientos con urea, el HL a cosecha resultó sin diferencias ($p>0.05$) a los tratamientos con urea, los menores tratamientos fueron el de AH y el testigo.

A los 132 días de emergencia la producción de materia seca para los tratamientos con urea, HL+urea y ácidos húmicos + urea no existen diferencias ($p>0.05$), la cual se atribuye a la pérdida de hojas y tallos entre los 110 y 132 días para los tratamientos HL+ urea y AH+urea (Cuadros 9 y 10), por lo cual se recomienda realizar la cosecha en ese tiempo si será usado como forraje.

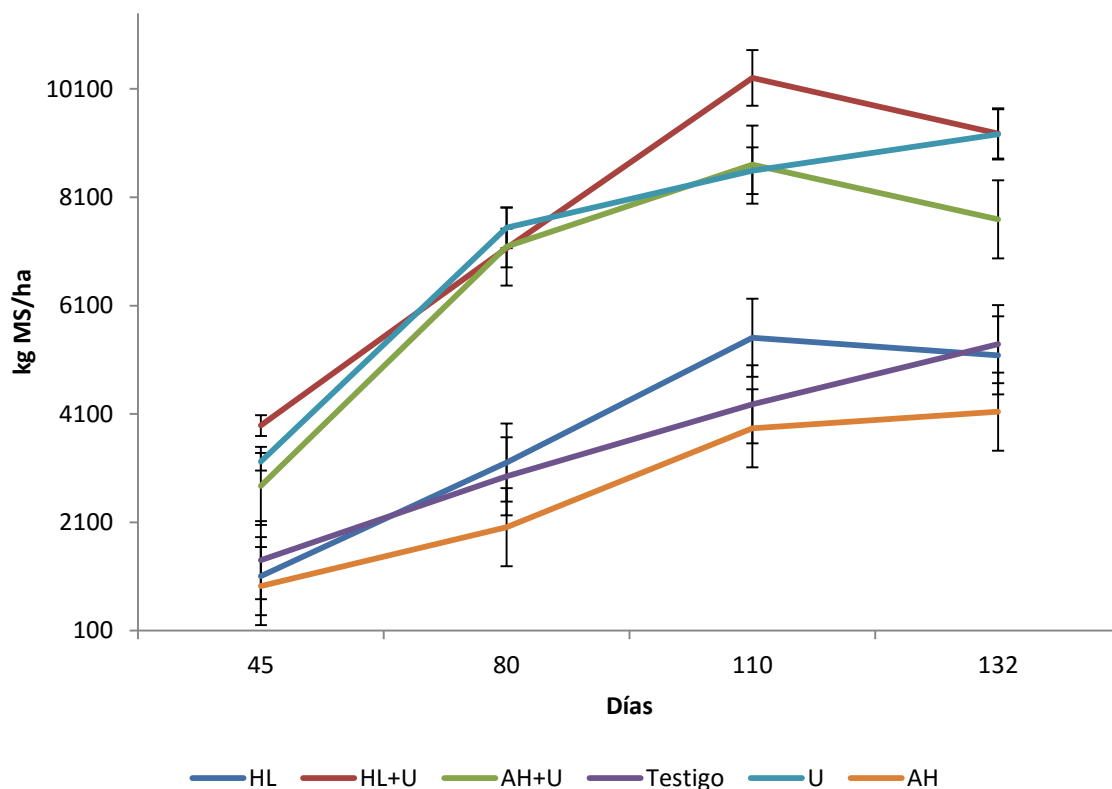


Figura 12. Producción total de materia seca triticale (*X Triticum secale Wittmack*), durante el ciclo de cultivo

En la Figura 12 se observa que el tratamiento de menor rendimiento de materia seca, aún por debajo del testigo fue AH y que la mayor producción de biomasa o materia seca se logra con la fertilización química y orgánica durante todo el desarrollo del triticale, también se puede ver; que la mayor producción de forraje se alcanza a los 110 días, además un punto de inflexión para los tratamientos de HL+U, AH+U y HL, lo cual se debe a que cultivos como el trigo, cebada y el triticale toman la mayoría del fósforo en las primeras etapas de crecimiento, logrando su madurez fisiológica en una etapa más temprana por lo que el tratamiento con urea continua incrementando la producción de biomasa al acumular el Nitrógeno en la producción de grano como proteína (Lampkin, 2001). (Cuadros 9 y 10).

Cuadro 11. Producción total de grano de triticale (*X Triticum secale Wittmack*) (kg ha⁻¹) (n=3).

Tratamiento	HL	AH	Urea	HL + Urea	AH + Urea	Testigo
PG 110 días	1610.5 ± 380.6ab	1004.9 ± 132.60b	2682.30 ± 857.0a	2687.5 ± 339.0a	2127.0 ± 330.1ab	1185.9 ± 434.6b
PS g	2.8 ± 0.4a	1.9 ± 0.3a	2.4 ± 0.4a	2.8 ± 0.4a	2.6 ± 0.2a	2.1 ± 0.2a
PG 132 días	2617.5 ± 632.39ab	2143.0 ± 428.8b	4214.6 ± 473.1a	3965.2 ± 1034.5ab	3362.8 ± 614.6ab	2799.9 ± 954.7ab
PS g	3.8 ± 0.2a	3.4 ± 0.1a	3.4 ± 0.2a	3.6 ± 0.0a	3.3 ± 0.4a	3.7 ± 0.2a

Medias con la misma letra dentro de columnas no difieren estadísticamente (p>0.05).

Humus de lombriz = HL; Ácidos húmicos = AH; Humus de lombriz + Urea = HL + Urea; Ácidos húmicos + Urea = AH + Urea; PG= producción de grano; PS= Peso de 100 semillas

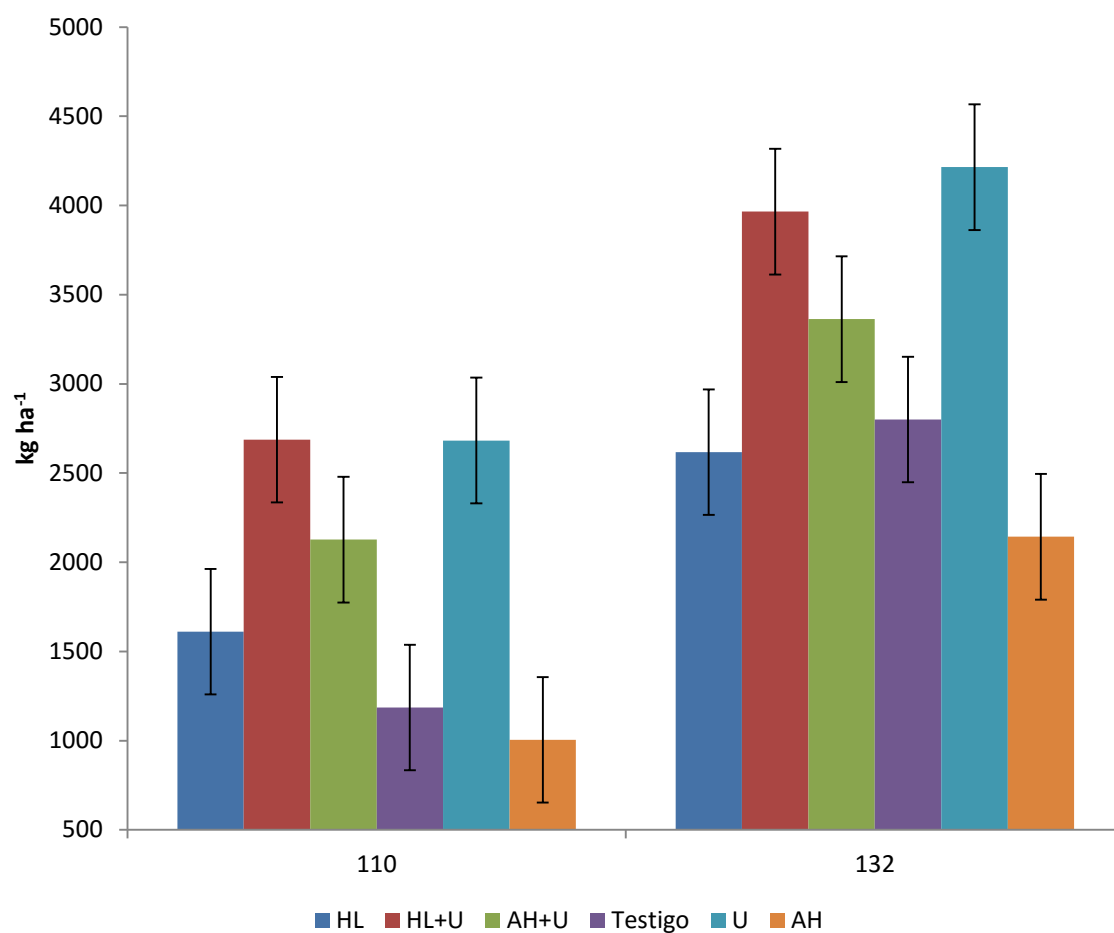


Figura 13. Producción de grano de triticale (*X Triticum secale Wittmack*) (kg ha⁻¹).

En la Figura 13 se observa un incremento del 50% entre ambos periodos para los tratamientos con urea y HL en la producción de grano, sin embargo el tratamiento de AH y el testigo el aumento en el rendimiento de grano se duplica (Cuadro 11).

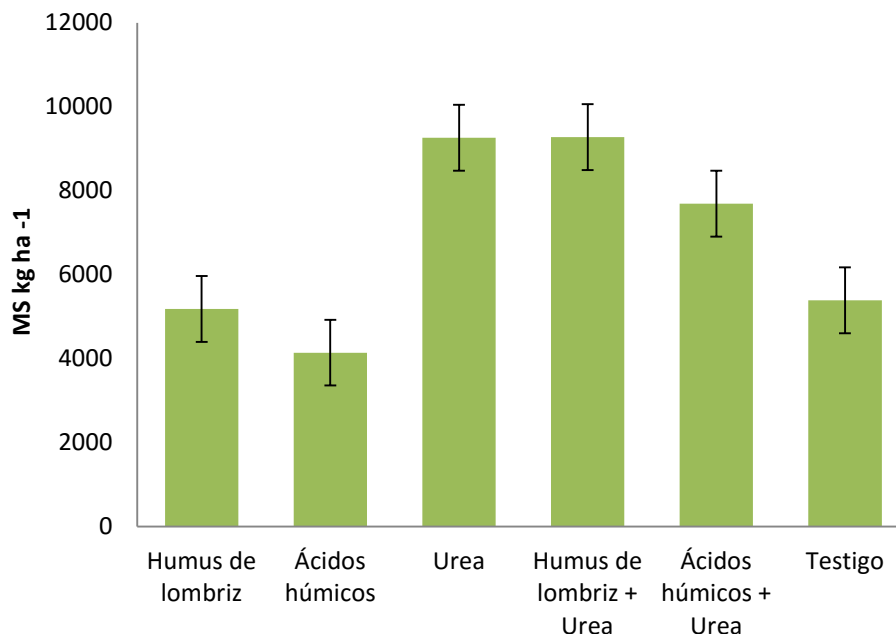


Figura 14. Rendimiento total de MS (kg ha⁻¹) por tratamiento

Los caracteres agronómicos como se puede observar, que aportan la mayor producción de materia seca son; el número de tallos, altura, longitud de espiga y diámetro de tallos, donde los tratamientos con fertilización inorgánica y orgánica durante todo del ciclo del cultivo presentaron diferencias significativas con respecto a los tratamientos con fertilización orgánica y el testigo, logrando con ello alcanzar los mejores rendimientos por hectárea 9.27, 9.26 y 7.69 ton ha⁻¹ (Figura 14).

Las propiedades bromatológicas en todos los tratamientos resultaron sin diferencias ($p > 0.05$) para cenizas resulto en 4.7%, el contenido de FDN 27.5%, FDA 15.7% y 9.8 % PC (Cuadro 12). Esto se debe a diversos factores como la persistencia y supervivencia de los cultivos, sin embargo, en los rendimientos alcanzados si se pueden observar las diferencias en cuanto a la producción de biomasa (Figura 14).

Cuadro 12. Propiedades bromatológicas a cosecha (n = 3).

Tratamiento	HL	AH	Urea	HL + Urea	AH + Urea	Testigo
Cenizas %	5.0 ± 0.1a	4.3 ± 0.4 a	4.6 ± 0.4 a	4.6 ± 0.3 a	5.0 ± 0.2 a	4.9 ± 0.7 a
FDN %	26.9 ± 1.9 a	28.8 ± 0.5 a	29.4 ± 2.0 a	28.0 ± 0.2 a	24.2 ± 3.9 a	27.7 ± 1.8 a
FDA %	15.0 ± 0.9 a	16.0 ± 0.7 a	15.5 ± 1.1 a	17.0 ± 1.1 a	15.0 ± 0.7 a	15.3 ± 1.6 a
PC %	9.7 ± 0.1 a	9.6 ± 0.1 a	9.9 ± 0.1 a	9.9 ± 0.1 a	9.9 ± 0.1 a	9.4 ± 0.1 a

Medias con la misma letra dentro de columnas no difieren estadísticamente ($p > 0.05$).

Humus de lombriz = HL; Ácidos húmicos = AH; Humus de lombriz + Urea = HL + Urea; Ácidos húmicos + Urea = AH + Urea

Fibra detergente neutro = FDN; Fibra detergente acida = FDA; Proteína cruda = PC

Los resultados obtenidos difieren de los estudios de Fortis et al., (2009) donde concluyen que se alcanzan rendimientos sin diferencias significativas entre la fertilización orgánica e inorgánica lo cual se puede deber a que su estudio se realizó en invernadero, sin embargo, los estudios de Romero et al., (2012) mostró mejores resultados con la fertilización orgánica-mineral, en comparación con la fertilización orgánica, lo cual atribuyen a que la fertilización orgánica no fue suficiente para cubrir los requerimientos nutricionales de la planta, de igual manera los estudios Roberts et al., (2007) donde los mejores rendimientos en la producción de forraje y grano se logran con la fertilización orgánica e inorgánica donde concluyen que el humus no es capaz de remplazar completamente la fertilización inorgánica, sin embargo, también mencionan que los beneficios del uso de humus son a largo plazo, además de que su aprovechamiento podría reducir la cantidad de fertilizantes inorgánicos.

CONCLUSIONES

Los resultados de producción indican que los mejores tratamientos son con fertilización orgánica e inorgánica, la mayor altura de planta y diámetro de tallo se obtuvo con HL+urea 93.43 ± 9.78 cm y 3.38 ± 0.53 mm respectivamente y la mayor longitud de espiga también resulto en el tratamiento de HL+urea 10.66 ± 1.69 cm, no se presentaron diferencias en las propiedades bromatológicas, el presente estudio nos indica que no se puede suprimir la fertilización química para obtener la mayor producción de triticale, donde los tratamientos con urea duplican la producción al testigo y en un 70% al tratamiento HL, sin embargo el aprovechamiento de la fertilización orgánica podría reducir el uso de fertilizantes químicos y su impacto ambiental.

LITERATURA CITADA

- Álvarez-Fuentes, G., Appuhamy, J. A. D. R. N., & Kebreab, E. 2016. Prediction of phosphorus output in manure and milk by lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 99(1), 771–782. <http://doi.org/10.3168/jds.2015-10092>
- AOAC 1990. *Official Methods of Analysis of the Association of Official Agricultural Chemists*. 13th Edition. Published by the Association of Official Analytical Chemists, Washington, D.C. 20044, USA. 1018 p.
- FEDNA Fundación española para el desarrollo de la nutrición animal: <http://www.fundacionfedna.org> (consulta: septiembre 2014).
- Fortis-hernández, M., Leos-rodríguez, J. A., Preciado-rangel, P., Castillo, I. O., García-salazar, J. A., & García-hernández, J. L. 2009. FORRAJERO CON RIEGO POR GOTEO Application of Organic Fertilizers in the Production of Forage Corn with Drip Irrigation, 329–336.
- Lampkin, Nicolas. 2001. *Agricultura Ecológica*. Ed. Mundi-prensa, Edición 2001. Págs. 724
- Lingaraju, B. S., Parameshwarappa, K. G., Hulihalli, U. K., & Basavaraja, B. 2010. Effect of organics on productivity and economic feasibility in maize-bengalgram cropping system. *Agricultural research communication centre*, 211-215.
- Roberts, P., Edwards-Jones, G., & Jones, D. L. 2007. Yield responses of wheat (*Triticum aestivum*) to vermicompost applications. *Compost science & Utilization*, 6-15.
- Romero-Romano, Carlos Osvaldo; Ocampo-Mendoza, Juventino; Sandoval-Castro, Engelberto; Tobar-Reyes. 2012. Fertilización orgánica - mineral y orgánica en el cultivo de fresa (*fragaria x ananasa duch.*) Bajo condiciones de invernadero. *Ra Ximhai*. 8(3), 41–49.
- Steel, G. R., J.H. Torrie, and D.A. Dickey. 1997. *Principles and procedures of statistics a biometrical approach*. 3da. Edición. Ed. McGraw-Hill. México. D.F. 666 p.

- Thirunavukkarasu, M., & Vinoth, R. 2013. Influence of vermicomposting application alongwith Nitrogen on grownth, nutrients uptake, yield attributes and economics of rice (*Oryza sativa* L.). *International Journal of Agriculture, Environment Biotechnology*, 599-604.
- Van Horn, H. H., Wilkie, A. C., Powers, W. J., & Nordstedt, R. A. 1994. Components of Dairy Manure Management Systems. *J Dairy Sci*, 2008-2030.
- Van Soest, P., Robertson, J., and Lewis, B. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysacchararides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74, 3583–3597.

CONCLUSIONES GENERALES

El presente estudio muestra que incrementar la eficiencia animal es el mejor medio de minimización del impacto actual de las unidades de producción de leche. Duplicar la ingesta de energía total, aumentar el consumo de materia seca en relación al peso vivo e incrementar la ración de concentrado para vacas con baja eficiencia alimenticia, podría incrementar la producción de leche y disminuir el impacto negativo por la emisión de metano por litro de leche producida.

La presente investigación demostró también que la excreción de nutrientes se correlaciona de manera negativa con la eficiencia alimenticia, los sistemas de producción de leche bovina en el valle de San Luis Potosí, presentan un alta excreción de nutrientes en comparación con los sistemas de mayor eficiencia alimenticia, por lo cual incrementar la productividad animal es la estrategia más exitosa en reducir el impacto ambiental por la excreción de nutrientes.

Las unidades de producción de leche deben dar un manejo adecuado de las heces generadas en sus sistemas evitando la pérdida de nutrientes hacia el exterior y su importación, con ello reducir el impacto actual, una excelente alternativa; son los tratamientos biológicos como el compost y vermicompost, el presente estudio muestra que el humus de lombriz es un excelente complemento junto con los fertilizantes, con el que se logró incrementar la producción de triticale y en un menor tiempo, mejorando la eficiencia en el uso de suelo y agua.

Reducir el impacto ambiental de los sistemas de producción de leche y el uso de los recursos naturales es muy importante, por el crecimiento de la población y el incremento en la demanda de leche y sus derivados.

La alta presión demográfica y competencia por los recursos naturales como; suelo, agua, pérdidas en la biodiversidad, cambio climático y desertificación, no permitirán tener sistemas de producción de leche con baja eficiencia.