



Tipificación de unidades de producción de ganado bovino en función del manejo y uso de insumos alimenticios disponibles en sistemas de doble propósito †

[Typification of livestock production units based on the management and use of available feed inputs in dual-purpose systems]

Cynthia Angélica Aguirre-Sánchez, Benito Albarrán-Portillo, Sherezada Esparza-Jiménez and Anastacio García-Martínez*

Centro Universitario UAEM Temascaltepec. Carretera Toluca-Tejupilco. km 67.5 Barrio de Santiago. C. P. 51300. Temascaltepec de González. Estado de México, México. Tel. 7162665138/2665171. Email: aguirres.caas@gmail.com, balbarranp@gmail.com, sesparzaj@uaemex.mx, angama.agm@gmail.com*

*Corresponding author

SUMMARY

Background: The southern part of the State of Mexico is known for its livestock farming and milk production. However, a key issue in these areas is livestock feed, which represents the highest production cost, and seasonal forage production. In this regard, the relevance of using feeding strategies is determined by agroclimatic conditions. **Objective:** To typify dual-purpose (DP) livestock production units based on management practices and the use of available feed inputs. The study was conducted in four municipalities in the southern part of the state of Mexico, based on the monitoring of 213 production units (PU). **Methodology:** The information was analyzed using multivariate statistics: a Principal Component Analysis (PCA) to standardize the information and a Cluster Analysis (CA) to classify the PUs. **Results:** The PCA yielded a Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) sample adequacy measure of 0.608, with a Bartlett chi-square test of 1367.419 ($P < 0.05$) and four components that explained 74.23% of the total variance of the model. The CA yielded four groups defined as: supplements for cows (G1SC), semi-intensive (G2SI), supplements for fattening (G3SF) and traditional (G4T). G1SC was the smallest group with the largest herds and extensive areas. G2SI grouped the largest number of PUs and was characterized by cattle being fed in stables for most of the year. G3SF consisted of PUs with medium-sized areas and herds, which fatten animals. G4T was characterized by PUs with small herds and reduced areas where cattle graze all year round. **Implications:** Agroclimatic conditions and topography play a significant role in seasonality and forage production, as well as in producers' decisions regarding the inputs used to feed livestock, which is reflected in the orientation of livestock production. **Conclusion:** The typology obtained is fundamental for planning feeding strategies, depending on the time of year and the inputs available in the UPs, which may vary according to the management system.

Key words: management; feeding; classification; dual purpose; tropics.

RESUMEN

Antecedentes: El sur del Estado de México destaca por su carácter ganadero y la producción de leche. Sin embargo, un punto fundamental en estas zonas es la alimentación del ganado que supone el mayor costo de producción y la producción estacional de forraje. En este sentido, la pertinencia de utilizar estrategias de alimentación está determinada por las condiciones agroclimáticas. **Objetivo:** tipificar unidades de producción de ganado de doble propósito (DP) en función del manejo y uso de insumos disponibles para su alimentación. **Metodología:** El estudio se desarrolló en cuatro municipios del sur de estado de México, a partir del seguimiento de 213 unidades de producción (UP). La información se analizó mediante estadística multivariada; un Análisis Factorial por Componentes Principales (ACP) para estandarizar información y un Análisis Clúster (AC) para tipificar UP. **Resultados:** Del ACP se obtuvo una medida de adecuación muestral de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) de 0.608, con una prueba de Bartlett-chi cuadrado de 1367.419

† Submitted July 18, 2025 – Accepted December 24, 2025. <http://doi.org/10.56369/tsaes.6460>



Copyright © the authors. Work licensed under a CC-BY 4.0 License. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

ISSN: 1870-0462.

ORCID = C.A. Aguirre-Sánchez: <http://orcid.org/0009-0006-6560-6929>; B. Albarrán-Portillo: <http://orcid.org/0000-0001-9807-8452>; S. Esparza-Jiménez: <http://orcid.org/0000-0003-4413-7079>; A. García-Martínez: <http://orcid.org/0000-0001-8021-5412>

($P < 0.05$) y cuatro componentes que explicaron 74.23% de la varianza total del modelo. Del AC se obtuvieron cuatro grupos definidos como: suplementos para vacas (G1SV), DP semi-intensivo (G2SI), suplementos para engorda (G3SE) y tradicional (G4T). El G1SV fue el grupo más pequeño con los hatos más grandes y extensas superficies. El G2SI agrupó mayor cantidad de UP y se caracterizó por la alimentación del ganado en estabulación gran parte del año. El G3SE se integró por UP con superficies y hatos de tamaño medio, que engordan animales. El G4T se caracterizó por UP con hatos pequeños y superficie reducida en la que el ganado pastoreo todo el año. **Implicaciones:** las condiciones agroclimáticas y la topografía juegan un importante papel en estacionalidad y en la producción de forraje, así como en la toma de decisiones de los productores, sobre los insumos utilizados para la alimentación del ganado, lo que se ve reflejado en la orientación de la producción ganadera. **Conclusión:** La tipología obtenida es fundamental para la planificación de estrategias de alimentación, en función de la época del año y de los insumos disponibles en las UP, mismas que pueden tener variaciones de acuerdo con el sistema de manejo.

Palabras clave: manejo; alimentación; tipificación; doble propósito; trópico.

INTRODUCCIÓN

En el sur del estado de México, la producción de ganado bovino de doble propósito es una actividad clave para el sustento económico de las familias rurales y el desarrollo de las comunidades locales (Vences-Pérez *et al.*, 2021). Esta región, caracterizada por su diversidad climática y superficies accidentadas, presenta desafíos específicos que influyen directamente en las prácticas de alimentación del ganado. En este sentido, la nutrición adecuada de los bovinos es esencial para maximizar la productividad en sistemas de ganado de doble propósito, ya que incide tanto en el rendimiento de la producción de leche y carne, aspectos clave para la rentabilidad de las UP ganaderas (García-Martínez *et al.*, 2017). Las estrategias de alimentación en esta zona dependen de factores como la disponibilidad estacional de forrajes, las características del suelo y el clima, así como a las condiciones socioeconómicas de los productores (Albarrán-Portillo *et al.*, 2018b). En muchas de estas UP, manejadas por pequeños y medianos ganaderos se enfrentan a limitaciones de recursos financieros, aunque esta situación no necesariamente restringe el uso de suplementos comerciales o la compra de insumos externos en general. Por lo tanto, es fundamental que las estrategias de alimentación se basen en un manejo eficiente de los recursos locales, como el aprovechamiento de pastizales, arbustos y árboles nativos (Nájera-Garduño *et al.*, 2016). Asimismo, una estrategia alimentaria diseñada apropiadamente debe combinar diversas fuentes de nutrientes para cubrir las necesidades energéticas, proteicas y vitamínicas del ganado (Rojo-Rubio *et al.*, 2013). Esto puede incluir el uso de pastizales mediante pastoreo rotacional, la implementación de sistemas silvopastoriles o agrosilvopastoriles, así como la suplementación o complementación estratégica en la época de estiaje donde se observa mayor escasez de alimento para el ganado. El manejo del pastoreo es particularmente importante, ya que un sistema adecuado de rotación de potreros permite optimizar el uso del forraje y prevenir la degradación del suelo, a la

vez que mejora la disponibilidad de alimento a lo largo de un año productivo (Vences-Pérez *et al.*, 2015). El pastoreo del ganado es principalmente en superficies con pastos nativos e introducidos como llanero (*Andropogon gallanus*) y estrella africana (*Cynodon plectostachyus*), arbustos y árboles forrajeros como el pinzan (*Pithecellobium dulce*), palo Brasil (*Caesalpinia echinata* o *Paubrasilia echinata*), guaje (*Leucaena leucocephala*) principalmente, aunque se llegan a contabilizar más de 80 especies en la región (González *et al.*, 2007). La incorporación de suplementos para lograr sustituir alguna deficiencia dietética o complementos para ayudar a reforzar los niveles de nutrientes que puedan llegar a faltar en la dieta diaria y en el animal, es fundamental especialmente durante los periodos críticos de sequía o baja disponibilidad de pasto, en los cuales los animales no cubren sus requerimientos nutricionales solo con el forraje aprovechable. Este manejo de suplementación o complementación debe estar basada en las necesidades productivas del ganado, ajustando la cantidad y tipo, en función de la etapa de producción o estado fisiológico, ya sea para mantener un buen nivel de producción de leche o para asegurar un adecuado crecimiento y engorde de los animales destinados a la producción de carne (Esparza-Jiménez *et al.*, 2021). La diversidad en las prácticas de manejo, especialmente en la alimentación, complica la identificación de necesidades específicas y la formulación de recomendaciones acordes al funcionamiento real de cada sistema. La alimentación es el componente que mayor impacto tiene en la productividad, el costo de producción y el aprovechamiento de recursos; por ello, tipificar en función de estas prácticas permite identificar patrones relevantes para orientar recomendaciones y acciones de mejora adecuadas. En función de lo anterior, el objetivo de este trabajo fue tipificar unidades de producción en función del manejo alimenticio que practican los ganaderos en el suroeste del estado de México considerando el manejo del ganado, los insumos externos y los recursos disponibles en las UP y las condiciones agroclimáticas durante un año productivo para la planificación de la

alimentación del ganado en función de la orientación productiva.

METODOLOGÍA

Área de estudio

El estudio se desarrolló en los municipios de Amatepec, Tejupilco, Tlatlaya y Zacazonapan, ubicados en la región suroeste del Estado de México (Figura 1), entre las coordenadas 18° 21' y 19° 34' N y 99° 16' y 100° 36' O y localizados entre 1,300 (Zacazonapan y Tejupilco) y 1,850 msnm (Amatepec y Tlatlaya). Las temperaturas más altas (23.5 °C y 25 °C) se registran en los municipios de Tlatlaya y Amatepec, mientras que en Tejupilco y Zacazonapan la temperatura varía de 18.5 °C a 23.5 °C. La precipitación anual en la región promedia 1,450 mm (GEM, 2024). En función de estas características el clima predominante es tropical subhúmedo (Aw) con lluvias en verano; Zacazonapan con humedad media/seco y Amatepec, Tejupilco y Tlatlaya con humedad baja/muy seco (INEGI, 2021). Estos municipios son considerados ganaderos, cuya actividad se desarrolla en una topografía accidentada y se caracteriza por la presencia de pastizales naturales y praderas introducidas e inducidas, arbustos y árboles para la alimentación del ganado, que se complementa con algunos cultivos agrícolas, principalmente maíz (García-Martínez *et al.*, 2017).

Análisis de la información

Tamaño de la muestra

Para la obtención de la muestra, se realizó un muestreo aleatorio considerando las unidades de producción (UP) registradas en los censos ganaderos de las

Asociaciones Ganaderas locales del sur del estado de México, siguiendo las indicaciones de Hernández-Sampieri *et al.* (2004) en función de la fórmula: $n = \frac{N}{1 + (N \times 0.1^2)}$. Donde: n = tamaño de la muestra; N = tamaño de la población y 0.1² = error estándar determinado por el investigador. En este tenor, se dio seguimiento a 213 UP, a partir de 2008 y hasta 2024. Del total de UP consideradas 50 pertenecen a Amatepec, 55 a Tejupilco, 61 a Tlatlaya y 47 a Zacazonapan.

Tipología de unidades de producción

La tipología de las estrategias de alimentación se estableció de la siguiente manera: se realizó un análisis Factorial por el método de Componentes Principales (ACP) para condensar la información derivada de las variables originales (Serrano, 2002 y Hair *et al.*, 2006). Para este análisis se utilizaron 12 variables relacionadas con la estructura, manejo y alimentación del ganado en las UP, las cuales fueron: i. número de vacas, ii. superficie total (ha), iii. pastoreo (días), iv. estabulación (días), v. % de UP que compra de animales para engordar (UP), vi. número de insumos alimenticios para la engorda, vii. número de terneros vendidos (cabezas), viii. utilización de concentrados comerciales (kg), ix, utilización de maíz (kg), x. utilización de paja (número de pacas), xi. número de insumos alimenticios para vacas y xii utilización de sales minerales (kg). Posteriormente se realizó un Análisis Clúster (AC) utilizando las coordenadas de los cuatro primeros factores obtenidos del ACP a través del método de Ward y distancia euclídea al cuadrado (Guisande *et al.*, 2006) para la agrupación de las UP e identificación de las estrategias de alimentación, a un corte de 200 de acuerdo el gráfico de amalgamación.

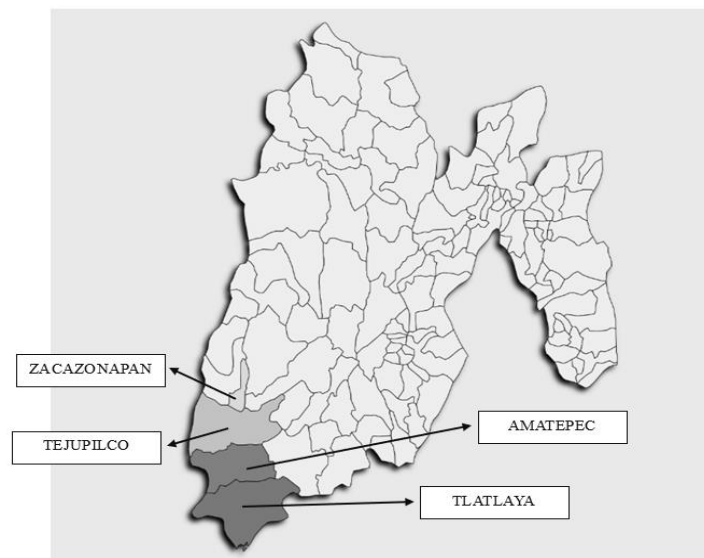


Figura 1. Localización de los municipios en estudio. Fuente: Elaboración propia, 2025.

Además, se utilizaron 46 variables complementarias que apoyaron y mejoraron la explicación de los grupos obtenidos. A continuación, todas las variables se compararon mediante un análisis de varianza ($p < 0.05$) a partir del modelo general lineal en el programa SPSS 20. Y finalmente una prueba de Tukey para encontrar diferencias entre grupos ($p < 0.05$). Las variables que no presentaron distribución normal fueron analizadas mediante la prueba de Kruskal-Wallis ($p < 0.05$).

RESULTADOS**Análisis Factorial por componentes principales (ACP)**

Del ACP se obtuvieron cuatro factores con valor propio > 1 que explicaron más de 70.0% de la varianza total, como se muestra en el Tabla 1. Los parámetros de ajuste del modelo fueron los siguientes; la prueba de la medida de adecuación muestral de Kaiser-Meyer-Olkin (MKO) fue de 0.680 y la prueba de esfericidad de Bartlett Chi cuadrado de 1367.41 ($p < 0.000$). En la misma Tabla, se muestran las cargas factoriales que evidencian la correlación de las variables originales sobre los nuevos factores.

El factor 1 fue la expresión positiva entre el uso de concentrados comerciales, maíz y paja en pacas para suplementar la alimentación de los animales. Es decir, “mayor uso de insumos externos”.

El factor 2 fue la expresión positiva del número de vacas y terneros vendidos, el tamaño de la superficie expresado en hectáreas y un mayor uso de minerales para la suplementación de los animales. Es decir, el factor se relaciona con la “mayor dimensión y especialización en la actividad ganadera”.

El factor 3 fue la expresión negativa entre el pastoreo y la estabulación y mayor uso de insumos en la alimentación de los animales. Es decir, “mayor tiempo de estabulación y suplementación para los animales”.

El factor 4 fue la expresión positiva entre engorda y número de insumos para la alimentación de los animales. Es decir, la especialización en la “engorda de animales” con insumos externos.

Tipificación de UP mediante análisis clúster (AC)

Del AC jerárquico se obtuvieron cuatro grupos a una distancia y corte de 200 como se muestra en la Figura 2. Con base a las variables utilizadas sobre manejo y alimentación del ganado, se identificaron cuatro grupos de UP de DP en el sur del Estado de México, los cuales fueron denominados: grupo 1; suplementos para vacas, grupo 2; semi-intensivo, grupo 3; suplementos para engorda y grupo 4; tradicional, mismos que para la explicación de los resultados se denominaron G1SV, G2SI, G3SE y G4T.

Tabla 1. Coeficiente de correlación de variables con los cuatro primeros factores del Análisis por Componentes Principales.

Variable	Factores			
	1. Uso de insumos externos	2. dimensión y especialización	3. estabulación y diversidad de suplementos	4. engorda de ganado
Número de vacas	0.165	0.882	0.022	0.058
Superficie total (ha)	0.095	0.699	0.103	0.055
Pastoreo (días)	0.060	0.027	-0.915	0.037
Estabulación (días)	0.085	-0.115	0.884	-0.096
% UP que compra de animales para engordar	0.076	0.107	-0.026	0.952
Número de insumos alimenticios para engorda§	0.115	0.091	-0.019	0.951
Número de terneros vendidos (cabezas)	-0.037	0.752	-0.066	0.069
Concentrados comerciales (kg)	0.907	0.161	0.153	0.099
Maíz (kg)	0.941	0.014	-0.015	0.133
Paja (número de pacas)	0.880	-0.042	-0.086	-0.004
Número de insumos alimenticios para vacas§	-0.099	0.199	0.594	0.071
Sales minerales (kg)	-0.075	0.722	0.022	0.053
Valor propio	2.566	2.455	2.019	1.867
% de la varianza explicada	21.387	20.462	16.827	15.562
% acumulado	21.387	41.849	58.676	74.238

Método de extracción: Análisis de componentes principales. Método de rotación: Normalización Varimax con káiser. La rotación ha convergido en 5 interacciones). § La dieta puede incluir maíz, heno, silo, paja, concentrado comercial, concentrado comercial pre y post parto, sales minerales, bloques nutricionales, entre otros.

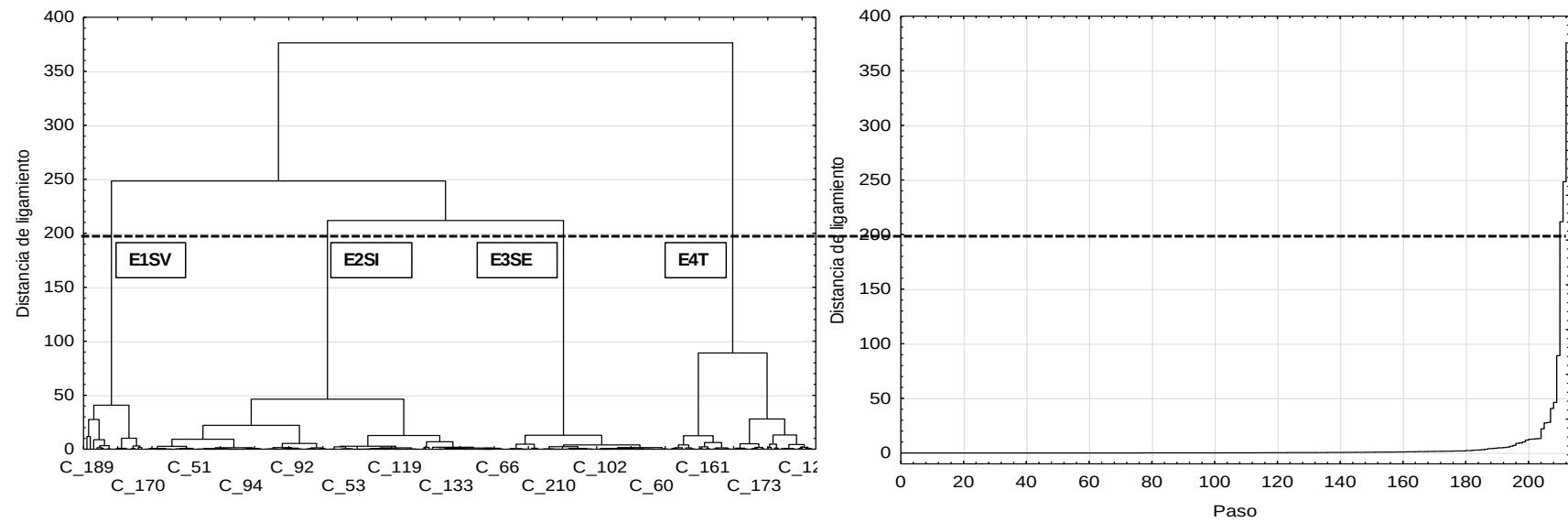


Figura 2. Dendrograma de la tipología de unidades de producción de ganado de doble propósito en el sur del Estado de México. G1SV = Grupo 1 suplementos para vacas, G2SI = Grupo 2 Semi-intensivo, G3SE = Grupo 3 Suplementos para engorda, G4T = Grupo 4 Tradicional.

Con relación en lo anterior, las variables en el Tabla 2, se muestran las variables de estructura. En la mayoría se observaron diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$). Solo en las variables venta de leche (L/año) y queso (Kg/año), no se mostraron diferencias ($p > 0.05$). En promedio 35% de las UP analizadas se dedican a esta actividad, como se muestra en la Figura 3. El grupo G1SV presentó hatos grandes y mayor superficie, por lo tanto, mayor superficie destinada al pastoreo y cultivos agrícolas, sobre todo maíz. En

contraste, los grupos G4T y G2SI tuvieron un número significativamente menor número de vacas y de superficies ($p < 0.05$). El G1SV también presentó el mayor número de terneros vendidos ($P < 0.05$). Sin embargo, G3SE tuvo mayor especialización en la engorda de animales ($p < 0.05$), incluso se caracteriza por la compra de animales y un elevado porcentaje de las UP ($p < 0.05$) que se dedican a esta actividad (Figura 3).

Tabla 2. Medias de las variables de estructura de las unidades de producción de ganado de doble propósito del sur del Estado de México de acuerdo con la tipología.

Variable	G1SV n=17	G2SI n=106	G3SE n=42	G4T n=48	Promedio n = 213	EEM	P
Superficie total (ha)†	205.76 ^b	40.20 ^a	69.44 ^a	37.05 ^a	58.47	6.48	0.000**
Ha de superficie con pastos	171.88 ^b	31.48 ^a	48.37 ^a	29.52 ^a	45.57	5.91	0.000**
Ha de pastos solo para pastoreo	45.00 ^b	16.17 ^a	27.95 ^a	15.99 ^a	20.76	1.98	0.000**
Ha de cultivos agrícolas	10.94 ^b	4.96 ^a	9.13 ^{ab}	4.61 ^a	6.18	8.28	0.001*
Ha cultivadas con maíz	10.88 ^b	4.834 ^a	9.05 ^{ab}	4.30 ^a	6.03	0.57	0.001*
Número de vacas†	63.58 ^c	14.79 ^a	23.07 ^b	14.79 ^a	20.32	1.28	0.000**
Número de terneros vendidos (cabezas)†	21.29 ^b	3.85 ^a	6.74 ^a	4.91 ^a	6.05	0.51	0.000**
No. de terneros engordados propios	2.64 ^b	0.0 ^a	5.381 ^c	0.0 ^a	1.272	0.29	0.000**
No. de terneros engordados comprados	2.353 ^a	0.0 ^a	10.36 ^b	0.0 ^a	2.23	0.72	0.000**
No. total de terneros engordados	5.00 ^a	0.0 ^a	15.74 ^b	0.0 ^a	3.502	0.88	0.000**
% UP que compra de animales para engordar†!!	5.00 ^a	0.00 ^a	43.00 ^b	0.00 ^a	0.09	2.00	0.000**
Venta de leche (L/año)	2.77	1.41	5.03	3.19	2.63	0.52	0.062 ^{ns}
Venta de queso (Kg/año)	60.49	43.49	63.00	80.38	57.01	14.95	0.805 ^{ns}

† variables utilizadas en el modelo multivariado. *literales ^{a,b,c} dentro de la misma fila indican diferencias significativas ($p < 0.05$). ^{ns} = no significativo ($p > 0.05$). !!En Esta variable 1 = si y 0 = no. § La dieta puede incluir maíz, heno, silo, paja, concentrado comercial, concentrado comercial pre y post parto, sales minerales, bloques nutricionales, entre otros. G1SV = Grupo 1 Suplementos para vacas, G2SI = Grupo 2 Semi-intensivo, G3SE = Grupo 3 Suplementos para engorda, G4T = Grupo 4 Tradicional.

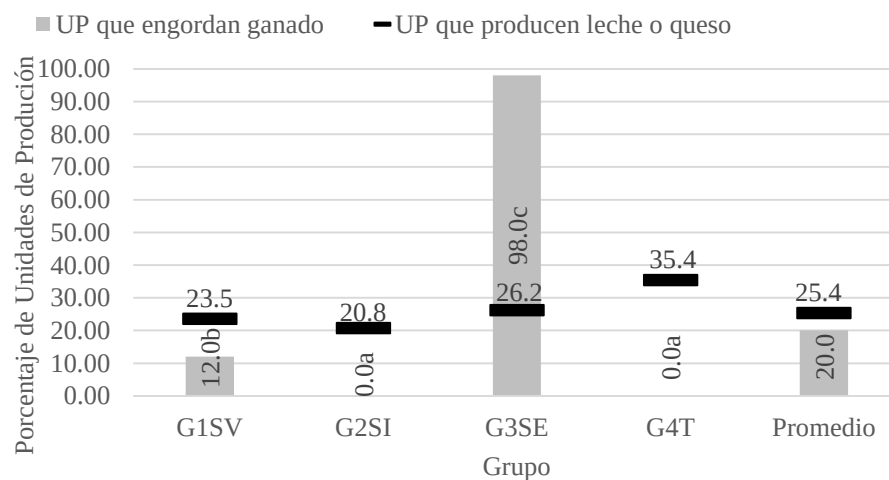


Figura 3. Porcentaje de unidades de producción de doble propósito que producen leche o engordan ganado en el sur del Estado de México de acuerdo con la tipología. Literales ^{a, b y c} en las barras, son diferentes entre sí ($p < 0.05$). G1SV = Grupo 1 Suplementos para vacas, G2SI = Grupo 2 Semi-intensivo, G3SE = Grupo 3 Suplementos para engorda, G4T = Grupo 4 Tradicional. Barras y líneas en la Figura son independientes.

En el Tabla 3, se muestran las variables relacionadas con el uso de insumos alimenticios para vacas, para animales en engorda o los que se utilizan para todo el ganado. Se observó que en las variables: i. ensilado para vacas, ii. bloques de minerales para vacas, iii. bloques de minerales para todo el ganado y porcentaje de ganaderos que utilizan insumos propios para alimentar el ganado, no existieron diferencias estadísticas significativas ($p>0.05$). En el resto de las variables se observaron diferencias significativas ($p<0.05$). El G1SV se caracteriza por la mayor proporción de ganaderos que utilizan heno y concentrados comerciales para vacas, en este caso, similar al G2SI. Mientras que el G3SE, se caracterizó por la mayor proporción de ganaderos que utilizan paja, heno, granos y concentrados comerciales para la engorda de ganado. Los grupos G2SI y G4T, no realizan esta actividad ($p>0.05$). El G1SV también se destaca la mayor proporción de ganaderos que utilizan sales minerales especiales para todo el ganado ($p<0.05$). En el G3SE, la mayoría de los ganaderos utilizan insumos alimenticios propios y adquiridos. Mientras en los grupos G1SV, G2SI y G4T, el 80% de los ganaderos compran los insumos para la alimentación del ganado ($p<0.05$).

Con relación al manejo de la alimentación (Tabla 4), solo en la variable número de pacas de paja utilizada en la alimentación del ganado no se observaron diferencias significativas ($p>0.05$). Los grupos G1SV y G2SME utilizan mayor número de insumos para vacas, a diferencia de los otros dos grupos ($p<0.05$). Mientras que el G3SE, se caracterizó por la utilización de un mayor número de insumos para la engorda de

ganado ($p<0.05$). Asimismo, en los grupos G1SV y G3SE, se observó una mayor utilización de concentrados comerciales y maíz ($p<0.05$), lo que evidencia mayor especialización de la actividad ganadera, respecto a G2SI y G4T. Finalmente, el G1SV, destaca por mayor utilización de sales minerales especiales ($p<0.05$), mientras que en resto de los grupos identificados fue similar ($P>0.05$).

En la Figura 4, se observó que no existen diferencias en la proporción de ganaderos que pastorean el ganado ($p>0.05$), pero si en la proporción de ganaderos que estabulan el ganado. En el G2SI y G3SE se observó la mayor proporción de ganaderos que estabulan el ganado ($p<0.05$), aunque no supero el 18% del total, mientras que los ganaderos del G4T no realizan esta actividad. Asimismo, se observó que los cuatro grupos semiestabulan, habiendo mayor proporción de ganaderos en los grupos G1SV y G2SI ($P<0.05$).

En cuanto a los días de estabulación por época del año, no se observaron diferencias significativas ($p>0.05$) en invierno, verano y otoño. Sin embargo, si hubo diferencias significativas en primavera, siendo mayor en el G2SI. Asimismo, en los días de semiestabulación en verano y otoño, no se observaron diferencias ($p>0.05$), pero si en invierno (mayor en G2SI y G3SE) y otoño, siendo mayor en G1SV y G2SI ($p<0.05$). Por otra parte, en los días de pastoreo en las cuatro épocas (Tabla 5), siendo mayor en todos los casos en el G4T, evidenciado un manejo extensivo en la alimentación del ganado durante la mayor parte de un año productivo ($p<0.05$).

Tabla 3. Utilización de insumos alimenticios en las unidades de producción de ganado de doble propósito del sur del Estado de México de acuerdo con la tipología.

Variable	G1SV	G2SI	G3SE	G4T	Promedio	EEM	P
Heno vacas‡	41.20 ^b	20.80 ^{ab}	16.70 ^a	0.00 ^a	16.90	2.57	0.0003*
Ensilado para vacas	17.60	11.30	7.10	2.10	8.90	1.96	0.1545 ^{ns}
Concentrado comercial para vacas	64.70 ^b	62.30 ^b	54.80 ^b	8.3 ^a	48.80	3.43	0.0001*
Bloques de minerales para vacas	17.60	20.80	19.00	16.70	19.20	2.71	0.9436 ^{ns}
Paja para engorda	11.80 ^a	0.00 ^a	61.90 ^b	0.00 ^a	13.60	2.36	0.0001*
Heno para engorda	5.90 ^a	0.00 ^a	23.80 ^b	0.00 ^a	5.20	1.52	0.0001*
Granos para engorda	0.00 ^a	0.00 ^a	45.20 ^b	0.00 ^a	9.40	2.00	0.0001*
Concentrados comerciales para engorda	17.60 ^a	0.00 ^a	95.20 ^b	0.00 ^a	20.70	2.78	0.0001*
Bloques de minerales para todo el ganado	76.50	77.40	69.00	56.30	70.90	3.12	0.0583 ^{ns}
Sales minerales especiales para todo el ganado	35.30 ^b	17.00 ^{ab}	9.50 ^a	0.00 ^a	13.10	2.32	0.0008*
Insumos propios y adquiridos	18.00 ^a	0.00 ^a	67.00 ^b	2.00 ^a	15.00	2.45	0.0001*
Insumos adquiridos	82.00 ^b	96.00 ^b	31.00 ^a	92.00 ^b	81.00	2.68	0.0001*
Insumos propios	0.00	4.00	2.00	6.00	4.00	1.31	0.6396 ^{ns}

*literales ^{a,b,c} dentro de la misma fila indican diferencias significativas ($p<0.05$). ^{ns} = no significativo ($p>0.05$).

Todas las variables son expresadas en porcentaje de ganaderos que utilizan los insumos. ‡ = variable expresada en .000. G1SV = Grupo 1 Suplementos para vacas, G2SI = Grupo 2 Semi-intensivo, G3SE = Grupo 3 Suplementos para engorda, G4T = Grupo 4 Tradicional.

Tabla 4. Variables sobre manejo de la alimentación del ganado en las unidades de producción de doble propósito del sur del Estado de México de acuerdo con la tipología.

Variable	G1SV	G2SI	G3SE	G4T	Promedio	EEM	P
Número de insumos alimenticios para vacas†§	3.88 ^c	3.19 ^{bc}	2.81 ^b	1.52 ^a	2.79	0.11	0.000*
Número de insumos alimenticios para engorda†§	0.35 ^b	0.03 ^a	2.23 ^c	0.00 ^a	0.48	0.07	0.000*
Concentrados comerciales (kg)†‡	16.00 ^b	3.82 ^a	11.12 ^{ab}	1.84 ^a	5.79	1.28	0.007*
Maíz (kg)†‡	2.00 ^{ab}	0.74 ^a	7.70 ^b	0.91 ^{ab}	2.25	9.96	0.045*
Paja (número de pacas) †‡	0.14	0.61	1.01	0.66	0.66	0.15	0.531 ^{ns}
Salas minerales especiales (kg)†‡	1.99 ^b	0.44 ^a	0.69 ^a	0.29 ^a	0.58	0.06	0.000*

† variables utilizadas en el modelo multivariado. *literales ^{a,b,c} dentro de la misma fila indican diferencias significativas ($p < 0.05$). ^{ns} = no significativo ($p > 0.05$). § La dieta puede incluir maíz, heno, silo, paja, concentrado comercial, sales minerales especiales, bloques de minerales, entre otros. ‡ = variable expresada en .000. G1SV = Grupo 1 Suplementos para vacas, G2SI = Grupo 2 Semi-intensivo, G3SE = Grupo 3 Suplementos para engorda, G4T = Grupo 4 Tradicional.

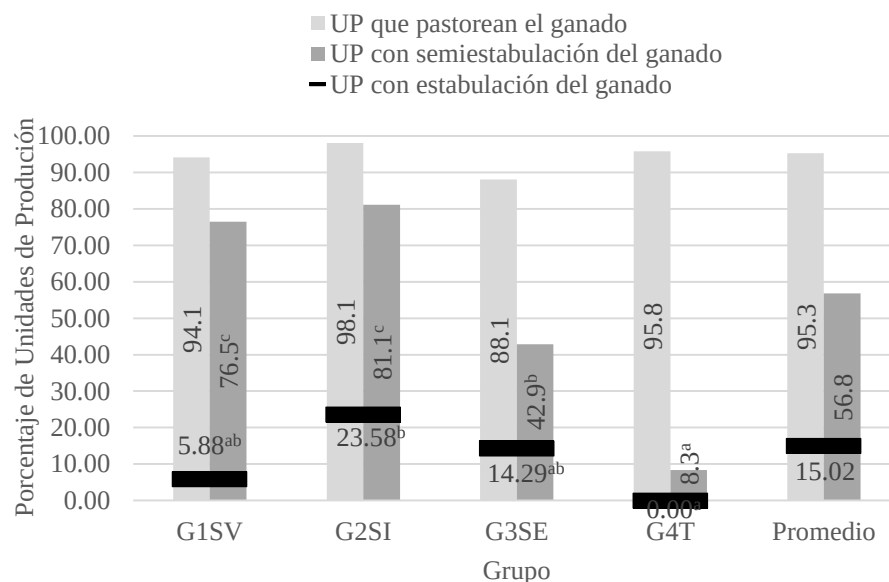


Figura 4. Proporción de unidades de producción de doble propósito del sur del Estado de México que pastorean y estabulan ganado. Literales ^{a, b y c} en las barras, son diferentes entre sí ($p < 0.05$). G1SV = Grupo 1 Suplementos para vacas, G2SI = Grupo 2 Semi-intensivo, G3SE = Grupo 3 Suplementos para engorda, G4T = Grupo 4 Tradicional. Barras y líneas en Figura son independientes.

Con relación al número total de días de pastoreo y estabulación o semiestabulación, se observaron diferencias significativas ($p < 0.05$), como se muestra en la Figura 5. En este sentido el G4T presentó un mayor periodo de pastoreo, prácticamente todo el año, seguido del G3SE. Por otra parte, el G2SI, destacó por un mayor periodo de estabulación y semiestabulación, seguido de G1SV. El G4T en cambio, es el grupo que menor número de días de estabulación o semiestabulación presentó ($p < 0.05$). En este sentido, resalta la importancia de la superficie destinada al pastoreo del ganado, como una estrategia de

alimentación en la propia UP. En cuanto a la estabulación, se observaron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) únicamente en la primavera, destacando el grupo G2SI como el que permaneció estabulado durante más días en esta época. Respecto a la semiestabulación, hubo diferencias significativas en invierno y primavera ($p < 0.05$). Durante el invierno, el grupo G2SI realizó esta actividad por más días, mientras que en primavera tanto el grupo G2SI como el G1SV fueron los que registraron la mayor cantidad de días.

Tabla 5. Periodos de pastoreo y estabulación del ganado en unidades de producción de doble propósito del sur del Estado de México de acuerdo con la tipología.

Variable	G1SV	G2SI	G3SE	G4T	Promedio	EEM	P
Pastoreo en invierno	62.82 ^b	43.42 ^a	61.40 ^b	82.21 ^c	57.26	2.19	0.0001 [*]
Pastoreo en primavera	62.18 ^b	42.84 ^a	65.07 ^b	86.25 ^c	58.55	2.18	0.0001 [*]
Pastoreo en verano	68.29 ^a	76.18 ^{ab}	73.93 ^{ab}	88.13 ^b	77.80	1.70	0.0059 [*]
Pastoreo en otoño	64.76 ^a	68.66 ^a	67.45 ^a	83.73 ^b	71.51	1.73	0.0015 [*]
Estabulación¶ en invierno	1.18	9.37	9.62	0.00	6.65	1.33	0.0174 ^{ns}
Estabulación en primavera	4.18 ^{ab}	17.07 ^b	8.26 ^{ab}	0.00 ^a	10.46	1.79	0.0010 [*]
Estabulación en verano	0.00	0.85	1.31	0.00	0.68	0.29	0.4223 ^{ns}
Estabulación en otoño	0.00	0.59	2.24	0.00	0.74	0.33	0.1189 ^{ns}
Semiestabulación¶ en invierno	18.59 ^{ab}	33.80 ^b	22.07 ^{ab}	5.58 ^a	23.92	2.26	0.0001 [*]
Semiestabulación en primavera	57.05 ^c	55.12 ^c	34.24 ^b	3.83 ^a	39.60	2.69	0.0001 [*]
Semiestabulación en verano	16.59	7.04	10.98	3.92	7.87	1.49	0.1494 ^{ns}
Semiestabulación en otoño	9.35	4.47	9.62	3.75	5.71	1.38	0.3929 ^{ns}

*literales ^{a,b,c} dentro de la misma fila indican diferencias significativas ($p < 0.05$). ^{ns} = no significativo ($p > 0.05$). ¶ = La estabulación es un sistema de confinamiento total, pero el animal se puede mover en el corral, mientras que la semiestabulación es un sistema mixto que combina el pastoreo con el encierro en corrales. G1SV = Grupo 1 suplementos para vacas, G2SI = Grupo 2 Semi-intensivo, G3SE = Grupo 3 Suplementos para engorda, G4T = Grupo 4 Tradicional.

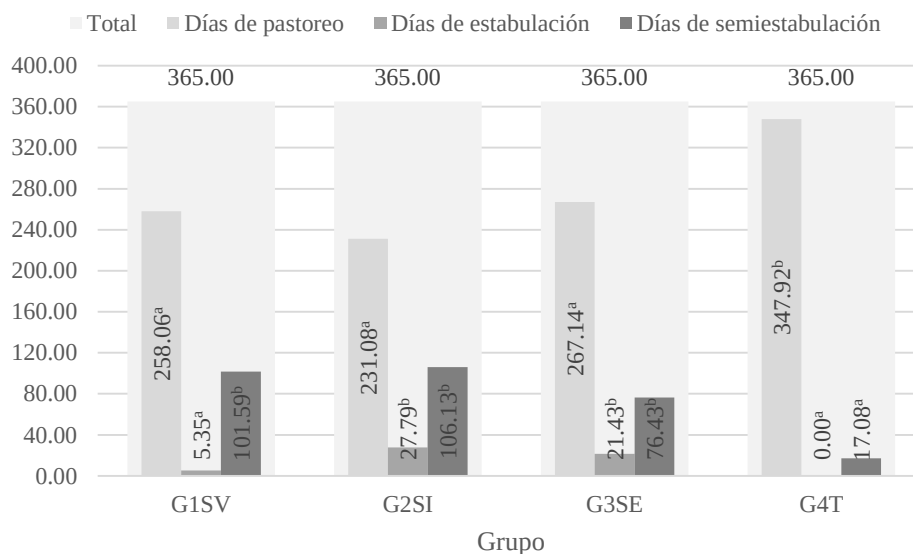


Figura 5. Días totales de pastoreo, estabulación y semiestabulación del ganado en las unidades de producción de doble propósito del sur del Estado de México. Literales ^{a, b y c} en las barras, son diferentes entre sí ($p < 0.05$). G1SV = Grupo 1 Suplementos para vacas, G2SI = Grupo 2 Semi-intensivo, G3SE = Grupo 3 Suplementos para engorda, G4T = Grupo 4 Tradicional.

Finalmente, los cuatro grupos identificados muestran diferencias claras en el uso de recursos, el manejo de la alimentación y la intensidad productiva, lo que permite establecer implicaciones prácticas específicas para cada tipo de unidad de producción.

El G1SV se caracteriza por hatos más grandes, mayor disponibilidad de superficie y un uso elevado de insumos externos para la alimentación de las vacas. Aunque cuentan con más recursos, existe una

oportunidad clara para mejorar la eficiencia en el uso de insumos comprados, así como fortalecer el manejo del pastoreo y promover la producción de forrajes propios, lo que ayudaría a reducir la dependencia de insumos adquiridos. Su mayor venta de terneros también sugiere un potencial para mejorar la eficiencia reproductiva.

Por otro lado, en el G2SI predomina un manejo semi intensivo, con el mayor número de días en

estabulación. Estas condiciones hacen necesario optimizar la planeación de la alimentación durante los periodos críticos, así como mejorar la eficiencia del uso de insumos adquiridos. La limitada superficie destinada al pastoreo obliga a fortalecer el manejo de los recursos forrajeros disponibles y a perfeccionar las prácticas de estabulación, de modo que se mantenga la productividad sin incrementar los costos.

En el G3SE los productores muestran mayor especialización en la engorda, apoyándose en la compra de animales y el uso intensivo de granos, paja y concentrados comerciales. Las principales oportunidades de mejora se centran en fortalecer programas de alimentación específicos para engorda, mejorar la formulación de raciones y aprovechar de manera más eficiente la combinación de recursos propios e insumos adquiridos. Además, un mejor manejo del pastoreo podría reducir la dependencia de insumos externos y mejorar la rentabilidad.

Por último, el G4T presenta un sistema con enfoque extensivo, al tener más días de pastoreo y mínima estabulación. Para ellos es fundamental mejorar el manejo de praderas, incorporar rotación de potreros e implementar estrategias para generar reservas forrajeras y así optimizar la eficiencia de los recursos forrajeros. Durante los periodos de escasez, requieren suplementación estratégica para evitar bajar la producción, dado su bajo uso de insumos externos.

En conjunto, las diferencias observadas evidencian que cada tipo de unidad de producción presenta necesidades y oportunidades particulares. Por ello, las estrategias de mejora deben adaptarse a las características específicas de cada grupo, con el fin de optimizar el uso de los recursos disponibles y fortalecer la eficiencia productiva del sistema doble propósito en la región.

DISCUSIÓN

Análisis Factorial por componentes principales (ACP) y Análisis Clúster (AC)

Las variables utilizadas en el ACP se adecuaron y cumplieron con los parámetros estadísticos para validar el modelo multivariado en función de las recomendaciones de Hair *et al.* (2006) y Visauta y Martori (2003). El nivel de explicación es considerado adecuado para estudios en sistemas agropecuarios, donde múltiples variables interrelacionadas influyen en aspectos productivos y de manejo (García-Martínez *et al.*, 2009). Asimismo, son consistentes con estudios similares que han utilizado esta técnica para reducir la dimensionalidad y encontrar patrones latentes en

sistemas ganaderos (Piedra-Matías *et al.*, 2011). Los factores identificados representan una dimensión clave del manejo ganadero; i. el mayor uso de insumos externos refleja una estrategia intensiva de suplementación, lo cual ha sido asociado con sistemas más dependientes del mercado y menos resilientes ante fluctuaciones de precios o disponibilidad de insumos; ii. la mayor dimensión y especialización, vinculado con escalas mayores de producción y uso de minerales, sugiere una orientación hacia la eficiencia productiva y la tecnificación; iii. la estabulación y suplementación, indica una transición desde el pastoreo hacia sistemas intensivos en los cuales mejora el control sobre la dieta, pero también incrementar los costos de producción y la dependencia de insumos externos y iv. la especialización en engorda, representa una estrategia orientada al mercado de carne, con implicaciones en la selección genética, manejo nutricional y comercialización, como lo ha indicado Rebollar-Rebollar *et al.* (2011). Estos resultados del ACP, complementó el análisis de conglomerados jerárquico (AC) al identificar cuatro grupos de unidades de producción (UP), cada uno con características distintas de manejo y alimentación, lo que confirma la dinámica y diversidad de estas UP en la zona de estudio, como lo ha reportado Nájera-Garduño *et al.* (2016). Asimismo, este tipo de tipificaciones, son útiles para diseñar políticas diferenciadas y estrategias de extensión rural adaptadas a las realidades locales, como lo ha mencionado García-Martínez *et al.* (2009) y García-Martínez *et al.* (2011).

Tipificación de UP

Los resultados de la estructura de las UP entre los grupos ganaderos son importantes para identificar patrones diferenciados en sistemas productivos complejos (Rojas-Sandoval *et al.*, 2024a). Al tiempo que evidencian una notable diversidad adaptativa en el manejo de los recursos, reflejo tanto de la complejidad del entorno agroecológico como de las limitaciones económicas que enfrentan los productores (García-Martínez *et al.*, 2011). Esta diversidad se manifiesta en cuatro estrategias diferenciadas. Cada una presenta características particulares y desafíos específicos, que en conjunto ofrecen una visión integral de las prácticas predominantes, el efecto sobre la producción (García-Martínez *et al.*, 2015) y su impacto en la rentabilidad de las unidades de producción (Álvarez-Sánchez *et al.*, 2023 y Rebollar-Rebollar *et al.*, 2011). Bajo este enfoque, varios autores han destacado una fuerte dependencia de la suplementación, sobre todo en UP con mayor cantidad de vacas para la producción de leche (Albarrán-Portillo *et al.*, 2024 y Esparza-Jiménez *et al.*, 2024), aunque también es cierto que se logra

mantener un equilibrio entre pastoreo y estabulación durante todo el año, como se observó en el G1SV, en el que el pastoreo se realiza de manera constante en todas las estaciones, lo que sugiere una estrategia de aprovechamiento sostenido de los recursos forrajeros propios. En este sentido, se aprovechan principalmente superficies con pastos llanero (*Andropogon gallanus*) y estrella africana (*Cynodon plectostachyus*) y arbustos y árboles como el pinzan (*Pithecellobium dulce*), Palo Brasil (*Caesalpinia echinata* o *Paubrasilia echinata*) y guaje (*Leucaena leucocephala*) (Gonzalez *et al.*, 2007). La estabulación se intensifica en invierno y primavera, como respuesta a la menor disponibilidad de forraje o a la necesidad de un manejo más controlado del hato, como lo destacó Nájera-Garduño *et al.* (2016). Esta tendencia, hace que incremente el uso de suplementos externos, aunque el ganado no deja de pastorear. Esta estrategia coincide con lo señalado por Albarrán-Portillo *et al.* (2018b), quienes destacaron la importancia de la suplementación en sistemas intensivos durante periodos críticos, mientras que Salas-Reyes *et al.* (2023) y García-Martínez *et al.* (2017) indicaron que es una solución para mantener niveles adecuados de producción de leche y carne. En UP con hatos grandes y mayor superficie destinada a cultivos agrícolas, refleja una estructura productiva intensiva y especializada, aunque estas UP son menos representativas del sistema de producción, como lo ha señalado Rojas-Sandoval *et al.* (2024a). A diferencia de UP con hatos pequeños y superficies reducidas, mismas que son características de los sistemas de producción del sur del estado de México, como lo han señalado García-Martínez *et al.* (2015). Este tipo de diferenciación estructural ha sido documentada como un factor clave en la eficiencia productiva y sostenibilidad de los sistemas agropecuarios (Röhrig *et al.*, 2020 y Vences-Pérez *et al.* 2015). La menor dimensión de las UP, representan sistemas más extensivos, lo cual también se refleja menor uso de insumos externos (Cubillos *et al.*, 2016) y eficiencia productiva y como consecuencia, son factores que limitan su desarrollo (García Martínez *et al.*, 2011), como se observó en los grupos G2SI y G4T. La especialización observada en UP que engordan de animales, con un alto uso de insumos tanto propios como adquiridos, se alinea con estudios que destacan cómo la diversificación de fuentes alimenticias y la compra estratégica de animales pueden mejorar la rentabilidad en sistemas semi-intensivos (García-Martínez *et al.*, 2015 y Nájera-Garduño *et al.* 2016). Esta diversificación de insumos alimenticios, indica una clara segmentación en las estrategias de alimentación, como lo ha mencionado Rojas-Sandoval *et al.* (2024b). Asimismo, García-Martínez *et al.* (2011), señalaron que las decisiones sobre la utilización de insumos externos, está fuertemente

influenciada por la estructura del sistema productivo, la orientación de la producción y la disponibilidad de recursos, bien en la propia UP o adquiridos en centros de consumo cercanos. Dentro de la diversidad de UP de producción en la zona de estudio, destaca también el sistema de manejo de semi-intensivo (G2SI), mismo que representa la mayor proporción y alterna entre pastoreo y estabulación en función de la disponibilidad estacional de recursos. El pastoreo es más intensivo en verano y otoño como lo ha destacado Nájera-Garduño *et al.* (2016), cuando la oferta forrajera es mayor, pero disminuye significativamente durante invierno y primavera. Para compensar esta escasez, se incrementa la semiestabulación en los meses críticos. Este patrón sugiere una adaptación dinámica al entorno, en línea con los hallazgos de Esparza-Jiménez *et al.* (2021) y Albarrán-Portillo *et al.* (2018c), quienes subrayan que la estabilidad productiva en sistemas mixtos depende de una gestión eficiente de los recursos disponibles y de la suplementación estratégica para evitar incrementar los costos de producción. Estas variaciones estacionales en el manejo del ganado en pastoreo o en estabulación, reflejan adaptaciones estratégicas a condiciones climáticas y disponibilidad forrajera, aspectos que han sido ampliamente analizados en sistemas ganaderos de doble propósito (Albarrán-Portillo *et al.*, 2024 y Brito-Navarro *et al.* 2024). Esta tendencia incluso está condicionada por la producción de forraje, sobre todo en las épocas de estiaje, como sucedió en este estudio en las épocas de primavera e invierno. Asimismo, el tiempo en el que el ganado se encuentra pastoreado o en estabulación evidencian enfoques contrastantes en el manejo del ganado, lo cual puede tener implicaciones importantes en términos de bienestar animal, como lo indicaron Rojas-Sandoval *et al.* (2024b), eficiencia alimentaria y sostenibilidad del sistema (Vences-Pérez *et al.* 2015), característico de UP con mayores periodos pastoreo en el que disminuye incluso el número de insumos externos utilizados. En el caso de las UP, con orientación a la producción de carne, un sistema importante en la zona de estudio, como fue el caso del G3SE, se caracterizó por un patrón de pastoreo relativamente estable a lo largo del año. Sin embargo, se distingue por una alta dependencia de insumos externos y un uso más frecuente de la estabulación, especialmente en invierno y primavera, como lo han evidenciado García-Martínez *et al.* (2015). Esta estrategia sugiere un manejo más intensivo y controlado del ganado, orientado a optimizar la conversión alimenticia y maximizar el peso de los animales. Esta tendencia hacia sistemas más especializados ha sido documentada por Nájera-Garduño *et al.* (2016) como una estrategia emergente en Estado de México. Por otro lado, recurren a estrategias de suplementación para sostener la

producción. García-Martínez *et al.* (2017) señalan que un manejo eficiente de los recursos disponibles en las propias UP puede incrementar la producción hasta en un 60%, lo que refuerza la necesidad de estrategias que reduzcan la dependencia de insumos externos. Las UP que adoptaron un enfoque extensivo (G4T), basado casi exclusivamente en el pastoreo durante todo el año. Presenta los valores más altos de pastoreo en todas las estaciones, lo que confirma su fuerte dependencia de los recursos propios y nula suplementación alimenticia. Este patrón coincide con estudios realizados por Vences-Pérez *et al.* (2015), quienes destacaron la importancia de maximizar el uso del forraje en sistemas extensivos, aunque García-Martínez *et al.* (2015) y Nájera-Garduño *et al.* (2016) advierten sobre las limitaciones asociadas a la escasa estacionalidad en la producción de alimento para el ganado. Asimismo, los resultados del estudio ponen de manifiesto que los sistemas con mayor dependencia del pastoreo optimizan el uso de los recursos naturales, pero enfrentan limitaciones durante la época de estiaje. Las variaciones en el manejo del pastoreo y la estabulación evidenciaron que cada sistema responde a condiciones específicas. Por lo que, para lograr mejores resultados productivos, se requieren estrategias adaptativas que mejoren la disponibilidad de forraje y reduzcan la dependencia de insumos externos. Bajo este enfoque, el aprovechamiento de sistemas silvopastoriles (Ayllón-Cordero *et al.*, 2024) y la suplementación estratégica eficiente en períodos críticos (Salas-Reyes *et al.*, 2023), favorecen la sostenibilidad y eficiencia de estos sistemas de producción (Vences-Pérez *et al.*, 2015). Mientras que Salas-Reyes *et al.* (2019) y Albarrán-Portillo *et al.* (2018a), resaltaron que la producción de leche en sistemas de pastoreo bajo este tipo de sistema de manejo, es una alternativa tangible para estabilizar la producción en hatos de doble propósito, además de que destacan que la venta de leche permite sostener la UP, mientras que la venta de becerros representa un ingreso adicional y favorece el bienestar económico de las población rural, involucrada en esta actividad, como lo han destacado García-Martínez *et al.* (2011). En este estudio, la producción de leche y queso sugiere una homogeneidad de UP, como lo ha mencionado (Rojas-Sandoval *et al.*, 2024a), posiblemente debido a prácticas comunes o limitaciones de mercado compartidas entre las unidades de producción (García-Martínez *et al.* 2015).

CONCLUSIÓN

La estructura diferenciada de las unidades de producción ganadera reflejó una notable diversidad adaptativa frente a condiciones agroecológicas y económicas variables. Los tipos de unidades

identificados mostraron diferencias en la disponibilidad y manejo de recursos, en el uso de insumos externos y en la intensidad de las prácticas de alimentación, como fue el caso de los grupos suplementos para vacas y para engorda) lo que permitió distinguir sistemas más dependientes de suplementación, sistemas con mayor aprovechamiento del pastoreo y sistemas intermedios con combinaciones variables de ambas estrategias, característico de los grupos semi-intensivo y tradicional. Dicho manejo influye directamente en la productividad y en la capacidad de cada tipo de unidad para ajustarse a la estacionalidad y a las limitaciones del entorno. La variabilidad en la disponibilidad de recursos forrajeros a lo largo del año obliga a los productores a ajustar de forma dinámica el uso del pastoreo, la estabulación y la suplementación, en función tanto de las condiciones climáticas y geográficas como de las capacidades técnicas y económicas de cada unidad de producción. Estas a su vez, reflejan una diversidad estructural y de adaptación frente a los desafíos del entorno. Esta flexibilidad en el manejo permite a los ganaderos mantener la productividad, aunque con distintos niveles de eficiencia. En este contexto, es fundamental promover estrategias que mejoren el aprovechamiento de los recursos locales, reduzcan la dependencia de insumos externos y fortalezcan la resiliencia de los sistemas productivos. Entre estas estrategias destacan el desarrollo de sistemas de manejo que promuevan el pastoreo del ganado y la implementación de esquemas de suplementación eficientes durante los periodos críticos.

Agradecimientos. Se agradece a los ganaderos del sur del Estado de México y a los investigadores del Centro Universitario UAEM Temascaltepec, Universidad Autónoma del Estado de México, que colaboraron en el trabajo.

Funding. This research was funded by the Autonomous University of the State of Mexico through the research project “Sustainability evaluation of the livestock in Mexico, Argentina and Paraguay, from a territorial approach: current situation and perspectives before social, environmental, economic and technological changes (64812022CIC). Quarter Phase.

Conflict of interest. The authors declare that there is no conflict of interest regarding this manuscript.

Compliance with ethical standards. The authors declare that they have complied with national and

international standards and the research presents original data that has not been sent to another journal. Likewise, it is reported that the producers received a satisfactory explanation about the study procedures and its purpose, and their participation was voluntary.

Data availability. The data is available through the corresponding author: agarciaa@uaemex.mx, upon reasonable request.

Author contribution statement (CRediT). **C. A. Aguirre-Sánchez** – Investigation, data curation, formal analysis, writing-original draft. **B. Albarrán-Portillo** – Supervision, writing-review & editing. **S. Esparza-Jiménez** – Review & editing. **A. García-Martínez** – Conceptualization, methodology, supervision, validation, project administration, writing-review & editing.

REFERENCES

- Albarrán Portillo, B., Salas-Reyes, I., Arriaga-Jordán, C.M. and García-Martínez, A., 2023. Productive response of lactating dual-purpose cows grazing in an agrosilvopastoral system during the dry season supplemented with low levels of crude protein. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 27(1), pag. 002. <http://dx.doi.org/10.56369/tsaes.4588>
- Albarrán-Portillo, B., Rebollar-Rebollar, S. and García-Martínez, A., 2018a. Caracterización socioeconómica de un sistema de producción de doble propósito del sur del Estado de México. La ganadería en condiciones de trópico seco. Cap. 7, pp. 167-181. <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/94766>
- Albarrán-Portillo, B., García-Martínez, A. and Arriaga-Jordán, C.M., 2018b. Desarrollo de estrategias de suplementación para vacas en lactación en la época de secas en un sistema doble propósito en Zacazonapan, Estado de México. La ganadería en condiciones de trópico seco. Cap. 9, pp. 203-216. <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/80221>
- Albarrán-Portillo, B., García-Martínez, A., Ortiz-Rodea, A., Rojo-Rubio, R., Vázquez-Armijo, J. F. and Arriaga-Jordán, C. M., 2018c. Socioeconomic and productive characteristics of dual purpose farms based on agrosilvopastoral systems in subtropical highlands of central Mexico. *Agroforestry Systems*. 93, pp. 1939–1947. <https://doi.org/10.1007/s10457-018-0299-2>
- Álvarez-Sánchez, A., García-Martínez, A. and Albarrán-Portillo, B., 2023. Productive and economic performance of brown swiss cows at different stages of lactation fed two crude protein levels. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 26(3), pag. 070. <http://dx.doi.org/10.56369/tsaes.4721>
- Ayllón-Cordero, M., Garcia-Martinez, A., Albarrán-Portillo, B. and Zarco-González, M., 2025. Silvopastoral systems and their contribution to the conservation of birdlife. Bibliometrix analysis (1985-2020). *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 28(1), pag. 045.. <http://dx.doi.org/10.56369/tsaes.5586>
- Brito-Navarro, A., García-Martínez, A., Arriaga-Jordán, C.M., López-González, F., Esparza-Jiménez, S. and Albarrán Portillo, B., 2024. Evaluation of the productive response of grazing cows with two varieties of sorghum silage supplemented during the dry season in the southwest of the state of Mexico. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 27(3), pp. 111. <http://dx.doi.org/10.56369/tsaes.5215>
- Cubillos, A.M., Vallejo, V.E., Arbeli, Z., Terán, W., Dick, R.P., Molina, C.H. and Roldan, F., 2016. Effect of the conversion of conventional pasture to intensive silvopastoral systems on edaphic bacterial and ammonia oxidizer communities in Colombia. *European Journal of Soil Biology*, 72, pp. 42-50. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2015.12.003>
- Esparza-Jiménez, S., Albarrán Portillo, B., González-Ronquillo, M., García-Martínez, A., Vázquez-Armijo, J.F. and Arriaga-Jordán, C.M., 2021. Milk yield derived from the energy and protein of grazing cows receiving supplements under an agrosilvopastoral system. *Revista Mexicana De Ciencias Pecuarias*, 12(1), pp. 87–104. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v12i1.5529>
- Esparza-Jiménez, S., García-Martínez, A., Ramírez-García, J.J., Vázquez-Armijo, J.F. and Sánchez-Meza, J.C., 2024. Caracterización del uso de plaguicidas en el cultivo de aguacate en Temascaltepec, México. *Revista Internacional De Contaminación Ambiental*,

- 40, pp. 603–618.
<https://doi.org/10.20937/RICA.55003>
- García-Martínez, A., Olaizola, A. and Bernués, A., 2009. Trajectories of evolution and drivers of change in European mountain cattle farming systems. *Animal*, 3, pp. 152–165.
<https://doi.org/10.1017/s1751731108003297>
- García-Martínez A., Albarrán-Portillo, B. and Avilés-Nova, F., 2015. Dinámicas y tendencias de la ganadería doble propósito en el sur de estado de México. *Agrociencia*, 49(2), pp. 125–139.
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952015000200002
- García-Martínez, A., Bernués, A. and Olaizola, A.M., 2011. Simulation of mountain cattle farming system changes under diverse agricultural policies and off-farm labour scenarios. *Livestock Science*, 137(1), pp. 73–86.
<https://doi.org/10.1016/j.livsci.2010.10.002>
- García-Martínez, A., López-Gama, R., Morales-Almaraz, E., Martínez-García, C.G., Albarrán-Portillo, B. and Rayas-Amor, A.A., 2017. Análisis productivo y económico de unidades de producción de ganado bovino para carne en Tlatlaya, Estado de México. *Agroproductividad*, Vol. 10, Núm. 10, pp. 22–28.
<https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/93>
- GEM. 2023., Municipios del estado de México.
<https://estadodemexico.com.mx/municipios-del-estado-de-mexico/>
- Gonzalez, J.C., Ayala, A. and Gutiérrez, E., 2007. Composición química de especies arbóreas con potencial forrajero de la Región de Tierra Caliente, Michoacán, México. *Revista Cubana de Ciencias Agrícolas*, 41, pp. 87–93.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193017666015>
- Guisande, G.C., Barreiro, F.A., Moneiro, E.I., Riveiro, A.I., Vergara, C.A.R. and Vaamonde, L.A., 2006. Tratamiento de datos. Díaz de Santos. España. 356 pp
- Hair, J.F.J., Black, W.C., Babin, B.J., Anderson, R.E. and Tatham, R.L., 2006. Multivariate data analysis. International Edition. 6Ed. Prentice Hall International. New Jersey. United States of America. 897 pp
- Hernández-Sampieri, R., Fernández-Collado, C., and Baptista-Lucio, P., 2006. Metodología de la investigación 6 ED, Iztapalapa, México. The McGraw Hill. 324 pp
- INEGI. 2021. INEGI. Síntesis de Información geográfica del estado de México. Consultado. Mayo de 2025. Disponible en: https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/2104/702825224028/702825224028_6.pdf
- Nájera-Garduño, A.L., Piedra-Matías, R., Albarrán-Portillo, B. and García-Martínez, A., 2016. Cambios en la ganadería doble propósito en el trópico seco del Estado de México. *Agrociencia*, 50 (6), pp. 701–710.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952016000600701&lng=es&tlng=es
- Piedra-Matías, R., Hernández-Dimas, G., Albarrán-Portillo, B., Rebollar, R.S. and García-Martínez, A., 2011. Tipología de las explotaciones de ganado bovino en el Municipio de Tejupilco, Estado de México. En: La ganadería ante el agotamiento de los paradigmas dominantes. Beatriz A. Cavallotti Vázquez., Benito Ramírez Valverde., Francisco Ernesto Martínez Castañeda., Carlos F. Marcof Álvarez y Alfredo Cesín Vargas. Volumen 2. pp. 205–218
- Rebollar-Rebollar. A., Hernández, M.J., Rebollar, R.S., Guzmán. Z.E., García-Martínez, A. and González, R.F de J., 2011. Competitividad y rentabilidad de bovinos en corral en el sur del Estado de México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14, pp. 691–698.
<https://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/article/view/722>
- Röhrig, N., Hassler, M. and Roesler, T., 2020. Capturing the value of ecosystem services from silvopastoral systems: Perceptions from selected Italian farms. *Ecosystem Services*, 44, pp. 101–152.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2020.101152>
- Rojas Sandoval, L., Albarrán Portillo, B., Mondragón-Ancelmo, J., Martínez García, C. and García Martínez, A., 2024a. Livestock dual purpose in dry tropics: cattle farms diversity and productive orientation. *Tropical and*

- Subtropical Agroecosystems*, 27(2), pag. 073..
<http://dx.doi.org/10.56369/tsaes.5459>
- Rojas Sandoval, L., García Martínez, A., García Hernández, P., Salas Silva, M. and Mondragón-Ancelmo, J., 2024b. Bovine health indicators in dual-purpose production units in the dry tropics. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 27(3), pag. 120..
<http://dx.doi.org/10.56369/tsaes.5569>
- Rojo-Rubio R., Vázquez-Armijo, J.F., Pérez-Hernández, P., Mendoza-Martínez, G.D., Salem, A.Z.M., Albarrán-Portillo, B., González-Reyna, A., Hernández-Martínez, J., Rebollar-Rebollar, S., Cardoso-Jiménez, D., Dorantes-Coronado, E.J. and Gutiérrez-Cedillo, J.G., 2009. Dual purpose cattle production in Mexico. *Tropical Animal Health Production*, 41, pp. 715-721.
<https://doi.org/10.1007/s11250-008-9249-8>
- Salas-Reyes, I.G., Arriaga-Jordán, C.M., Estrada-Flores, J.G., García-Martínez, A., Rojo-Rubio, R., Vázquez-Armijo, J.F. and Albarrán-Portillo, B., 2019. Respuesta productiva y económica a la sustitución parcial de maíz quebrado con maíz molido o melaza en suplementos para vacas de doble propósito. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 10(2), pp. 335-352.
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11242019000200335
- Salas-Reyes, I.G., Arriaga-Jordán, C.M., Rebollar-Rebollar, S., García-Martínez, A. and Albarrán-Portillo, B., 2015. Assessment of the sustainability of dual-purpose farms by the IDEA method in the subtropical area of central Mexico. *Tropical Animal Health and Production*, 47, pp. 1187-1194.
<https://doi.org/10.1007/s11250-015-0846-z>
- Salas-Reyes, I.G., Estrada-Flores, J.G., Arriaga-Jordán, C.M. García-Martínez, A., Castro-Montoya, J. and Albarrán-Portillo, B., 2023. Productive performance of lactating Brown Swiss cows grazing on an agrosilvopastoral system in a dry tropical region in central Mexico: contribution of grass, herbaceous and woody species. *Agroforestry Systems*, 97, pp. 223–233. <https://doi.org/10.1007/s10457-022-00800-4>
- Serrano, M. A., 2002. Estadística aplicada uni y multivariante. Consejería de Agricultura y Pesca. Haro Artes Gráficas. Sevilla, España. II, pp. 730-879
- Vences-Pérez, J., Nájera-Garduño, A.L., Arriaga-Jordán, C.M., Albarrán-Portillo, B., García-Martínez, A. and Rebollar-Rebollar, S., 2015. Utilización del método IDEA para evaluar la sustentabilidad en unidades de producción de ganado bovino. En *Sustentabilidad Productiva Sectorial*, pp. 15-35. Universidad Autónoma del Estado de México.
<http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/65577>
- Vences-Pérez, J., Martínez-García, C., Morales-Almaraz, E., Albarrán-Portillo, B., Rayas-Amor, A., Vázquez-Armijo, J.F. and García-Martínez, A., 2021. A socioeconomic analysis and development trends of dual-purpose livestock in dry tropics. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 24(2), pag. 57.
<http://dx.doi.org/10.56369/tsaes.2785>
- Visauta, V. and Martori. C.J.C., 2003. Análisis estadístico con SPSS para Windows. Estadística multivariante. 2 ED. VOL. II. Mcgraw-Hill/Interamericana de España. 360 pp.