



Original

Análisis del ciclo de vida en granjas lecheras con pastizales de diferentes composiciones botánicas

Analysis of the Life Cycle in dairy farms with grasslands of different botanical compositions

Carlos S. Torres Inga *, Guillermo E. Guevara Viera *, Raúl V. Guevara Viera *, Paola J. Lascano Armas **, Jerson S. Figueroa Robalino **, Cristian N. Arcos Álvarez **

*Universidad de Cuenca, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Carrera de Medicina Veterinaria, Campus Yanuncay, Cuenca, Azuay, Ecuador, CP 01100.

**Universidad Técnica de Cotopaxi. Cotopaxi. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, Latacunga, Cotopaxi, Ecuador.

Correspondencia: raul.guevara@ucuenca.edu.ec

Recibido: Noviembre, 2023; Aceptado: Febrero, 2024; Publicado: Marzo, 2024.

RESUMEN

Objetivo. Desarrollar un Análisis de Ciclo de Vida (ACV), en granjas ganaderas con manejo rotacional del pastizal según composición botánica. **Materiales y métodos:** Se compararon granjas lecheras de Cotopaxi, a 2800- 3590 msnm. Granja 1: carga de 1 y 1,2 UA/ha, con 50% de Llantén (*Plantago lanceolata*), 50% de Trébol blanco (*Trifolium repens*). Granja 2: Carga de 1 y 1,2 UA/ha, 85 % de Ryegrass (*Lolium perenne*)-15% Trébol blanco (*Trifolium repens*). Granja 3: Carga de 1 y 2,1 UA/ha, 33 % de Ryegrass-33% Llantén-34% de Trébol blanco. Se usó fertilización, balanceado y animales Holstein tipos mestizo, neozelandés y norteamericano y reposo del pasto. **Resultados:** Hubo diferencias en uso de la tierra, coincidente en granjas 1 y 3, en mano de obra familiar. En la Granja 1, el reposo fue 15 a 28 días y FDN de 47,38 a 28,03 y 1,96 a 2,45 Mcal de energía y en 3, valores de Energía Metabolizable de 1,99 a 40 día y 2,11 a 35 días, menos leche/vaca que 3 y superior a 1. En producción de leche/ha, las granjas 1 y 3 superiores con 24 kg vs 19 kg. Esto fue positivo en ACV en esas granjas. Existió potencial para convertir más energía del sistema a productos. **Conclusión:** En el ACV, se encontró coincidencia con indicadores de sistemas especializados en producción de leche, balances de nitrógeno, energía y sus relaciones con el ambiente y emisiones, aunque se puede recuperar eficiencia con mejoras al manejo y sin insumos extras a la granja.

Como citar (APA) Torres Inga, C., Guevara Viera, G., Guevara Viera, R., Lascano Armas, P., Figueroa Robalino, J., & Arcos Álvarez, C. (2024). Análisis del ciclo de vida en granjas lecheras con pastizales de diferentes composiciones botánicas. *Revista de Producción Animal*, 36(1). <https://rpa.reduc.edu.cu/index.php/rpa/article/view/e4611>



©El (los) autor (es), Revista de Producción Animal 2020. Este artículo se distribuye bajo los términos de la licencia internacional Attribution-NonCommercial 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>), asumida por las colecciones de revistas científicas de acceso abierto, según lo recomendado por la Declaración de Budapest, la que puede consultarse en: Budapest Open Access Initiative's definition of Open Access.

Palabras claves: composición botánica, eficiencia, ingresos, pastizales, rentabilidad, valor nutritivo (*Fuente: AGROVOC*)

ABSTRACT

Aim. Develop a Life Cycle Analysis (LCA) in livestock farms with rotational management of the pasture according to botanical composition. **Materials and methods:** Dairy farms from Cotopaxi, at 2800-3590 meters above sea level, were compared. Farm 1: load of 1 and 1.2 AU/ha, with 50% Plantain (*Plantago lanceolata*), 50% White Clover (*Trifolium repens*). Farm 2: Load of 1 and 1.2 AU/ha, 85% Ryegrass (*Lolium perenne*)-15% White clover (*Trifolium repens*). Farm 3: Load of 1 and 2.1 AU/ha, 33% Ryegrass-33% Plantain-34% White Clover. Fertilization, balancing and crossbred, New Zealand and North American type Holstein animals and grass rest were used. **Results:** There were differences in land use, coinciding in farms 1 and 3, in family labor. On Farm 1, rest was 15 to 28 days and NDF from 47.38 to 28.03 and 1.96 to 2.45 Mcal of energy and in 3, Metabolizable Energy values from 1.99 to 40 days and 2 .11 to 35 days, less milk/cow than 3 and higher than 1. In milk production/ha, farms 1 and 3 higher with 24 kg vs 19 kg. This was positive for ACV on those farms. There was potential to convert more of the system's energy into products. **Conclusion:** In the LCA, a coincidence was found with indicators of specialized systems in milk production, nitrogen balances, energy and their relationships with the environment and emissions, although efficiency can be recovered with improvements in management and without extra inputs to the farm.

Keywords: botanical composition, efficiency, grasslands, income, nutritional value, profitability (*Source: AGROVOC*)

INTRODUCCIÓN

La ganadería pastoril, depende en gran medida de la disponibilidad de materia seca y calidad nutricional de la oferta de pastos, del potencial del animal para consumirlo y convertirlo a nutrientes que se integren a la leche y/o al tejido del animal, y de cómo el ganadero maneja los recursos en el sistema lechero, lo que determinará la productividad animal (Bywater, 2010; Ruiz y Guevara, 2021; Herron *et al.*, 2022). Este tipo de análisis es un referente para sostener las estrategias a lograr en los hatos ganaderos con base pastoril (Herron *et al.*, 2022). En este modo de análisis del ACV, es necesario entender las interacciones entre los diversos aspectos técnicos, productivos y económicos (Jiang y Sharp, 2014; Guevara *et al.*, 2020) y las posibles recomendaciones para mejorarlos en disímiles ecosistemas (Arcos *et al.*, 2021).

Herron *et al.* (2022) indican que para superar los retos medioambientales a los que se enfrenta el sector lechero mundial con base pastoril y al mismo tiempo garantizar la viabilidad económica, los productores de leche deben mejorar la eficiencia de sus sistemas y establecer puntos de referencia, a partir de los cuales pueden evaluar la eficacia de las prácticas de manejo y las estrategias de mitigación propuestas, lograr más eficiencia técnica, de escala, reducir gastos por kg de leche y mejorar el ACV, lo cual es coincidente con varios trabajos de análisis con diferentes estrategias en ganaderías lecheras (Bywater, 2010; Guevara *et al.*, 2020).

Por lo anterior, el objetivo del estudio fue la realización del análisis de ciclo de vida en granjas lecheras con pastizales de diferentes composiciones botánicas, manejadas en pastoreo rotacional convencional.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción de cada granja del estudio

Granja 01 (G01): Ubicada en la Zona 3, Provincia de Tungurahua, Cantón Píllaro, cuya ubicación geográfica es de 1° 8' 49,47" de latitud Sur y 78° 32' 50,13" de longitud oeste a una altura 2853,3 msnm y una temperatura de 15 °C, con extensión de 30 ha de pastizales y razas como Holstein Neozelandés, Holstein americano y mestizos y áreas de cultivos de hortalizas-cereales. El uso del pasto con carga entre 1 y 1,2 UA/ha, es en forma rotacional en pasturas de 50% de Llantén (*Plantago lanceolata*) -- 50% de Trébol blanco (*Trifolium repens*) diariamente. El nivel de balanceado comercial utilizado, es como media de 2,7 kg/vaca/día para los rebaños de producción, aunque se suministra diferenciado según nivel productivo de cada animal a razón de 460 g/vaca/d a partir del 7mo kg de leche. Las áreas se manejan con fertilización orgánica y mineral y con empleo del riego por aspersión cada 21 días.

Granja 02 (G02): En La Provincia de Cotopaxi, se encuentra ubicada en la comunidad de Cumbijín, perteneciente a la parroquia San Miguel del cantón Salcedo, altura de 3200 msnm, temperatura de 12.4 °C, en sus comunidades tienen un promedio de 6 a 8 °C en ocasiones llegan a niveles inferiores de 5 °C, precipitación 718 mm, ubicada en los 1° 8' 49,47" de latitud Sur y 78° 32' 50,13" de longitud oeste con una extensión entre 60-70 ha, dedicada a pastizales para ganadería de leche con razas como Holstein Neozelandés y del Holstein americano y mestizos, con áreas también de cultivos de hortalizas-cereales. El uso del pasto con carga entre 1 y 1,2 UA/ha, en forma rotacional en pasturas de 85 % de Ryegrass (*Lolium perenne*)- 15% Trébol blanco (*Trifolium repens*). El nivel promedio de balanceado es de 1,6 kg/vaca/día. Las áreas, se manejan con fertilización orgánica y mineral y riego por aspersión. A los efectos comparativos esta granja 02, referente más común para la zona según nomenclatura del enfoque de sistemas agrícolas por presencia y proporción de especies y actividad ganadera para la zona.

Granja 03 (G03): Está en la comunidad de Potrerillos, ubicada en el cantón Latacunga, de la provincia de Cotopaxi. Las coordenadas geográficas son 1° 1' 50,28" S en latitud y en longitud 78°28' 51.36" W y se encuentra a una altitud de 3492.5 msnm., con una extensión de 30 ha de pastizales con razas como Holstein Neozelandés, líneas del Holstein americano y mestizos. El uso del pasto con carga entre 1-2 UA/ha, es en forma rotacional en pasturas con aproximadamente 33 % de Ryegrass (*Lolium perenne*)- 33% de Llantén (*Plantago lanceolata*) y de 34% de Trébol blanco (*Trifolium repens*) comprobada por muestreos, dos veces al año (Corbea y García Trujillo, 1982). El nivel de balanceado es como media de 3,6 kg/vaca/día, para los rebaños de producción, aunque se suministra diferenciado según nivel productivo de cada

animal. Las áreas se manejan con fertilización orgánica y mineral y con empleo del riego por aspersión. Se tomó información puntual del registro de indicadores productivos de esta granja y las dos granjas restantes durante el período de 2019 al 2022.

Los pastizales de las tres granjas se muestrearon dos veces/año para su valor de composición bromatológica proximal y fueron determinados sus valores de materia seca, Proteína Bruta, EM, FDN, FDA y minerales, también se muestrearon los alimentos ofertados como el balanceado. Se asumió cada año la información de los pesajes de leche de cada granja/mes y se calcularon los indicadores de producción de leche/vaca/día, por ha/año y producción total anual. Se realizaron balances alimentarios instantáneos (BAI) por la técnica de Pérez Infante (2010) que contempló los requerimientos nutricionales de una vaca promedio de cada rebaño en ese momento según NRC (2010) y los aportes de nutrientes calculados para cada alimento con priorización de la energía metabolizable y el consumo del pasto, y se estableció el balance por diferencias entre necesidades y aportes. Los indicadores económicos de gastos, ingresos y rentabilidad se tomaron por los registros de cada granja y el cálculo de ingresos netos y rentabilidad se basó en las técnicas de Luening (2010).

Se realizó en cada granja un análisis de ciclo de vida (ACV) de cada sistema de producción con pastizales contrastantes, basado en el método descrito por el IPCC (2019). Se usaron criterios de los trabajos de balances de nutrientes para el ciclo de vida, y la excreción urinaria y se hizo con esta información el cálculo de sus índices principales, para lo cual se manejaron indicadores registrados como producción de leche, y estimados como el balance energético total. Se calculó el potencial de calentamiento global, balance energético total y los indicadores de sostenibilidad agroambiental como metano y los balances de N₂, (Guevara, 1999), energía y tierra para la producción de leche con los métodos del IPCC (2019). Para estimar las emisiones de CH₄ se usó el coeficiente de emisión en kg CO₂-Eq /kg de leche igual a 1.2. Se tomó la información de las granjas del cuatrienio 2019 - 2022, en lo relativo a producción de leche, gastos e ingresos y otros indicadores del rebaño (IPCC, 2019). Se realizaron comparaciones por indicadores del ACV, con diferencias numéricas en varios de ellos entre las granjas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 1, se presentan datos relativos al uso de la tierra en las granjas evaluadas en el trabajo de campo, el área total estuvo entre 30 ha en las granjas G01 y G03, mientras la granja G02 tiene 60 ha de extensión, este criterio de uso de la tierra, es muy importante para evaluar la eficiencia y el ciclo de vida y los espacios para pastoreo y cultivos, pueden establecer diferencias en la eficiencia de uso de la superficie aprovechable y la productividad (Jiang y Sharp, 2014; Batalla, 2022; Herron *et al.*, 2022) donde el área dedicada a ganadería y la de pastos y forrajes en las granjas 1 y 3 tienen un valor similar, muy comunes de este tipo de granjas en el continente latino-americano, al igual que las áreas forestales. La mano de obra es uno de los factores con mayor

importancia en el resultado económico y hay un efecto importante de la participación laboral familiar en las tres granjas y es similar al comportamiento que reportan Ma *et al.* (2019) en explotaciones lecheras de Nueva Zelanda, Herron *et al.* (2022) para granjas lecheras en USA, y Bywater (2010) que monitoreó por el consorcio lechero sur de Chile, un número superior a 400 granjas familiares y definieron indicadores muy relevantes en estas granjas, relativos al área, número de vacas, producción, reproducción y con muy similar empleomanía familiar y una intensificación variable. La superficie mínima, que asegure la rentabilidad de la empresa agraria de dimensión familiar y permita su evolución favorable, es un criterio fundamental para la sustentabilidad. Se debe considerar a la familia agraria como aporte del trabajo y son aspectos de estudios a campo en Chile, Argentina y Ecuador, en los cuales se dan criterios desde productividad, rentabilidad e incluso eficiencia Técnica y de Escala (Bywater, 2010; Hargreaves *et al.*, 2021; Batalla, 2022; Guevara *et al.*, 2022).

Taufiq *et al.* (2016) en una investigación en que se utilizó el método de análisis de ciclo de vida (ACV), midieron los impactos que estas actividades podrían generar como potencial de calentamiento global (PCA), potencial de acidificación (AP) y potencial de eutrofización (PE) en granjas ganaderas diversificadas y especializadas, y estas últimas generaron menos impactos negativos en estos índices, pero fueron más sostenibles las diversificadas con más áreas de cultivos como % del área total de las granjas.

Tabla 1. Uso de la tierra en los sistemas ganaderos evaluados.

Indicadores	G01	G02	G03
Área de Ryegrass del área ganadera (%)	----	85	33
Áreas de Trébol del área ganadera (%)	50	15	34
Área de Llantén del área ganadera (%)	50	----	33
Área de Cultivos del área total de granja (%)	2,1	2,8	3,3
Área Forestal del área total de granja (%)	0,5	1,1	0,8
Área de caminos e instalaciones del área total de granja (%)	1,2	1,6	1,3

En la Granja 1 (Tabla 2), el reposo de la hierba en un rango entre, 15 a 28 días y FDN de 47,38 a 28,03 y 1,96 a 2,45 Mcal de energía y 20-28 días fueron más usados en pastoreo. Para la Granja 2, con un pastoreo de 25- 40 días y un FDN de 32 a 50,88 % y energía de 1,33 a 2,21 como manejo habitual, hubo más utilizations con 25 días con mejor nivel de EM y menor FDN y en la Granja 03 se manejan valores de Energía Metabolizable (EM) de 1,99 a 40 días de reposo del pasto y de 2,11 a 35 días.

Tabla 2. Uso de potreros (ocupaciones/año), tiempo de reposo (días), FDN (%) y Energía Metabolizable (EM) del pasto en las granjas.

	Días	Uso de Potreros	FDN	EM (Mcal/kg)
Granja 1	28	7	47,38	1,96
	15	11	28,03	2,32
	20	7	34,01	2,45
Granja 2	40	5	50,88	1,33

Granja 3	25	7	32,68	2,21
	35	5	38,59	1,99
	50	4	50,55	1,40
	35	6	44,02	2,11
	40	5	45,31	1,99

La Granja 3 con un manejo normal de rotación de 35 a 50 días (Tabla 2) con FDN 50,55 % y 1,40 Mcal/kg de energía metabolizable, marcó gran deficiencia en los animales, para el estudio se eligió rotación de 35 días y energía metabolizable de 2,1 Mcal/kg, que establece parámetros más eficientes en el manejo. Investigaciones demuestran que defoliaciones más frecuentes produjeron un forraje con mayor contenido de proteína cruda, energía metabolizable, y con menor contenido de carbohidratos solubles, FDN y FDA, por tanto, la respuesta de la concentración de carbohidratos solubles concuerda con la relación del FDN-Energía-Consumo del pasto y se evidencia en la presente investigación, si la disponibilidad de materia seca del pasto ofertada al animal no es limitante (Pérez Infante, 2010; Ruíz y Guevara, 2021). Esto implica mantener la rentabilidad y bajos gastos operacionales y menores costos/kg de leche/vaca (Guevara, 1999; Pérez Infante, 2010). Entre los requisitos determinantes para alcanzar sostenibilidad, según Bywater (2010), los tipos de vacas más productivas, pero con menores necesidades de energía y otros nutrientes por su bajo peso vivo, juegan un rol decisivo para lograr rentabilidad y eficiencia en sistemas pastoriles, y otros indican que esto se logra en forma estable en diferentes zonas lecheras del mundo (Coffey *et al.*, 2018; Ruiz y Guevara, 2021; Down, 2022).

Tabla 3. Características físicas de las granjas lecheras por indicadores productivos y de fuerza de trabajo (valores medios del periodo 2019-2022).

Indicadores	G01	G02	G03	ES (±)	CV (%)
Carga (UA/ha)	1,5	1,5	2,1	0,02	14,3
Vacas totales (#)	48	72	56	1,19	11,6
Vacas en ordeño (%)	28	27	32	0,03	13,1
Producción de leche/vaca/día (kg)	16,93	13,27	11,81	0,16	14,3
Producción de leche/ha/día (kg)¹	25,40	19,91	24,81	0,05	12,1
Fuerza laboral total (# de UT)	3	3	5	0,02	7,6
Fuerza laboral no familiar (# de UT)	----	2	----	0,04	18,2

Los resultados son coincidentes con Rotz *et al.* (2020) al comparar los resultados de la Granja 2, de comportamiento tradicional con la asociación de Ryegrass-Trébol con valores menores de producción de leche/vaca que en la granja 3 y superior a la de la Granja 1. En el indicador de producción de leche/ha, las granjas 01 y 03 fueron superiores con valores por encima de 24 kg vs 19 kg en la G02. Esto indica un aspecto positivo dentro del ACV para estas dos granjas, con diferencias entre sus valores de carga global de 0,6 UA/ha, y se han encontrado resultados favorables en otros estudios en granjas lecheras como los de Jiang y Sharp (2014) en Nueva

Zelandia, igual en Rotz *et al.* (2020), en granjas lecheras representativas de diversas regiones de Estados Unidos y mayor uso y productividad de la tierra en el estudio de Berton *et al.* (2020), para sistemas lecheros en Italia y con la mayor participación significativa de las pasturas y su producción/área en la ocupación de la tierra con ganado lechero, que también es reportada por Herron *et al.* (2022), quienes citaron la producción de forraje/ha y su conversión a rendimiento lechero/ha, como uno de los principales índices.

En la tabla 3, se presentan los indicadores relativos a la carga global del sistema, vacas totales y el % de vacas en ordeño. Esto es por el efecto determinante de la participación laboral familiar en cada predio ganadero y es similar al comportamiento que reportan Jiang y Sharp (2014) y Ma *et al.* (2019) en explotaciones lecheras de Nueva Zelanda, aunque de mayor área, mayor número de vacas, similar empleomanía familiar y mayor intensificación. Es notable el elevado nivel de trabajo familiar en estas explotaciones de esta zona de la sierra sur ecuatoriana (Hargreaves *et al.*, 2021; Batalla, 2022; Down, 2022).

Se han señalado como determinantes, los criterios de población de pastizales mejorados, la fuerza laboral familiar y/o contratado, la carga animal global de cada sistema, los % de vacas en ordeño, y coinciden con los de Coffey *et al.* (2018); Herron *et al.* (2022), donde los índices empleados aclaran su efecto positivo y relevante en la eficiencia y las emisiones de carbono de estos sistemas lecheros.

Los estudios de Berton *et al.* (2020) y Drews *et al.* (2020), muestran que es necesario investigar sobre la influencia del tipo de sistema de producción de leche, las estrategias de manipulación, la tecnología empleada, el uso más intensivo de la tierra de pastoreo y la cobertura geográfica. Morone *et al.* (2023) indican la sostenibilidad y superioridad necesaria a lograr con respecto a la economía basada en combustibles fósiles y tiene que ser probada de una manera rigurosa, con procesos de base biológica. USDA (2020) y Santos Carvalho *et al.* (2022), indican que las emisiones entéricas de metano y nitrógeno y los insumos para la alimentación de los animales fueron los principales contribuyentes a los impactos en la producción de leche en la mayoría de las categorías. Es importante destacar que las producciones lecheras obtenidas (Tabla 3 y 4) son muy similares a las alcanzadas en sistemas también con base pastoril y participación de otras especies de pasturas naturalizadas como el pasto Kikuyo y mejoradas como diversos cultivares de Rye-Grass Inglés e Italiano, Dactylo, Festuca y leguminosas como Tréboles blanco y rojo, con la adición de una especie relativamente novedosa como el Llantén (*Plantago lanceolata*) que hacen una contribución sensible a lograr niveles entre 5 y 15 kg/ vaca/día y entre 9 y 28 kg/ha/día, como indican Batalla (2022) y Down (2022) en la región sierra de Ecuador, que han logrado alcanzar valores entre 2500-6000 kg de leche/ha/día, con lactancias promedio ajustadas a algo más de 240 días, muy coincidentes con los determinados en otros ambientes de Argentina, Europa, Estados Unidos, Australia, Nueva Zelanda y zonas de América Latina (Jiang y Sharp, 2014; Berton *et al.*, 2020; USDA, 2020).

Esto es coincidente (Tabla 4) con los de Finnegan y Goggins (2021) y Herron *et al.* (2022) que realizaron estudios para estimar el impacto ambiental de la producción de leche cruda. Las producciones de grasa y proteína (Tabla 5), responden a valores de análisis de la industria, con 3,5 y 3,2 % para grasa y proteína, que se indican, con mayor % de Ácido Acético para grasa y aminoácidos, para proteína láctea (Orskov, 2005; Ruiz y Guevara, 2021; Herron *et al.*, 2022).

Tabla 4. Indicadores de producción de leche por área, diésel reducido, balanceado, energía y fertilizantes y edad de los ganaderos líderes en las granjas (años 2019-2022).

Indicadores	G01	G02	G03	ES (±)	CV (%)
Producción de leche (kg/ha/año) ¹	6197	4857	7609	214	16,5
Edad del ganadero dueño (años)	53	58	52	2,6	14,6
Reducción en el uso de fertilizantes (%)	22,53	7,16	14,85	1,23	18,2
Reducción en el uso de balanceado (%)	6,25	6,78	7,11	1,52	11,5
Reducción en el uso de energía/kg de leche producido (%)	26,02	19,41	21,37	3,17	8,3

¹Producción de leche kg/ha/ año, calculada y con ajuste a 244 días de lactancia promedio/grupo, multiplicada por la producción/vaca/día por la carga media de cada granja.

Los balances de nitrógeno/ha/año, con cifras de 14,33 kg/ha favorables para la G01 y menores valores respectivos en G02 y G03, y menos eficientes en este nutriente, y con el menor valor de Eficiencia de Utilización de Nitrógeno para producir leche de 0,79 kg/1000 kg.). Herron *et al.* (2022), muestra resultados similares por factores físicos, diversidad agrícola, reducción del uso de fertilizantes, balanceados y por ende de energía/kg de leche y también por tamaño de la granja en la eficiencia.

Tabla 5. Indicadores de producción de grasa y proteína por área en granjas lecheras, Balance de N₂ y Eficiencia de Utilización del N₂ en Granjas Lecheras.

ÍNDICES	G01	G02	G03
Producción/grasa/ha/año (kg) ¹	31,63	24,32	25,11
Producción/proteína/ha/año (kg) ²	26,42	21,03	22,09
Balance de N ₂ /ha/año (kg)	14,33	11,38	7,65
Eficiencia de Utilización del N ₂ (kg/1000kg de leche)	0,79	0,91	1,06

^{1,2} Producción de grasa y proteína calculada con los coeficientes de 3,5 % y 3,2 % de grasa y proteína láctea.

Resultados similares a estos se han logrado alcanzar en varios experimentos en pastoreo en climas templados y con vacas de mediano-alto potencial (Coffey *et al.*, 2018; Berton *et al.*, 2020; Herron *et al.*, 2022) en sistemas lecheros argentinos, ingleses y franceses y valores calculados por Batallas (2022) y Down (2022) para granjas lecheras en el centro-norte de la sierra en Ecuador.

En la Tabla 6, en igual modo algunos índices como el balance de energía y la energía insumida por kg de leche fueron estimados, con resultados interesantes como la energía insumida por cada 1000 kg de leche producida y que representó un valor de 1008 Mcal en G01 y significa casi un 35

% de las necesidades de energía para producciones entre 15-20 kg de leche como se registró para esta granja, que fue superior a las restantes. En todos los casos, esto coincide con los reportes de granjas lecheras en USA y estudios de Jiang y Sharp (2014) en ese país y de Ma *et al.* (2019) en granjas lecheras con diferentes niveles de intensificación y con animales de medio-alto potencial genético en la zona lechera de Nueva Zelanda. Taufiq *et al.* (2016) indicaron que en el caso de las granjas locales diversificadas, el PCA fue de 2,34 kg CO₂ eq/kg de leche FCM, mientras que el impacto de la granja moderna especializada fue de un PCA de 1,52 kg CO₂ eq/kg de FCM de leche. En el estudio las emisiones fueron mayores en los tratamientos con mayor presencia de Ryegrass (85 y 33 % en las granjas 2 y 3) y valores PCA fueron mayores que en granja 01, menos eficientes en su digestión y aportan más metano y CO₂.

Tabla 6. Indicadores de aspectos agro-ambientales, de perdurabilidad en el tiempo y sustentabilidad del sistema (2019-2022).

ÍNDICES (2019-2022)	Valores de las tres granjas		
	G01	G02	G03
Balance de Energía de todo el sistema en UCE (UCE= 10 000 MJ) ³	1 055	1177	1 297
Energía Insumida en el rebaño de producción/1000 kg de Leche (Mcal) ²	1080	1145	1242
Mortalidad y descartes de Vacas y Adultos (%).	0,7	1,6	1,03
Mortalidad de Crías como indicador de perdurabilidad del rebaño en el tiempo (%).	0,3	0,5	1,2
Incremento del rebaño adulto en el tiempo para el periodo (%).	17,2	10,8	8,3
Emisión Potencial de Metano (kg CO ₂ eq. /10 000kg leche) ³	10 889	20 108	21 135
Potencial de Calentamiento Global por GEI (EqCO ₂ (1.2) /UCE) ³	5,18	7,66	9,52

¹Los balances de Ca y P fueron solo para vacas en lactación. ²Este índice se calculó para los requerimientos de producción y mantenimiento. ³UCE=Unidades Convertidas de Energía, equivalente a 10 000 MJ.

Como se ha encontrado coincidentemente, en diversos estudios como los de Jiang y Sharp (2014) en Nueva Zelanda; en granjas lecheras de Estados Unidos (Berton *et al.*, 2020) y Herron *et al.* (2022) al comparar granjas más diversificadas vs especializadas, donde las primeras fueron más eficientes. En el caso de indicadores energéticos, como el balance de energía, se demuestra que aún hay potencial para convertir más energía que entra al sistema a productos beneficiosos de salida en valor razonable, y los ingresos energéticos por cada 1000 kg de leche, son adecuados. Los sistemas lácteos eficientes, emiten menos gases de efecto invernadero por unidad de leche, que los predichos con emisiones menores de 10 800 kg CO₂-eq / 10 000 kg de leche, en otros ambientes (Berton *et al.*, 2020; Herron *et al.*, 2022).

Según el IPCC (2019); Berton, *et al.* (2020), Carvalho *et al.* (2018), las emisiones derivadas de la producción de leche en las regiones lecheras desarrolladas, se estiman entre 1,2 y 1,4 kg de CO₂e/kg, respectivamente, que es inferior a la media mundial de 2,5 kg de CO₂e/kg de leche

corregida en materia grasa y proteínas con los pastizales, incluido el pastoreo en el 80% de la superficie terrestre (Charlton *et al.*, 2019; FAO, 2021).

En relación a los aportes de metano y su equivalencia a CO₂, los estimados pueden ser reducidos con manejo del sistema adecuado a los recursos disponibles para maximizar su uso, el reducir el balanceado y usar especies mejoradoras del ambiente ruminal, que reducen el metano ruminal como el Llantén (Batalla, 2022). Esto se justificó, por los resultados obtenidos, la inversión realizada en G01 y G03 al incluir en sus potreros el Llantén, (*Plantago lanceolata*), que es nutricionalmente muy favorable al rumen, donde se reducen trastornos digestivos como timpanismos e intoxicaciones por oxalatos y nitratos, propias de sistemas de gramíneas con fertilizaciones orgánico-minerales o con asociaciones (Pérez Infante, 2010; Charlton *et al.*, 2019; Ruiz y Guevara, 2021; Batalla, 2022; Down, 2022). Diversos autores manifiestan que la eficiencia en la producción de leche, implica mantener la rentabilidad (Guevara, 1999; Pérez Infante, 2010; Charlton *et al.*, 2019; Ruiz y Guevara, 2021). Entre los requisitos determinantes para alcanzar sostenibilidad, según Arcos *et al.* (2021), los tipos de vacas más productivas, pero con menores necesidades de energía y otros nutrientes por su bajo peso vivo, juegan un rol decisivo para lograr rentabilidad y eficiencia en sistemas pastoriles.

En coincidencia con nuestros resultados, Herron *et al.* (2022), indican que al evaluar dos tipos de pasturas en granjas distintas: (1) un sistema lechero promedio actual basado en pasturas de parto de primavera, y (2) un sistema lechero basado en pasturas de parto de primavera que ha alcanzado los objetivos clave de rendimiento establecidos por los sistemas lecheros más eficientes (objetivo) y donde se utilizaron los criterios de kilogramo de leche corregida en grasa y proteína (MCFP) y por hectárea, encontraron que se redujo aún más el potencial de calentamiento global en un 16,4% y se informó que el cambio del sistema lechero actual al sistema lechero objetivo redujo el impacto ambiental por kilogramo de FPCM (Ruiz y Guevara, 2021; Herron *et al.*, 2022).

En IDF (2015) plantean actualizaciones sobre el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) del sector lácteo. El área de ACV está emergiendo a un ritmo más rápido y con el fin de hacer que el "Estándar Global de Huella de Carbono de la FID para el Sector Lácteo" sea más actual y relevante, este sitio servirá como un lugar para recopilar información relevante con el fin de hacer más dinámica la orientación de la FID sobre ACV y Huella de Carbono. Recientemente, los estudios brasileños de ACV sobre leche y productos lácteos de búfala y cabra (Cabral *et al.*, 2020). Además, Ruviano *et al.* (2020) utilizaron la perspectiva del ciclo de vida, para evaluar los costos de los sistemas de producción lechera en el sur de Brasil. El valor encontrado en el presente estudio, para un sistema semi-intensivo, que implicó estabular a los animales para recibir balanceados, es relativamente menor, en comparación con los encontrados por González-Quintero *et al.* (2021), cuyas emisiones oscilaron entre 2,1 y 4,2 kg CO₂-eq, con una estrategia de alimentación basada en el pastoreo, estos autores observaron que en las explotaciones con diferentes sistemas de alimentación, la cantidad de kg

CO₂-eq era significativamente mayor en los sistemas de pastoreo puro que en sistemas estabulados.

Por el contrario, el valor fue superior a los obtenidos por Rotz *et al.* (2020), entre 0.86 y 1.17 kg de CO₂-eq por kg de FPCM, en granjas lecheras representativas de diversas regiones de Pensilvania, Estados Unidos. El requerimiento de tierra fue menor que el estudio de Berton *et al.* (2020), encontrado en sistemas lecheros en Italia. La participación significativa de las pasturas en la ocupación de la tierra también es reportada por Rotz *et al.* (2020); Herron *et al.* (2022), quienes citaron la producción de forraje como flujo contribuyente. La gestión para mitigar las emisiones de metano a nivel de explotación, podrían reducirse más por prácticas de estrategias dietéticas con otras plantas forrajeras (Llantén, Achicoria, Colza, Nabo y Morera).

En Escocia, reportan que la industria ganadera del país y de Europa necesita urgentemente reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) para contribuir a los ambiciosos compromisos políticos sobre el cambio climático (Orskov, 2005; IPCC, 2019; Finnegan y Goggins, 2021). Según Carvalho *et al.* (2018); IPCC (2019); Berton *et al.* (2020) y Finnegan y Goggins (2021), las emisiones derivadas de la producción de leche en las regiones lecheras desarrolladas, como el Reino Unido Portugal y resto de la Europa Continental, se estiman entre 1,2 y 1,4 kg de CO₂e/kg (Berton *et al.*, 2020). Finnegan y Goggins, (2021); Carvalho *et al.* (2018); Charlton *et al.* (2019) y Drews *et al.* (2020) incluyen sugerencias para establecer un sistema que emita menos CO₂ por unidad de producto o tipo de gestión, donde la digestibilidad de la dieta se relaciona con la composición química del alimento y el consumo de agua (Charlton *et al.*, 2019; Drews *et al.*, 2020).

En la tabla 7, se presentan los gastos totales y variables por granjas, los ingresos y la rentabilidad de cada granja, los mayores volúmenes de leche/vaca en la G01, incrementan el volumen de leche por granja y su rentabilidad. En G01 se alcanzó rentabilidad de casi 36 %, superior a G02 y G03, y más bajo resultado para la última, cercano al 20 %, por mejor utilización del pastizal con Llantén, según su mayor valor nutricional, menos FDN y más energía (Orskov, 2005; Arcos *et al.*, 2021; Ruíz y Guevara, 2021; Batalla, 2022).

Tabla 7. Índices de Gastos, Ingresos (USD) y Rentabilidad (%) en cada Granja en el cuatrienio (valores medios ajustados del periodo 2019-2022).

Índices (Periodo 2019-2022)	G01	G02	G03
Gastos totales de la granja ¹	20 415	18176	19 425
Gastos variables de la granja ²	19 118	17279	19 129
Ingresos totales de la granja ³	27 273	23 814	23 201
Ingresos netos ⁴	6858	5638	3776
Rentabilidad (%) ⁵	35,91	32,63	19,74

^{1,2,3}Los gastos totales y variables e ingresos totales anuales (USD) fueron obtenidos como información de los ganaderos desde sus registros y libros contables, a través de la consultoría ganadera. ^{4,5}Los índices de Ingresos Netos y Rentabilidad fueron calculados según Luening (2010).

CONCLUSIÓN

En varios de los aspectos del ciclo de vida, se encontró coincidencia con indicadores provenientes de sistemas con más especialización en la producción de leche, como son sus rendimientos, balances de nitrógeno, energía y minerales y sus relaciones con la producción de leche y los aspectos del ambiente y emisiones para el calentamiento global, aunque en varios índices hay espacios para recuperar eficiencia con mejoras al manejo y sin necesidad de usar más insumos extras a las granjas.

AGRADECIMIENTOS

A los propietarios y trabajadores de las granjas en el estudio a campo.

REFERENCIAS

- Arcos, C.N., Lascano, P., & Guevara, R. (2021). Análisis de Ciclo de Vida de Sistemas Lecheros de la sierra norte de Ecuador. *RECA.*, 5(3), 27-34. <http://www.revistaecuadorianadecienciaanimal.com/index.php/RECA/article/view/67>
- Batalla, C. (2022). Rol de la producción de pasturas de alta calidad en la producción bovina. *Revista Ecuatoriana de Ciencia Animal*, 3(3). 24-35. <http://www.revistaecuadorianadecienciaanimal.com/index.php/RECA/article/view/176>
- Berton, M., Bittante, G., Zendri, F., Ramanzin, M., Schiavon, S., & Sturaro, E. (2020). Environmental impact and efficiency of use of resources of different mountain dairy farming systems. *Agricultural Systems*, 181, 102806. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102806>
- Bywater, A. (2010). Identificación y Monitoreo de Sistemas de Producción de Leche Competitivos por Macrozonas lecheras en Chile. Proyecto M1P2. <https://docplayer.es/93572081-Identificacion-y-monitoreo-de-sistemas-de-produccion-de-leche-competitivos-por-macrozonas-homogeneas-en-chile-produccion-predial-gestion-predial.html>
- Cabral, C. F. S., Veiga, L. B. E., Araújo, M. G., & de Souza, S. L. Q. (2020). Environmental Life Cycle Assessment of goat cheese production in Brazil: A path towards sustainability. *Lwt*, 129, 109550. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109550>
- Charlton, S., Ramsøe, A., Collins, M., Craig, O. E., Fischer, R., Alexander, M., & Speller, C. F. (2019). New insights into Neolithic milk consumption through proteomic analysis of

- dental calculus. *Archaeological and Anthropological Sciences*, 11, 6183-6196. DOI: [10.1007/s12520-019-00911-7](https://doi.org/10.1007/s12520-019-00911-7)
- Coffey, E. L., Delaby, L., Fleming, C., Pierce, K. M., & Horan, B. (2018). Multi-year evaluation of stocking rate and animal genotype on milk production per hectare within intensive pasture-based production systems. *Journal of dairy science*, 101(3), 2448-2462. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13632>
- Corbea, H., & García Trujillo, R. (1982). Método de los pasos para determinar composición botánica de los pastos. *Matanzas: EEPF Indio Hatuey*.
- Down, T. (2022). Resultados evaluados en el trabajo de consultoría a granjas lecheras en Pichincha, Ecuador. En resúmenes de la Conferencia Magistral en IV Congreso de Ganadería, Universidad de Cuenca, Azuay. *RECA.*, 22.
- Drews, J., Czycholl, I., & Krieter, J. (2020). A life cycle assessment study of dairy farms in northern Germany: the influence of performance parameters on environmental efficiency. *Journal of Environmental Management*, 273, 111127. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111127>
- FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2021). Gateway to dairy production and products. <http://www.fao.org/dairy-production-products/production/en/#:~:text=In%20the%20last%20three%20decades,%2C%20China%2C%20Pakistan%20and%20Brazil.>
- Finnegan, W., & Goggins, J. (2021). Environmental impact of the dairy industry. In *Environmental Impact of Agro-Food Industry and Food Consumption* (pp. 129-146). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/C2019-0-03292-X>
- González-Quintero, R., Kristensen, T., Sánchez-Pinzón, M. S., Bolívar-Vergara, D. M., Chirinda, N., Arango, J., & Knudsen, M. T. (2021). Carbon footprint, non-renewable energy and land use of dual-purpose cattle systems in Colombia using a life cycle assessment approach. *Livestock Science*, 244, 104330. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2020.104330>
- Guevara, R. (1999). *Contribución al estudio del pastoreo racional con bajos insumos en vaquerías comerciales* (Doctoral dissertation, Tesis de Doctorado en Ciencias Veterinaria, ICA-UNAH, Instituto de Ciencia Animal, Universidad Agraria de La Habana, Cuba).
- Hargreaves, P.R., Alasdair Sykes, Bob Rees. (2021). Effect of Nutritional Variation and LCA Methodology on the Carbon Footprint of Milk Production From Holstein Friesian Dairy Cows, April 2021, *Frontiers in Sustainable Food Systems* 5:588158, DOI: [10.3389/fsufs.2021.588158](https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.588158)

- Herron, J. Donal O'Brien, Laurence Shalloo. (2022). Life cycle assessment of pasture-based dairy production systems: Current and future performance data. *Journal of Dairy Science*, 105(1), 5849-5869. DOI: [10.3168/jds.2021-21499](https://doi.org/10.3168/jds.2021-21499)
- International Dairy Federation. (2015). A common carbon footprint approach for the dairy sector. The IDF guide to standard life cycle assessment methodology (Bulletin 479). <https://store.fil-idf.org/product/a-common-carbon-footprint-approach-for-the-dairy-sector-the-idf-guide-to-standard-life-cycle-assessment-methodology/>
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2019) Guidelines for national greenhouse gas inventories. Agriculture, Forestry and Other Land Use – N₂O Emissions from Managed Soils, and CO₂ Emissions from Lime and Urea Application. Chapter 11. https://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/2019rf/pdf/4_Volume4/19R_V4_Ch11_Soils_N2O_CO2.pdf
- Jiang, N., & Sharp, B. (2014). Cost Efficiency of Dairy Farming in New Zealand: a stochastic frontier analysis. *Agricultural and Resource Economics Review*, 43(3), 406-418. DOI: <https://doi.org/10.1017/S1068280500005517>
- Luening, R.A. (2010). Guía Técnica Lechera, Estados Unidos. Instituto Babcock para Investigación y Desarrollo Internacional de Agricultura, 96pp.
- Ma, W., Bicknell, K., & Renwick, A. (2019). Feed use intensification and technical efficiency of dairy farms in New Zealand. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, 63(1), 20-38. <https://doi.org/10.1111/1467-8489.12283>
- Morone, P., D'amato, D., Befort, N., & Yilan, G. (2023). *The circular bioeconomy: theories and tools for economists and sustainability scientists*. Cambridge University Press. <https://ideas.repec.org/b/cup/cbooks/9781009232593.html>
- NRC. (2010). Nutrients requirements of dairy cattle. Washington D.C., National Academy of Sciences. 5th Edition Revised, National Academy of Sciences. USA, 12p. Nutrition, Cornell University, Ithaca, USA. 15pp.
- Orskov, E. R. (2005). Ciclo de conferencias de nutrición de rumiantes en la Universidad de Camagüey. Cuba. 26pp.
- Pérez Infante, F. (2010). Ganadería Eficiente, Bases Fundamentales. La Habana, Cuba; 254 pp.
- Rotz, C. A., Stout, R. C., Holly, M. A., & Kleinman, P. J. (2020). Regional environmental assessment of dairy farms. *Journal of Dairy Science*, 103(4), 3275-3288. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17388>

Torres Inga, C.S., Guevara Viera, G.E., Guevara Viera, R.V., Lascano Armas, P.J., Figueroa Robalino, J.S., Arcos Álvarez, C.N.

Ruiz, R., & Guevara, R. (2021). Valor nutritivo de pastos y forrajes tropicales. Artículo de Revisión, *RECA*, 5(3).
<https://www.revistaecuadorianadecienciaanimal.com/index.php/RECA/article/view/275>

Ruviaro, C. F., de Leis, C. M., Florindo, T. J., de Medeiros Florindo, G. I. B., da Costa, J. S., Tang, W. Z., & Soares, S. R. (2020). Life cycle cost analysis of dairy production systems in Southern Brazil. *Science of the Total Environment*, 741, 140273.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140273>

Taufiq, [F.M.](#), [Tripadmi](#), [Dan Benno Rahardyan](#). (2016). Life cycle assessment of dairy farms *Rev Environ Health*, 31(1), 187-90. DOI: [10.1515/reveh-2015-0037](https://doi.org/10.1515/reveh-2015-0037)

USDA - United States Department of Agriculture. (2020). Dairy and products annual. Report Number: BR2020-0042. USDA-Foreign Agricultural Service. [https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/Report/DownloadReportByFileName?fileName=Dairy%20and%20Products%20Annual](https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/Report/DownloadReportByFileName?fileName=Dairy%20and%20Products%20Annual%20Report%20Brazil%2010-15-2020) Brasilia Brazil 10-15-2020

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Concepción y diseño de la investigación: CSTI, GEGV, RVGV, PJLA, JSFR, CNAA; análisis e interpretación de los datos: CSTI, GEGV, RVGV, PJLA, JSFR, CNAA; redacción del artículo: CSTI, GEGV, RVGV, PJLA, JSFR, CNAA.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existen conflicto de intereses.