

Alimentación y nutrición animal

Artículo de investigación científica y tecnológica

**Análisis y reducción de costos alimenticios asociados a la
producción láctea de un sistema bovino semiespecializado,
mediante el uso de la metodología AHP**

 Carol Paternina-Acosta¹,  José Ruiz-Meza^{2*},  Omar Hernández-Mendo³

¹Corporación Universitaria del Caribe-CECAR. Sincelejo, Colombia.

²Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Corozal, Colombia.

³Colegio de Postgraduados. Texcoco, México.

*Autor de correspondencia: Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería. Carretera troncal Corozal entrada a Morroa. Corozal, Sucre, Colombia.
jose.ruiz@unad.edu.co

Editor temático: Denys Yohana Mora Herrera (Universidad del Valle. Cali, Colombia)

Recibido: 11 de noviembre de 2019

Aprobado: 20 de octubre de 2020

Publicado: 07 de mayo de 2021

Para citar este artículo: Paternina-Acosta, C., Ruiz-Meza, J., & Hernández-Mendo, O. (2021). Análisis y reducción de costos alimenticios asociados a la producción láctea de un sistema bovino semiespecializado, mediante el uso de la metodología AHP. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 22(2), e1699. https://doi.org/10.21930/rcta.vol22_num2_art:1699



Resumen

La producción de leche es un renglón importante dentro del sector agropecuario y la economía de un país. En México, el aporte del sector agropecuario al producto interno bruto (PIB) nominal es del 4,2 %, con una participación del 30,2 % de la ganadería. Este tipo de producción presenta diversos sistemas mejorados para aumentar la tasa de rendimiento. Sin embargo, es necesario conocer los costos de producción asociados a la alimentación de los bovinos en términos de materia seca consumida. En esta investigación, realizamos el análisis de los costos variables de alimentación dentro del proceso de producción de leche para vacas de alta y baja producción en un sistema bovino semiespecializado. Se desarrollaron procesos de diagnóstico y levantamiento de la información, análisis bromatológico, análisis de producción láctea, cálculo de los costos asociados y, por último, evaluación de reducción de costos bajo la metodología multicriterio de proceso de análisis jerárquico (AHP, por sus siglas en inglés). Se calcularon los costos de alimentación asociados a forraje, ensilado y concentrado, los cuales alcanzan el 20,3 % y 21,9 % de los ingresos totales por venta de leche para grupos de vacas de alta y baja producción, respectivamente. Determinamos que la estrategia de reducción de costos que genera mejores resultados, en cuanto a criterios de productividad, eficiencia, ambiente y factores financieros, corresponde a elaboración de diferentes dietas según la tasa de producción de leche. El ahorro asociado a esta estrategia demuestra un potencial de disminuir los costos anuales de alimentación hasta en USD 444 para las vacas objeto de estudio.

Palabras clave: alimentación del ganado, bovinos, costos de producción, producción lechera, proceso jerárquico analítico

Feed costs analysis and reduction associated with dairy production in a semi-specialized bovine system using AHP method

Abstract

Milk production is an important line within the agricultural sector and the economy of a country. In Mexico, the contribution of the agricultural sector to the nominal Gross Domestic Product (GDP) is 4.2 %, with a 30.2 % livestock share. This type of production has several improved systems to increase the profit rate. However, it is necessary to know the production costs associated with feeding cattle in terms of dry matter consumed. In this paper, we analyzed the variable feeding costs within the milk production process for high and low producing cows in a semi-specialized bovine system. We carried out diagnosis and information gathering processes, bromatological and milk production analyses, calculation of associated costs, and finally, the evaluation of cost reduction under the multi-criteria methodology of the Analytical Hierarchy Process (AHP). Feeding costs associated with forage, silage, and concentrate feed were calculated, reaching 20.3 % and 21.9 % of the total income from milk sales for groups of cows with high and low production, respectively. We determined that the cost reduction strategy that generates better results in terms of productivity criteria, efficiency, environment, and financial factors corresponds to the elaboration of different diets according to the milk production rate. The savings associated with this strategy demonstrate the potential to lower annual feeding costs by up to USD 444 for the cows under study.

Keywords: analytic hierarchical process, bovines, dairy production, livestock feeding, production costs

Introducción

La producción láctea a nivel mundial está dividida en dos grandes grupos. El primero está conformado por países desarrollados como Estados Unidos y los pertenecientes a la Unión Europea, los cuales reflejan porcentajes de producción de leche del 12 % y 20 % a nivel mundial, respectivamente (Organization for Economic Cooperation and Development [OECD], 2018). En segunda instancia, se encuentran países como Australia y Argentina con niveles bajos de costos asociados a la producción láctea, debido a las buenas condiciones agroclimáticas y de infraestructura; México, se ubica en la posición número ocho de este rubro por su nivel de producción, al representar aproximadamente el 2 % de la producción de leche a nivel mundial (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2018), lo que resalta la influencia del sector lácteo en la economía (Montaldo et al., 2009; Oficina Económica y Comercial de España en México, 2016).

La producción de leche bovina ocupa el tercer lugar en el valor de la producción pecuaria en México con un aporte del 17 %. Este tipo de producción se realiza en sistemas productivos tanto tecnificados como tradicionales, que se enfocan básicamente en la producción de alimentos para el consumo humano (Loera & Banda, 2017). Las principales entidades federativas productoras son las de Jalisco, con el 19,5 %; Coahuila, con el 11,5 %; Durango, con un 10,2 %, y Chihuahua, con el 9,3 % (Cámara Nacional de Industriales de la Leche [Canilec], 2018).

En relación con lo anterior, la cantidad de producto generado se ve asociado a tres factores: costos de producción, productividad y precio de venta, en donde los costos pueden ser definidos como todos aquellos pagos que una organización realiza para la adquisición y manutención de recursos para la producción (Botero & Rodríguez, 2006); en el caso de la producción de la leche, uno de los costos más representativos corresponde a la alimentación del ganado (Macdonald et al., 2017).

En la literatura se han desarrollado estudios de costos de producción láctea que concluyen el alto nivel de incidencia de los costos variables influenciados mayormente por la alimentación. Gómez-Osorio et al. (2017) analizaron la rentabilidad de la producción de leche con respecto a la fuente de carbohidratos requerida para suplementar vacas tipo Holstein en pastoreo. Se tomó como base que los altos costos en los insumos alimenticios se convierten en una limitante en la rentabilidad de la actividad ganadera. Por su parte, Shonka-Martin et al. (2019) aplicaron modelos estadísticos de regresión lineal para calcular medidas de eficiencia alimentaria, ingresos sobre el costo de la alimentación e ingesta residual de alimentos, en donde el ingreso sobre el costo de alimentación fue calculado como el ingreso de la producción de grasa y proteína menos el costo del alimento. En dicho estudio, se compararon vacas Holstein con cruces de razas de Montbéliarde, Viking Red y Holstein en Minnesota; las razas cruzadas mostraron costos más bajos de alimentación y mejores ingresos que las de raza Holstein.

Por otra parte, Wu et al. (2019) desarrollaron una estrategia de agrupación nutricional denominada *OptiGroup* que se llevó a cabo en Wisconsin, para incrementar el ingreso de la leche sobre los costos de alimentación. El cálculo se realiza a través de la aplicación de un algoritmo de optimización basado en programación no lineal entera mixta. Los autores establecen una organización grupal por tipo de

requerimientos nutricionales. No obstante, la asignación de vacas a cada grupo no interactúa con la formulación de las raciones para minimizar los costos. Por lo tanto, concluyen que podría existir una forma más rentable de agrupar nutricionalmente a las vacas.

Ranck et al. (2020) aplicaron una estrategia de doble cultivo en granjas de Pensilvania, para minimizar tanto costos alimenticios como el impacto negativo que genera la actividad bovina al ambiente. Con este enfoque se logra una reducción de lixiviados y se benefician las granjas en momentos de fluctuaciones de los costos alimenticios.

Para el caso de México, Gamboa-Mena et al. (2005) analizaron los factores que presentan alta incidencia sobre la producción de carne bovina en especies *Bos indicus* y *B. taurus*, identificando mayores costos variables por concepto de alimentación y mano de obra. Asimismo, Granados et al. (2011) determinaron los costos presentes en la producción de un litro de leche, así como los costos para la obtención de carne en un sistema doble propósito; en dicho estudio se consideran costos de insumos fijos y variables, mano de obra, medicamentos, combustibles, servicios y mantenimiento, y concluye que los costos más representativos son los de mano de obra y combustibles con un 81,36 % del total de costos.

En el estudio realizado por Hernández-Martínez et al. (2011), se determinó que los costos variables relacionados mayoritariamente con la alimentación representan aproximadamente el 90 % del total de costos en la cadena productiva de ganado bovino. Domínguez et al. (2014) adaptaron una metodología que establece la construcción de deflatores individuales por rubro de costos mediante la reajustabilidad de valores; los deflatores fueron comparados posteriormente con el Índice Nacional de Precios al Consumidor para realizar un análisis de los periodos productivos 2000-2012, siendo los costos variables los de mayor peso.

Hernández-Martínez et al. (2016) analizaron la competitividad y los costos asociados a la producción bovina bajo un modelo de matriz de análisis político; en su análisis determinaron la rentabilidad de la actividad con variaciones del 10,77 % al 15,40 %, e identificaron costos alimenticios de más del 80 % de los costos totales.

Además, Albarrán-Portillo et al. (2019) evaluaron la respuesta económica y productiva de vacas lecheras en pastoreo con una alta carga animal, en cuyo proceso se analiza la rentabilidad del uso de concentrados y forrajes de alta calidad. El estudio evidenció que no se produce beneficio económico al aumentar la suplementación con concentrados, dado que los márgenes totales sobre los costos de alimentación son similares. Sin embargo, el pastoreo de forrajes sí contribuye al mejoramiento de la rentabilidad.

Ahora bien, los análisis de costos se enfocan generalmente en todo el sistema productivo, por lo que en este trabajo se establece como objetivo analizar los costos de producción asociados directamente a la alimentación en un sistema bovino semiespecializado, que permita medir la eficiencia del sistema y generar alternativas para toma de decisiones, considerando que el aumento de los costos de insumos alimenticios y su alta incidencia en los costos totales pueden amenazar la rentabilidad de las producciones ganaderas (Martínez et al., 2015).

La hipótesis central se estableció verificando que la determinación de los costos variables de alimentación asociados a la producción de leche genera una fuente de información para la correcta explotación tanto económica como productiva de la unidad económica. Además, esta información puede ser usada en el desarrollo de estrategias que permitan reducir los costos. Por consiguiente, se aplicó la metodología AHP para el diseño y selección de alternativas de minimización de costos asociados a la alimentación, teniendo en cuenta que la aplicación de técnicas de evaluación multicriterio para soportar la toma de decisiones en el sector agropecuario es aún muy limitada.

Materiales y métodos

La investigación se desarrolló en tres fases equivalentes en tiempo a seis meses comprendidos entre junio y noviembre de 2019. Se inició con un diagnóstico y registro diario del proceso de ordeña y alimentación que consideró el análisis bromatológico de los alimentos, el análisis de la producción de leche y su análisis físico-químico.

El examen bromatológico se realizó con base en los métodos de análisis proximal de Weende y Van Soest (Van Soest et al., 1991). Las muestras se recolectaron mediante la técnica de Hand Plucking; en el caso de la producción de leche, se utilizó el sistema láser de la ordeñadora mecánica. El análisis físico-químico de la leche se realizó mediante la toma de muestras en frascos plásticos de 100 mL, que fueron examinadas con el analizador de leche por ultrasonido Ekomilk. Posteriormente, los datos se analizaron a través del *software* Statistical Analysis System (SAS) para obtener las medias y compararlas mediante la prueba de Tukey.

En la segunda etapa se identificaron los costos relacionados a la alimentación, con base en el forraje, ensilado y concentrado. Por último, se aplicó la metodología AHP para el diseño y selección de alternativas de reducción de los costos.

Zona de estudio

El estudio se llevó a cabo en el módulo de pastoreo correspondiente al Departamento de Zootecnia de la Universidad Autónoma Chapingo, ubicada en Texcoco, México. El clima de la zona es templado subhúmedo con lluvias en verano, y presenta una temperatura promedio anual de 18 °C (Ramírez et al., 2011).

Unidad muestral o experimental

Se analizó un total de 18 vacas Holstein, línea Nueva Zelanda en pastoreo, divididas en dos grupos de nueve animales cada uno con los promedios que se detallan en la tabla 1. Las vacas fueron ordeñadas dos veces al día, denominando *ordeña matinal* y *ordeña vespertina*.

Tabla 1. Promedios iniciales de producción, pesaje, edad y partos por grupo

Grupo	1 - Altas productoras	2 - Bajas productoras
Días en leche (días)	238,66 ± 117,52	309,22 ± 36,35
Peso vivo (kg)	487,11 ± 160,94	484,77 ± 64,53
Producción de leche (L)	19,44 ± 2,06	13,85 ± 1,20
Edad (años)	5,22 ± 1,85	6,22 ± 3,15
Número de partos	1,88 ± 1,05	2,55 ± 1,66

Fuente: Elaboración propia

La alimentación se realizó con base en el suministro de raciones de concentrados, ensilados y forraje según la producción de leche. La superficie de pastoreo rotacional estuvo constituida por 1,5 ha de pradera mixta de alfalfa *Medicago sativa* L. (Fabaceae) y pasto ovillo *Dactylis glomerata* L. (Poaceae), divididas en tres potreros, dos de ellos orientados al norte y uno al sur. Se usó cerco móvil eléctrico para ofrecer el forraje fresco gradualmente durante el día.

Para el análisis económico se determinaron los costos en función de la materia seca (MS), es decir, los costos de forraje C_f , ensilado C_e y concentrado C_c (ecuación 1).

$$C_{Total} = C_f + C_e + C_c \quad \text{Ecuación 1}$$

Para el análisis económico no se consideran los costos de depreciación del ganado, maquinaria, salarios, luz, agua y medicamentos. Estos costos son asumidos directamente por la institución y no se encuentran diferenciados en el módulo. El costo estimado por concepto de forraje de pradera se calcula mediante la relación entre el costo total por establecimiento de pradera E_p y la producción estimada de MS PE_{MS} (ecuación 2).

$$\text{CostoForraje} = \frac{E_p}{PE_{MS}} \quad \text{Ecuación 2}$$

Asimismo, para establecer el consumo de las vacas en la pradera diariamente, fue necesario determinar el peso de forraje ofrecido f_o y forraje residual f_r , tomando muestras en terreno al azar con cuadro de medición de 50 × 50 cm. Para ello, se colocan las muestras en una estufa a 50 °C durante 24 horas, con el fin de determinar la MS; además, utilizando las medidas del área consumida A_c durante un día, siendo esta 1809,58 m², se calculó la diferencia del peso entre el forraje ofrecido f_o y el residual f_r , para dividirlo posteriormente entre el número de vacas n que pastorearon el área registrada (ecuación 3).

$$\text{ConsumoForraje} = \frac{f_o - f_r}{n} \quad \text{Ecuación 3}$$

Por otra parte, el costo por concepto de ensilado se obtiene dividiendo el establecimiento del cultivo de maíz C_t y los insumos totales para su elaboración I_t , entre las toneladas de MS/año (MS_{TN}). Posteriormente, la ecuación se divide entre la equivalencia de m^2 (ecuación 4).

$$\text{CostokgEnsilado} = \frac{\frac{C_t - I_t}{MS_{TN}}}{m^2} \quad \text{Ecuación 4}$$

Por último, para determinar el costo por kilogramo, se multiplica el costo de cada uno de los componentes C_c por su porcentaje de inclusión por kg $\%_i$, y así se obtiene el resultado por elemento (ecuación 5).

$$\text{CostokgConcentrado} = C_c \times \%_i \quad \text{Ecuación 5}$$

Metodología aplicada para el análisis de alternativas para toma de decisiones

El proceso de análisis jerárquico (AHP, por las siglas del Analytic Hierarchy Process) es una herramienta multicriterio sistemática, desarrollada en la década de los años 80 por Thomas Saaty (Baffoe, 2019; Saaty, 1988). Este método permite la valoración de distintos criterios que se asignen a un conjunto de estrategias, con la finalidad de priorizar y facilitar la toma de decisiones. Esto lo convierte en uno de los métodos más apropiados por su eficiencia en la aplicación de problemas con factores cualitativos y cuantitativos (Sabaei et al., 2015; Wolnowska & Konicki, 2019).

Con el método AHP se construye un árbol de jerarquías que permite la organización de los puntos de vista clave del problema de manera escalonada (Saaty, 1988). Esta metodología facilita la obtención de un único valor de evaluación, tomando como referencia diferentes indicadores, de manera que se reduce el proceso mediante la división de un problema complejo en un conjunto de pasos estructurados y manejables (Benmouss et al., 2019; Li et al., 2008). En este sentido, se ilustra jerárquicamente el problema y las opciones de juicio de los usuarios mediante una escala numérica que mide el desempeño cualitativo (Saaty, 1988). Esta escala presenta una valoración de dominación relativa que va desde igual a absoluta importancia (Benmouss et al., 2019), con lo que se construye una matriz $A = [a_{ij}]$ en cada nivel de la jerarquía de criterios de $n \times n$ cuadrados, donde n es el número de elementos del nivel (Wolnowska & Konicki, 2019) (tabla 2).

Tabla 2. Escala de dominación relativa de Saaty para comparaciones pareadas

Escala de comparación			
1	Igual importancia	7	Importancia muy significativa
3	Ligera importancia	9	Importancia absoluta
5	Importancia significativa	2,4,6,8	Valores intermedios

Fuente: Elaboración propia

Criterios de evaluación de la metodología AHP

Los criterios de evaluación en el AHP son identificados y seleccionados a través de un proceso de discusión con las partes interesadas (Baffoe, 2019; Wolnowska & Konicki, 2019). Para este trabajo, los criterios fueron seleccionados mediante un proceso de deliberación con diferentes expertos y técnicos encargados del módulo de producción de leche en pastoreo de la Universidad Autónoma de Chapingo, además de profesionales de la Facultad de Ganadería del Colegio de Posgraduados (Colpos). Luego de dos debates con los participantes, se llegó al consenso de seleccionar los siguientes criterios: factor financiero a_1 , productividad a_2 , eficiencia a_3 y factor ambiental a_4 , como pilares de desarrollo asociado al objetivo de la investigación. Así, para seleccionar la mejor alternativa de acuerdo con los criterios establecidos, se comparó por pares la importancia que tiene un criterio sobre el otro utilizando la escala de comparación de Saaty (tabla 2). Una vez realizado esto, se obtuvo el peso por criterio que corresponden a $a_1 = 0,323$, $a_2 = 0,258$, $a_3 = 0,246$ y $a_4 = 0,173$.

Resultados y discusión

El sistema de alimentación de las vacas se realizó a base de pastoreo rotacional de praderas mixtas de alfalfa y pasto ovido, complementadas con 10 kg de maíz ensilado y concentrado dependiendo del grupo (tabla 3). Se asignó una complementación de 1 kg de alimento concentrado para vacas de baja producción y 2 kg para las altas productoras. Adicionalmente, se utilizó ensilado almacenado en un “silo de pila”. Se ofrecieron 10 kg en materia húmeda en dos tomas después de cada ordeña.

El examen bromatológico de los alimentos ofrecidos fue realizado de manera individual (tabla 4) y en conjunto por cada grupo del experimento (tabla 5), basado en los métodos de análisis proximal de Weende y Van Soest (Van Soest et al., 1991). Los animales tuvieron agua *ad libitum*.

Tabla 3. Consumo en materia húmeda y materia seca

Alimento	Grupo 1 Altas productoras		Grupo 2 Bajas productoras	
	Materia húmeda (kg)	Materia seca (kg)	Materia húmeda (kg)	Materia seca (kg)
Alfalfa y pasto ovillo	67,43	11,28	67,43	11,28
Ensilado	10	3,19	10	3,19
Concentrado	2	1,81	1	0,90
Total	79,43	16,28	78,43	15,38

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. Composición de los alimentos ofrecidos a las vacas Holstein en pastoreo

Alimento	Humedad (%)	Proteína (%)	Extracto etéreo (%)	Cenizas (%)	Materia orgánica (%)	FDN (%)	FDA (%)
Alfalfa y pasto ovillo	83,27	27,08	2,04	11,89	88,11	28,93	21,98
Ensilado	68,07	5,27	2,62	5,98	94,02	56,48	39,06
Concentrado	9,37	10,93	3,21	4,08	95,92	10,48	5,09

Nota: FDN = Fibra detergente neutro, FDA = Fibra detergente ácido.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5. Composición de la dieta por grupos

Dieta Total	Humedad (%)	Proteína (%)	Extracto etéreo (%)	Cenizas (%)	Materia orgánica (%)	FDN (%)	FDA (%)
Grupo 1	72,06	21,00	2,28	9,89	90,10	32,19	23,44
Grupo 2	75,75	21,60	2,23	10,24	89,75	33,46	24,52

Nota: FDN = Fibra detergente neutro, FDA = Fibra detergente ácido.

Fuente: Elaboración propia

Análisis económico

El análisis de los costos de producción en una explotación agropecuaria es de vital importancia para generar un control de los movimientos económicos y financieros que se presentan en la cadena de valor (Posadas-Domínguez et al., 2014), debido a que el desconocimiento de estos genera una inexistencia de fuentes sólidas que soporten los gastos en un periodo de tiempo.

En este sentido, para el análisis de los costos de alimentación en términos de MS se aplicó inicialmente la ecuación 2 para determinar el costo estimado por concepto de forraje de pradera, que asciende a

USD 0,04 por kg de MS. Esta cifra se deriva del costo total por el establecimiento de la pradera que equivale a USD 570 y por la producción estimada de materia seca en cuatro años correspondiente a USD 16.240 kg de MS, tiempo aproximado que persiste la pradera. El costo de establecimiento está conformado por los costos de preparación del terreno, la compra de semillas y costos de fertilización. Cada uno estos componentes representan el 36 %, 54 % y 10 %, respectivamente, del total de costos de forraje.

Mediante la ecuación 4 se obtiene el costo por concepto de ensilado que equivale a USD 0,05 por kg de MS. Se consideran costos de cultivo que representan el 61 % y costos de ensilado (49 %). Los costos de cultivo corresponden a la preparación de terreno, compra de semilla, fertilización, riego y cosecha, con porcentajes de participación del 16,4 %, 24,6 %, 24,6 %, 8,2 % y 26,2 %, respectivamente. De igual modo, los costos de ensilado corresponden en un 53,06 % a la preparación del silo y el resto se deriva en otros gastos.

Por otra parte, aplicando la ecuación 5 se determinó el costo estimado por kilogramo de concentrado que equivale a USD 0,39. Este costo puede sufrir fluctuaciones dependiendo del tratamiento proporcionado a vacas altas y bajas productoras. Asimismo, se calcula el costo por kilogramo por cada elemento (tabla 6). El costo por concepto de concentrado se incrementa al aumentar el consumo de MS con respecto al tratamiento de altas y bajas productoras. De igual modo, se determinan los consumos de forraje mediante la ecuación 3 (tabla 7).

Tabla 6. Ingredientes que componen el concentrado con su porcentaje de inclusión

Concentrado	Costo (USD)	Porcentaje de inclusión por kg
Gluten	0,64	14,9
Grasa sobrepaso	1,18	2,3
Maíz rolado	0,31	53,3
Melaza	0,32	4,0
Sorgo molido	0,32	24,0
Minerales	1,07	1,5

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7. Costo (USD) por hectárea, producción de leche y datos de consumo

Variable	Altas productoras	Bajas productoras
Costo de concentrado, kg	0,39	0,39
Consumo de concentrado, kg vaca día	2	1
Costo de ensilado, kg	0,05	0,05
Consumo de ensilado, kg vaca día	10	10
Costo de forraje de pradera, kg de MS	0,035	0,035
Consumo de forraje de pradera, kg de MS vaca día	11,28	11,28
Costo consumo de concentrado, vaca día	0,79	0,39
Costo consumo de ensilado, vaca día	0,51	0,51
Costo consumo de forraje de pradera, vaca día	0,40	0,40
Costo consumo total, vaca día	1,69	1,30
Litros de leche, vaca día	19,44	13,85
Precio por litro de leche	0,43	0,43
Ingreso por venta de leche, hectárea día	8,3	5,9
Ingreso neto, hectárea	6,6	4,6

Fuente: Elaboración propia

La producción de leche en promedio para las vacas del grupo 1 y 2 corresponde a 19,44 L/día y 13,85 L/día, respectivamente. Adicionalmente, se determinaron los ingresos generados por la venta de leche equivalentes a USD 8,33 para el grupo 1 y USD 5,94 para el grupo 2. Si se deducen de los ingresos los costos de alimentación por cabeza de ganado, los ingresos netos se contabilizan en USD 6,64 para las altas productoras y USD 4,64 para las bajas productoras. Los costos alimenticios representan para el grupo 1 el 20,3 %, mientras que para las vacas del grupo 2 representan el 21,9 %.

La alimentación de las vacas altas productoras es más elevada por el cambio en los kilogramos de concentrado de la dieta. Se espera que, cuanto más concentrado se ofrezca, las vacas tengan más energía para producir leche. Ahora bien, los datos analizados por grupo de vacas trabajados en el experimento demuestran que los ingresos netos por día están en USD 60 para el grupo 1 y USD 42 para el grupo 2 (tabla 8).

Tabla 8. Costos e ingresos (USD) por hectárea, por concepto de alimentación y producción de leche

Variable	Altas productoras	Bajas productoras
Costo consumo día (ensilado, concentrado y forraje)	15,24	11,69
Litros de leche, vaca día	174,96	124,65
Ingreso por venta de leche, día	75	53
Ingreso neto, hectárea	60	42

Fuente: Elaboración propia

La producción de leche fue medida por el sistema láser de la ordeñadora y registrada en una base de datos para llevar el control y monitoreo. La composición de la leche fue analizada en un Ekomilk, generando datos de porcentaje de proteína, porcentaje de grasa, porcentaje de sólidos no grasos y densidad de la leche. De la misma manera, se analizaron los datos en consumo de materia seca y conversión alimenticia. Tras obtener los datos, se utilizó el programa estadístico SAS para obtener las medias y compararlas mediante la prueba de Tukey (tabla 9).

Tabla 9. Producción y composición de la leche por grupo

Tratamiento	Litros de leche	Proteína (%)	Grasa (%)	Sólidos no grasos (%)	Densidad	CMS (kg)	CA
Grupo 1	19,44 ^a	3,49 ^a	4,04 ^a	8,82 ^a	1,32 ^a	16,28 ^a	0,84 ^a
Grupo 2	13,85 ^b	3,44 ^a	3,34 ^b	8,74 ^a	1,32 ^a	15,38 ^b	1,11 ^b
EEM	1,688	0,110	0,615	0,306	0,008	0,000	0,092
<i>p</i>	< 0,001	0,4045	0,0291	0,5899	0,0686	< 0,001	< 0,001

Nota: ^{ab} Valores con distinta letra en un renglón son estadísticamente diferentes ($p \leq 0,05$). EEM = Error estándar de la media; CMS = Consumo de materia seca; CA = Conversión alimenticia.

Fuente: Elaboración propia

En las vacas del grupo 1, el porcentaje de grasa en la leche fue de 4,04 y, en las vacas del grupo 2, fue de 3,34 con un EEM de 0,615. Esto demuestra un mayor contenido de grasa en las vacas de alta producción, situación que podría relacionarse con el proceso de alimentación asociado al consumo de concentrado. El consumo alimenticio se estableció en un promedio de 16,28 kg de MS para vacas de alta producción y 15,38 kg de MS para bajas productoras, lo que evidencia una relación directa entre la producción y la alimentación.

Por otra parte, según National Research Council (2001), las vacas lecheras con un peso vivo promedio de 454 kg tienen un consumo de 16 kg de MS y necesitan una dieta con 15,1 % de proteína cruda. Para este estudio, el consumo de materia seca fue similar pero el porcentaje de proteína en la dieta del grupo 1 fue de 21 %, mientras que en el grupo 2 fue de 21,6 %. Esto demuestra un exceso de proteína cruda en ambos grupos y, muy probablemente, un exceso de energía en las vacas del grupo 2, debido a que su producción láctea es menor y demandan menor nivel de energía.

Una posible causa es el uso de maíz como base del concentrado. Mosavi et al. (2012) comprobaron que, al recurrir a diferentes tipos de almidones en la dieta de bovinos lecheros, con la utilización del maíz se obtuvo un incremento en los niveles de grasa. Al apoyarnos en los datos obtenidos por Mosavi et al. (2012) y Castro-Hernández et al. (2014), podríamos asumir que el aumento en los niveles de grasa del grupo 1 se debe al exceso de energía que es proporcionado en la dieta y al tipo de almidón utilizado.

Aplicación de la metodología multicriterio AHP

En consideración de los principales problemas asociados a los costos de alimentación que se desagregan del proceso de producción de leche en un sistema bovino semiespecializado, se diseñó un conjunto de estrategias para minimizar los costos asociados al sistema productivo. La definición de estrategias es la siguiente:

- i. *Primera estrategia.* Implementar un sistema de registro de control económico y producción de leche, para garantizar un manejo eficiente de los recursos y optimización en todas las áreas de la finca (x_1).
- ii. *Segunda estrategia.* Disminución del ensilado con el fin de incrementar los forrajes entre otros alimentos producidos en el campo, sin generar desequilibrios de la dieta en materia de energía, fibra y proteína a nivel del rumen (x_2).
- iii. *Tercera estrategia.* Diseñar diferentes dietas considerando distintos grupos de vacas, de tal manera que las raciones más económicas sean ofrecidas a las vacas de menor producción (x_3).
- iv. *Cuarta estrategia.* Disminución del uso de fertilizantes químicos para enriquecer el suelo, mediante la elaboración de abonos orgánicos con recursos naturales para la obtención del forraje (x_4).

Descripción de estrategias

Primera estrategia

La aplicación de herramientas contables en el manejo de los sistemas de producción lechera permite la construcción de indicadores de medición de la rentabilidad y genera un panorama financiero que facilita el control y la toma de decisiones (Posadas-Domínguez et al., 2014). Los objetivos que desea alcanzar toda organización se basan en el desarrollo, estabilidad y, evidentemente, la obtención de utilidades; para el logro de cada uno de los puntos establecidos, es necesario efectuar una distribución adecuada tanto de recursos financieros como humanos, tomando como base la información que se genera de los costos, que debe contener cada uno de los conceptos en los que se incurre en el desarrollo de la actividad, ya que son parte fundamental para la planeación y control económico.

Segunda estrategia

La reducción del uso del ensilado es un recurso de gran importancia que se puede emplear a la hora de minimizar los costos asociados a la alimentación bovina. Este proceso se debe realizar asegurando un acceso a los forrajes durante las horas de la tarde e, incluso, en las noches (Kismul et al., 2019). El acceso a las pasturas se puede realizar en horas restringidas, delimitando así este proceso y suministrando el concentrado en el resto del tiempo, lo que puede también aumentar la eficiencia del pastoreo (Kennedy et al., 2009). En este sentido, el proceso de pastoreo puede ser beneficioso durante el día (Spörndly et al., 2015); sin embargo, es aún más beneficioso durante las horas de la noche (Charlton et al., 2013). Ahora bien, se propone disminuir en un 50 % el ensilado suministrado a los animales (pasar de 10 kg a 5 kg) y esta proporción de alimento se aumenta en el consumo del forraje obteniendo una disminución del 29 % de los costos por día en los grupos de referencia.

Tercera estrategia

La calidad de la dieta que constituye el mejor uso de alimentos sugiere un aumento en la superioridad de las vacas y en la producción de leche (O'Sullivan et al., 2019). Por esta razón, en esta estrategia se propone la elaboración de diferentes dietas que incluyan ensilado, concentrados y forrajes suministrados conforme a una clasificación previa del ganado según su tasa actual de producción de leche. Así, se puede realizar una reducción de ensilado a 5 kg por grupo y aumentar la oferta forrajera por vaca en un 30 %. Con esto se logra una minimización de los costos de alimentación en USD 1,56 y USD 1,16, para los grupos 1 y 2 respectivamente. Esto significa un ahorro del 8 % para cada grupo.

Cuarta estrategia

El uso de fertilizantes sugiere un aumento de los ingresos agrícolas brutos al aumentar el rendimiento de pastos por hectárea (Macdonald et al., 2017). No obstante, la producción de forraje representa unos costos asociados a los usos de fertilizantes para el enriquecimiento del suelo que influyen positivamente en el aumento de los costos de obtención de la leche en los sistemas bovinos. En este sentido, se propone el uso de abono orgánico que, además de minimizar los costos de uso de fertilizantes, propone el uso sustentable de los recursos del campo, de manera que se minimice la degradación ambiental, siendo este uno de los enfoques que se debe emplear para apoyar el tránsito a la sustentabilidad mediante el buen manejo de los recursos naturales (Gavito et al., 2017). Los ahorros en costos con la utilización de abonos orgánicos pueden aproximarse hasta en un 60 % de los costos de fertilización. Esto sugiere que se reducen hasta en un 20 % de los costos de alimentación.

Paso a paso de la metodología

Pasos uno y dos

Una vez definidas las alternativas y los criterios de evaluación, se construye el árbol de jerarquías (figura 1), con el objetivo correspondiente a la minimización de los costos alimenticios asociados a los procesos de producción de leche.

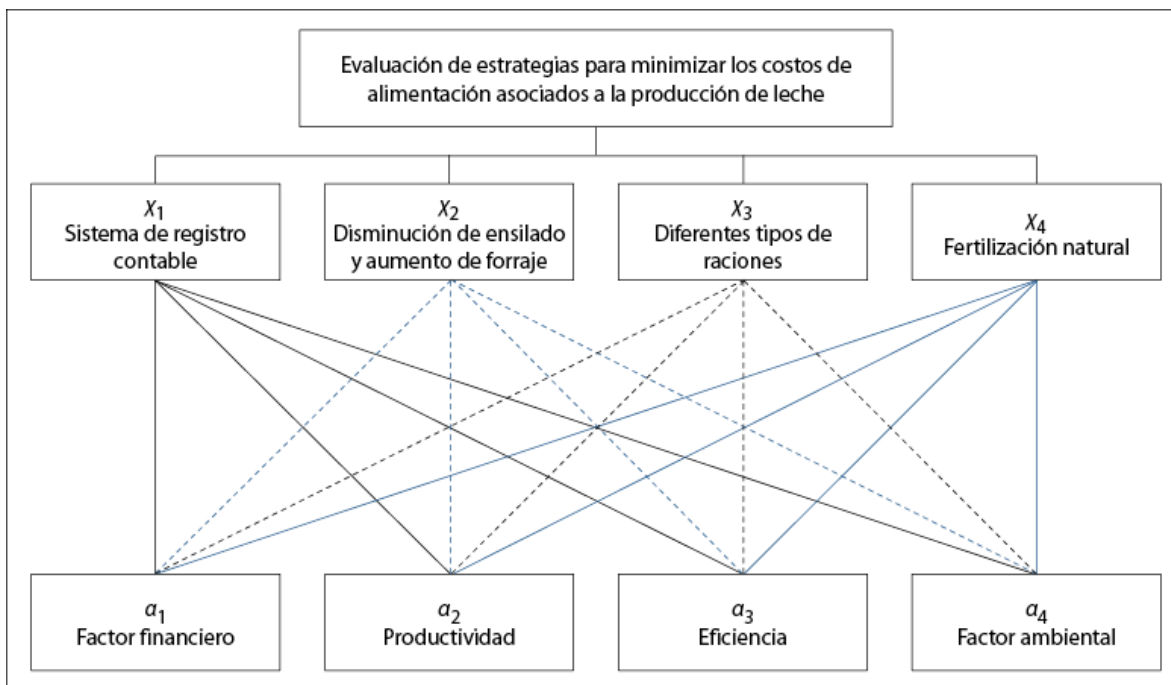


Figura 1. Árbol de jerarquías para la minimización de costos de alimentación asociados a la producción de leche

Fuente: Elaboración propia

Paso tres

Definidas las alternativas y los criterios, ordenamos y ponderamos el interés de cada uno de los criterios en la selección de las alternativas; el objetivo en este punto consiste en medir la importancia asignada por los decisores a cada uno de los criterios mediante la comparación de cada criterio o alternativa i con cada criterio o alternativa j , para lo cual se utiliza la escala de Saaty definida en la tabla 2, con la finalidad de calificar las preferencias relativas de los elementos. Cada número representa la proporción de la dominancia de un elemento con respecto a un criterio, en donde el elemento menor tiene el valor inverso respecto al mayor, lo que quiere decir que, si x corresponde a la cantidad de veces que un elemento presenta dominancia sobre otro elemento, entonces este último elemento es dominado x^{-1} veces, de tal modo que $x^{-1} \cdot x = x \cdot x^{-1} = 1$ (Benmouss et al., 2019).

Paso cuatro

La ponderación de los criterios permite realizar la valoración de las alternativas para el cálculo de prioridades. Ahora bien, se realiza la multiplicación de ambas matrices, en las que la matriz 4×1 representa la ponderación de los criterios y la matriz 4×4 la ponderación de las alternativas en función de los

criterios, teniendo como resultado la matriz 4×1 , que indica cuál es la secuencia de mejor alternativa relacionada con los criterios.

De acuerdo con la evaluación realizada a las diferentes alternativas, la más importante en función de los cuatro criterios evaluados fue la alternativa x_3 (diferentes tipos de dietas), que tiene una ponderación de 0,286. En segundo lugar, se encuentra la alternativa x_2 (disminución de concentrados aumentando pasturas) con una ponderación de 0,27. La alternativa x_1 (sistema de registro) se encuentra en el tercer lugar con una ponderación de 0,258. Por último, la alternativa x_4 (fertilización natural) se encuentra en cuarto lugar con una ponderación de 0,231 (tabla 10).

Tabla 10. Posición general de importancia de las alternativas evaluadas para la reducción de costos

	Alternativas				Criterios	Resultados
x_3	0,590	0,118	0,201	0,090	0,246	0,286
x_2	0,504	0,126	0,151	0,219	0,258	0,270
x_1	0,319	0,167	0,311	0,202	0,323	0,258
x_4	0,106	0,306	0,222	0,367	0,173	0,231

Fuente: Elaboración propia

Conclusiones

El análisis de los costos en los sistemas bovinos facilita el control y la administración para la toma de decisiones eficientes a nivel económico y productivo. Dentro de los costos de producción de este tipo de sistemas, los costos variables asociados a los insumos alimenticios representan un alto porcentaje; en este estudio, los costos de alimentación con base en forraje, ensilado y concentrado correspondieron al 20,3 % y 21,9 % del total del ingreso por venta de leche obtenida de vacas de alta y baja producción, respectivamente.

En el análisis económico de las variables se evidencia la participación de cada uno de los elementos que los conforman y su incidencia en los costos totales. Los costos de forraje están constituidos en un 36 % por la preparación del terreno, 54 % por la adquisición de semillas (alfalfa y ovillo) y, finalmente, un 10 % por la fertilización. Los costos para la elaboración del ensilado se conforman en un 10 % por la preparación del terreno, 15 % por compra de semillas (maíz inoculante), 15 % por fertilización, 5 % por riego, 16 % por cosecha, 26 % por reparación del silo, y otros gastos que completan el 100 %. Finalmente, los costos de concentrado se establecen con base en los componentes que hacen parte de su elaboración y el porcentaje de participación: 42 % en maíz rolado, 24 % en gluten, 20 % en sorgo molido, 7 % en grasa de sobrepaso, 4 % en minerales y 3 % en melaza. En este sentido, los costos de alimentación por kilogramo, en términos de forraje, ensilado y concentrado, participan en un 8,33 %, 12,82 % y 81,25 %, respectivamente.

Por otra parte, el consumo y la conversión alimenticia se relacionan con la producción láctea. Un mayor consumo de materia seca permite una mayor producción, debido a que se cubren los requerimientos energéticos de las vacas. Para este caso, el grupo de altas productoras con producción de 19,44 L/día por vaca consumieron 16,28 kg de MS en promedio, mientras que el grupo de bajas productoras con producción de 13,85 L/día consumieron 15,38 kg de MS en promedio. La conversión alimenticia es afectada por la producción de leche y los kilogramos de MS ingeridos. Las vacas altas productoras necesitan un menor consumo de alimento para producir 1 L de leche, haciéndolas más rentables en la explotación comparadas con las bajas productoras. La conversión se registró en 0,84 para vacas altas productoras y 1,11 en bajas productoras.

Como resultado de la aplicación de la metodología de AHP para el diseño de las estrategias que permiten la reducción de los costos alimenticios, se ha encontrado que la prioridad general más alta se ha alcanzado por la alternativa x_3 , denominada *diferentes tipos de dietas*. Esto significa que esta alternativa es la más eficiente de las cuatro propuestas con referencia a los criterios evaluados, al momento de reducir los costos de alimentación. Los ahorros que pueden alcanzarse con la implementación de esta estrategia alcanzan hasta los USD 444 anuales bajo las condiciones de este estudio.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Programa Delfín en el marco del XXIV Verano de la Investigación Científica y Tecnológica del Pacífico, por su apoyo en las actividades de movilidad académicas para contribuir al impacto científico. Adicionalmente, al Departamento de Zootecnia de la Universidad Autónoma Chapingo, por el espacio y recursos brindados para el proceso investigativo.

Descargos de responsabilidad

Todos los autores realizaron aportes significativos al documento, están de acuerdo con su publicación y manifiestan que no existen conflictos de interés en este estudio.

Referencias

- Albarrán-Portillo, B., López-González, F., Ruiz-Albarrán, M., & Arriaga-Jordán, C. M. (2019). Respuesta productiva y económica a la suplementación con concentrados de vacas lecheras en pastoreo con alta carga animal. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 10(4), 855-69. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v10i4.4787>
- Baffoe, G. (2019). Exploring the utility of Analytic Hierarchy Process (AHP) in ranking livelihood activities for effective and sustainable rural development interventions in developing countries. *Evaluation and Program Planning*, 72, 197-204. <https://doi.org/10.1016/j.evalprogplan.2018.10.017>

- Benmouss, K., Laaziri, M., Khouliji, S., Kerkeb, M. L., & El Yamami, A. (2019). AHP-based approach for evaluating ergonomic criteria. *Procedia Manufacturing*, 32, 856-863. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.02.294>
- Botero, L., & Rodríguez, D. (2006). Costo de producción de un litro de leche en una ganadería del sistema doble propósito, Magangué, Bolívar. *Revista MVZ Córdoba*, 11(2), 806-815. <https://doi.org/10.21897/rmvz.444>
- Cámara Nacional de Industriales de la Leche (Canilec). (2018). *Estadísticas del sector lácteo 2010-2017*. <https://www.canilec.org.mx/estadisticas-lacteos-2010-2017.pdf>
- Castro-Hernández, H., González-Martínez, F. F., Domínguez-Vara, I. A., Pinos-Rodríguez, J. M., Morales-Almaráz, E., & Vieyra-Alberto, R. (2014). Effect of level of concentrate on milk fatty acid profile from grazing Holstein cows. *Agrociencia*, 48(8), 765-775. <http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v48n8/v48n8a1.pdf>
- Charlton, G. L., Rutter, S. M., East, M., & Sinclair, L. A. (2013). The motivation of dairy cows for access to pasture. *Journal of Dairy Science*, 96(7), 4387-4396. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-6421>
- Domínguez, R., Martínez, J., Juárez, N. C., Fuentes, G., Haro, J., Jordán, C., & Castañeda, F. (2014). Análisis de costos y estrategias productivas en la lechería de pequeña escala en el periodo 2000-2012. *Contaduría y Administración*, 59(2), 253-275. [https://doi.org/10.1016/s0186-1042\(14\)71262-8](https://doi.org/10.1016/s0186-1042(14)71262-8)
- Gamboa-Mena, J., Magaña-Magaña, M., Rejón-Ávila, M., & Pech-Martínez, V. (2005). Eficiencia económica de los sistemas de producción de carne bovina en el municipio de tizimín, Yucatán, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 5(2), 79-84. <https://www.redalyc.org/pdf/939/93950205.pdf>
- Gavito, M. E., van der Wal, H., Aldasoro, E. M., Ayala-Orozco, B., Bullén, A. A., Cach-Pérez, M., Casas-Fernández, A., Fuentes, A., González-Esquivel, C., Jaramillo-López, P., Martínez, P., Masera-Cerruti, Ó., Pascual, F., Pérez-Salicip, D. R., Robles, R., Ruiz-Mercado, I., & Villanueva, G. (2017). Ecología, tecnología e innovación para la sustentabilidad: retos y perspectivas en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 88, 150-160. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2017.09.001>
- Gómez-Osorio, L. M., Posada-Ochoa, S. L., Olivera-Ángel, M., Rosero-Noguera, R., & Aguirre-Martínez, P. (2017). Análisis de rentabilidad de la producción de leche de acuerdo con la variación de la fuente de carbohidrato utilizada en el suplemento de vacas holstein. *Revista de Medicina Veterinaria*, 1(34), 9-22. <https://doi.org/10.19052/mv.4251>
- Granados, L., Quiroz, J., Barrón, M., Cruz, C., & Jiménez, M. M. (2011). Costo de producción del litro de leche y carne en un sistema de lechería de doble propósito. *Actas Iberoamericanas de Conservación Animal*, 1, 424-427.
- Hernández-Martínez, J., Rebollar-Rebollar, S., Gonzáles-Razo, F., Guzmán-Soria, E., Albarrán-Portillo, B., & García-Martínez, A. (2011). Beef cattle production chain in the south of Mexico State. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 29, 672-680.
- Hernández-Martínez, J., Rebollar-Rebollar, A., Mondragón-Ancelmo, J., Guzmán-Soria, E., & Rebollar-Rebollar, S. (2016). Costs and competitiveness in the production of beef cattle in feedlot in the south of the State of Mexico. *Investigación y Ciencia*, 24(69), 13-20.
- Kennedy, E., McEvoy, M., Murphy, J. P., & O'Donovan, M. (2009). Effect of restricted access time to pasture on dairy cow milk production, grazing behavior, and dry matter intake. *Journal of Dairy Science*, 92(1), 168-176. <https://doi.org/10.3168/jds.2008-1091>

- Kismul, H., Spörndly, E., Höglind, M., & Eriksson, T. (2019). Nighttime pasture access: Comparing the effect of production pasture and exercise paddock on milk production and cow behavior in an automatic milking system. *Journal of Dairy Science*, *102*(11), 10423-10438. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16416>
- Li, S., Knights, P., & Dunn, D. (2008). Geological uncertainty and risk: implications for the viability of mining projects. *Journal of Coal Science and Engineering (China)*, *14*(2), 176-180. <https://doi.org/10.1007/s12404-008-0036-y>
- Loera, J., & Banda, J. (2017). Industria lechera en México: parámetros de la producción de leche y abasto del mercado interno. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, *19*(4), 419-426. <https://doi.org/10.18271/ria.2017.317>
- Macdonald, K. A., Penno, J. W., Lancaster, J. A. S., Bryant, A. M., Kidd, J. M., & Roche, J. R. (2017). Production and economic responses to intensification of pasture-based dairy production systems. *Journal of Dairy Science*, *100*(8), 6602-6619. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-12497>
- Martínez, M., Mora, J., & Téllez, R. (2015). Precio de ganado en pie y precio de insumos en la producción de carne bovino. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, *6*(2015), 1689-1694. <https://doi.org/10.29312/remexca.v6i7.562>
- Montaldo, H. H., Núñez-Soto, S. G., Ruiz-López, F. J., & Castillo-Juárez, H. (2009). Selection response for milk production in conventional production systems in Mexico, using genetic evaluations of Holstein sires from Canada and the United States. *Journal of Dairy Science*, *92*(10), 5270-5275. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2145>
- Mosavi, G. H. R., Fatahnia, F., Mirzaei Alamouti, H. R., Mehrabi, A. A., & Darmani Kohi, H. (2012). Effect of dietary starch source on milk production and composition of lactating Holstein cows. *South African Journal of Animal Sciences*, *42*(3), 201-209. <https://doi.org/10.4314/sajas.v42i3.1>
- National Research Council. (2001). *Nutrient Requirements of Dairy Cattle: Seventh Revised Edition, 2001*. The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/9825>
- Oficina Económica y Comercial de España en México. (2016). *Informe económico y comercial*. <http://www.comercio.gob.es/tmpDocsCanalPais/0ADA6C5AD08A3760B9C057FD18B19082.pdf>
- O'Sullivan, M., Horan, B., Pierce, K. M., McParland, S., O'Sullivan, K., & Buckley, F. (2019). Milk production of Holstein-Friesian cows of divergent Economic Breeding Index evaluated under seasonal pasture-based management. *Journal of Dairy Science*, *102*(3), 2560-2577. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15559>
- Organization for Economic Cooperation and Development (OECD). (2018). Lácteos y sus productos. En OECD publishing (Ed.), *OCDE-FAO Perspectivas Agrícolas 2017-2026* (pp. 1-12). OECD. https://doi.org/10.1787/agr_outlook-2017-11-es
- Posadas-Domínguez, R. R., Salinas-Martínez, J. A., Callejas-Juárez, N., Álvarez-Fuentes, G., Herrera-Haro, J., Arriaga-Jordán, C. M., & Martínez-Castañeda, F. E. (2014). Cost analysis and productive strategies in small-scale dairy systems in the period 2000-2012. *Contaduría y Administración*, *59*(2), 253-275. [https://doi.org/10.1016/S0186-1042\(14\)71262-8](https://doi.org/10.1016/S0186-1042(14)71262-8)

- Ramírez, M. M., Hernández, O., Améndola, R. D., Mendoza, G. D., Ramírez, E. J., & Burgueño, J. A. (2011). Respuesta productiva de vacas lecheras en pastoreo al maíz fresco picado como suplemento. *Archivos de Zootecnia*, 60(231), 647-657. <http://dx.doi.org/10.4321/S0004-05922011000300053>
- Ranck, E. J., Holden, L. A., Dillon, J. A., Rotz, C. A., & Soder, K. J. (2020). Economic and environmental effects of double cropping winter annuals and corn using the Integrated Farm System Model. *Journal of Dairy Science*, 103(4), 3804-3815. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17525>
- Saaty T. L. (1988). What is the Analytic Hierarchy Process? En G. Mitra, H. J. Greenberg, F. A. Lootsma, M. J. Rijkaert, & H. J. Zimmermann (Eds.), *Mathematical Models for Decision Support* (pp. 109-121). Springer.
- Sabaei, D., Erkoyuncu, J., & Roy, R. (2015). A review of multi-criteria decision-making methods for enhanced maintenance delivery. *Procedia CIRP*, 37, 30-35. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.08.086>
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2018). *Panorama de la leche en México*. <http://infosiap.siap.gob.mx/opt/boletlech/Panorama%20de%20Leche%20octubre-diciembre%202018.pdf>
- Shonka-Martin, B. N., Heins, B. J., & Hansen, L. B. (2019). Three-breed rotational crossbreds of Montbéliarde, Viking Red, and Holstein compared with Holstein cows for feed efficiency, income over feed cost, and residual feed intake. *Journal of Dairy Science*, 102(4), 3661-3673. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15682>
- Spörndly, E., Andersson, S., Pavard, N., & Le Goc, S. (2015). Production pasture versus exercise and recreation pasture for cows in automatic milking systems. *Grassland and Forages in High Output Dairy Farming Systems. Proceedings of the 18th Symposium of the European Grassland Federation*, Wageningen, The Netherlands, 15-17 June 2015, 20, 125-127.
- Van Soest, P. J., Robertson, J. B., & Lewis, B. A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74(10), 3583-3597. [https://doi.org/10.3168/JDS.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/JDS.S0022-0302(91)78551-2)
- Wolnowska, A. E., & Konicki, W. (2019). Multi-criterial analysis of oversize cargo transport through the city, using the AHP method. *Transportation Research Procedia*, 39(2018), 614-623. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2019.06.063>
- Wu, Y., Liang, D., Shaver, R. D., & Cabrera, V. E. (2019). An income over feed cost nutritional grouping strategy. *Journal of Dairy Science*, 102(5), 4682-4693. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15302>