



Dinámica del pastoreo en la asociación cultivos y ovinos de agroecosistemas de clima templado en México



Samuel Vargas López ^{a*}

Angel Bustamante González ^a

José Luis Jaramillo Villanueva ^a

Ignacio Vázquez Martínez ^b

Humberto Vaquera Huerta ^c

Carla Cristina Díaz Sánchez ^d

Miguel Ángel Casiano Ventura ^a

^a Colegio de Postgraduados-Campus Puebla. Blvd. Forjadores de Puebla No. 205, Santiago Momoxpan, San Pedro Cholula, Puebla. México.

^b Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Programa de Ingeniería Agroforestal, Complejo Regional Norte. Benito Juárez, Tetela de Ocampo, Puebla, México.

^c Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo. Texcoco, Edo. de México, México.

^d Centro de Bachillerato Tecnológico, Industrial y de Servicios No. 16. Atlixco, Puebla, México.

*Autor de correspondencia: svargas@colpos.mx

Resumen:

En el presente estudio se analizó la dinámica del pastoreo en la producción de ovinos asociada a los cultivos agrícolas a partir de la dimensión social, productiva, mercado, ingresos y ambiental en la región templada de Puebla y Tlaxcala, México. Se registró el uso del pastoreo, relieve, clima, cultivos y tipo de vegetación en los sistemas de producción y datos

de la familia, medios de producción, mercado e ingresos con entrevista a 256 productores de ovinos. Los datos se analizaron con estadística descriptiva y modelos de regresión lineal de superficie de respuesta y modelos multinivel, con el paquete estadístico SAS. Como resultados se definieron cinco asociaciones cultivos y ovinos. Los modelos de regresión lineal de superficie de respuesta, ajustada por porcentaje de pastoreo, tuvieron diferencias en las pendientes estimadas ($P<0.05$) para experiencia del productor, escolaridad, jornales dedicados a ovinos, valor de instalaciones y tamaño de rebaño. El análisis multinivel mostró que 19 % de la varianza en el tiempo de pastoreo (horas) fue explicada por las variables de las asociaciones cultivos y ovinos (nivel 2) y el resto por las unidades de producción (nivel 1). Los modelos multinivel asociaron el tiempo de pastoreo con los ingresos ($P<0.01$), porcentaje de venta de corderos ($P<0.01$), escolaridad ($P<0.05$), jornales dedicados a ovinos ($P<0.05$), tamaño de rebaño ($P<0.05$) y porcentaje de pastoreo ($P<0.001$). El estudio permitió clasificar a los agroecosistemas e identificar el perfil del productor más apropiado para la producción de ovinos en el contexto socioecológico y económico en la región templada de Puebla y Tlaxcala, México.

Palabras clave: Análisis de regresión, Ingresos ovinos, Modelos multinivel, Tiempo de pastoreo, Tierras de pastoreo.

Recibido: 13/07/2022

Aceptado: 18/01/2023

Introducción

La crianza de ovinos en agroecosistemas de clima templado es una tradición socioeconómica en el centro de México^(1,2), debido a las condiciones ambientales, orográficas, disponibilidad de pastizales y mercado^(3,4). Los corderos y el ovino adulto para barbacoa son los productos principales para la venta^(1,5,6). Las unidades de producción se clasifican, por su nivel de uso de tecnología, como tradicionales o de pastoreo extensivo, semintensivas o mixtas e intensivas^(4,6,7). En las dos primeras, los ovinos se alimentan libremente del pastoreo⁽³⁻⁶⁾. Por los recursos utilizados para el pastoreo se ha caracterizado a la producción de ovinos-cereales^(8,9), ovinos con uso de recursos múltiples⁽⁸⁾, pastoreo extensivo de montaña⁽⁹⁾, uso de agostaderos más rastrojos y pastoreo de agostaderos más praderas⁽¹⁰⁾, y uso de pastizales y zonas de conservación⁽¹¹⁾. Esto indica que los productores adaptan las prácticas de alimentación a los forrajes disponibles localmente^(12,13,14), utilizando pastos, malezas nativas y residuos de los cultivos agrícolas^(13,15,16).

Es común que los productores tengan interés en adoptar nuevas tecnologías y requerir de asesoramiento técnico para el manejo del pastoreo y la alimentación⁽¹⁷⁾, sobre todo, para ajustar la carga animal a la disponibilidad de forrajes y a la biología de los ovinos en los diferentes ambientes⁽¹⁸⁾.

En este estudio se abordó el pastoreo como un proceso socioecológico complejo con cambios en el tiempo y espacio⁽¹⁹⁾, y se explicó con el enfoque del comportamiento dinámico del manejo de los sistemas ecológicos^(20,21,22), para ubicarlo en las decisiones para la sostenibilidad social, económica y ambiental⁽²²⁾. Desde esta perspectiva, se señala que la disponibilidad de forraje no está en equilibrio con la producción, lo cual puede traer consecuencias adversas para los productores y sus animales⁽²³⁾, en este caso los ovinos. Sobre todo, porque los productores de subsistencia desarrollan su actividad con una base de activos reducida, con limitado acceso a la tierra y sometidos a factores de estrés⁽²⁴⁾. En donde, las prácticas de adaptación más comunes de la producción ganadera son la movilidad de los animales, el almacenamiento de forrajes y el intercambio con el mercado⁽¹⁹⁾. También, cuando existen riesgos de escasez de forraje es común que se estable el ganado⁽²⁵⁾ y los forrajes de los cultivos agrícolas constituyan un recurso para la alimentación⁽²⁶⁾. Por la escasez de forrajes, es urgente identificar la vulnerabilidad y las estrategias de adaptación para mitigar estos riesgos^(7,27); donde, la relación entre el humano y su ambiente son complejas y difíciles de predecir. Con este propósito el estudio se planteó como objetivo analizar la dinámica del pastoreo en la producción de ovinos asociada a los cultivos agrícolas a partir de la dimensión social, productiva, mercado e ingresos y ambiental en la región templada de Puebla y Tlaxcala, México. Los estados de Puebla y Tlaxcala representan una región de interés por la presencia de áreas naturales protegidas y la diversidad climática, socioeconómica y cultural en la producción de ovinos en agroecosistemas de clima templado.

Material y métodos

Área de estudio

El estudio se realizó en la provincia ecológica Lagos y Volcanes de Anáhuac, al oriente de la Faja Volcánica Transmexicana⁽²⁸⁾, en 12 municipios en el estado de Puebla: Aquixtla, Atzitzintla, Atempán, Chignahuapan, Chignautla, Cuautempan, Guadalupe Victoria, Oriental, Libres, Ixtacamaxtitlan, Tetela de Ocampo y Tlatlauquitepec, y dos municipios de Tlaxcala: Calpulalpan y Nanacamilpa. El área de estudio se localiza en las coordenadas 18°54' y 19°56' LN y 97°17' y 98°37' LO y altitud de 1,621 a 3,164 msnm. El clima es templado húmedo en las montañas altas y templado subhúmedo en las llanuras, con precipitación de 600 a 1,600 mm y temperatura de 12 a 20 °C. La vegetación dominante es bosque de *Pinus*, Bosque de *Quercus*, pastizal y matorral⁽²⁹⁾.

Las actividades económicas en el área de estudio son la agricultura de temporal, ganadería y cultivos horto-frutícolas^(8,10,30). La ganadería es a pequeña escala, con uso múltiple de bovinos, ovinos, caprinos y equinos. El crecimiento de forrajes nativos se concentra durante seis meses (junio a noviembre) y se aprovechan terrenos de uso común y parcelas agrícolas en descanso. En la época seca del año los ovinos pastorean los rastrojos de los cultivos agrícolas y se complementan con subproductos de las cosechas agrícolas⁽³⁰⁾.

Registro de información

El tipo de zona de asociación cultivos y ovinos se identificó con recorridos de campo y las tipologías de los sistemas de producción previamente definidas en la región de estudio^(9,11,30). Para cada zona se registró la temperatura (°C) y la precipitación promedio anual (mm) de los últimos 26 años⁽³¹⁾, la altitud en metros sobre el nivel del mar⁽²⁹⁾, la información fisiográfica de las bases de datos de Google Earth® 2021, rebaños con uso de pastoreo (%), productores con tierra propia (%), que compran forraje (%) y con acceso a agua de riego (%).

Para la unidad de producción se registraron las variables demográficas, medios productivos, ingresos y mercado^(9,21,25), mediante encuesta semiestructurada, a una muestra de 256 productores seleccionados por muestreo simple aleatorio⁽³²⁾, con varianza máxima de 0.25 y nivel de error de 6 %. En las variables demográficas se registró la edad del jefe de la familia (años), experiencia en ovinos (años), escolaridad (años), integrantes de la familia (número) y jornales dedicados a ovinos (número). En los medios productivos se incluyó al valor de las instalaciones a precio de 2019 (\$) y a escala (1= menos de \$1,000, 2=\$1,000-\$4,999, 3=\$5,000-\$10,000, 4= más de \$10,000), tierra total (ha), tamaño de rebaño (número de ovinos), costo de los servicios técnicos (\$) y la participación en organización (1 si participa, 0 no participa). En el pastoreo se registró el uso de agostaderos (1 si, 0 no), bosques (1 si, 0 no), orillas de camino (1 si, 0 no), praderas inducidas (1 si, 0 no), rastrojeras (1 si, 0 no) y uso de tierras en descanso (1 si, 0 no). Para la alimentación en corral se registró el uso de grano de maíz (kg), rastrojos (kg) y alimento comercial (kg). En la parte de mercados e ingresos se incluyó el ingreso total anual (\$) y a escala (1= menos de \$10,000, 2= \$10-50 mil, 3=más de \$50,000), venta de ovinos (número y % del rebaño) y tipo de mercado (1 no vende, 2 entrega a intermediarios y 3 venta al consumidor).

Análisis de datos

Con el paquete estadístico SAS se realizaron los siguientes análisis de datos: a) estadística descriptiva para las variables de estudio, b) análisis de regresión por mínimos cuadrados para superficie de respuesta del tiempo de pastoreo (horas) y las variables de estudio y c) análisis multinivel para explicar la naturaleza y lo extenso de la relación entre el tiempo de pastoreo

con los dos niveles de estudio: unidades de producción (nivel 1) y zonas de asociación cultivos y ovinos o sistemas de producción (nivel 2).

El análisis de regresión de superficie de respuesta por mínimos cuadrados para datos con problemas de colinealidad se utilizó para explorar la dispersión del tiempo de pastoreo con las variables de la unidad de producción y el porcentaje de pastoreo en cada zona, con el procedimiento ORTHOREG, la instrucción EFFECTPLOT y la opción Jitter⁽³³⁾.

Para explicar el tiempo de pastoreo se utilizaron seis modelos multinivel con dos niveles de análisis: variables de la unidad de producción (nivel 1) y variables de las zonas de asociación cultivos y ovinos o sistemas de producción (nivel 2), bajo la siguiente forma funcional⁽³⁴⁾:

$$y_{ij} = \beta_{0j} + \beta_1 x_{ij} + u_j + e_{ij}$$

Donde:

y_{ij} es el tiempo de pastoreo (horas) medido en las i^{th} unidades de producción (nivel 1) de los j^{th} sistemas de producción (nivel 2);

β_{0j} intercepto/media general del nivel 1 que varía en las unidades o grupos del nivel 2;

β_1 es la pendiente del coeficiente aleatorio de las unidades de producción o del contexto del nivel 2;

x_{ij} son las variables explicativas del nivel 1 (demográficas, medios productivos, mercado e ingresos) y del nivel 2 (contexto);

u_j es el término del error de los sistemas cultivo y ovinos (nivel 2);

$e_{ij} \sim N(0, \sigma^2)$ es el término de error aleatorio de la unidad de producción (nivel 1).

Para la construcción de los modelos multinivel se siguió el procedimiento de Wang *et al*⁽³⁵⁾ y Bell *et al*⁽³⁶⁾. El modelo 1, utilizado como referencia, fue de intercepto aleatorio sin variables explicativas, como resultado se obtuvo la varianza del tiempo de pastoreo (horas) separada en dos partes, la que corresponde a la unidad de producción y al sistema de producción. El Modelo 2, 3 y 4 incorporó a las variables demográficas, medios productivos e ingresos y mercado de la unidad de producción, respectivamente. En modelo 5 (general) incluyó a todas las variables de los modelos 2, 3 y 4. El modelo 6 incluyó a las variables del modelo 5 más las variables del sistema de producción con efecto significativo en el tiempo de pastoreo (porcentaje de uso de pastoreo y porcentaje de productores que compran forraje). Para el análisis multinivel se utilizó el procedimiento MIXED del SAS, la estimación de parámetros con el método de máxima verosimilitud restringida (REML) y el ajuste con el criterio de Akaike (AIC) y de información del criterio bayesiano de Schwarz (BIC)⁽³⁵⁾. Por la diferencia en las unidades de medidas, las variables fueron estandarizadas con el procedimiento STANDARD⁽³⁷⁾, a excepción de los jornales dedicados a ovinos y tamaño de rebaño, que por ser una medida de conteo se utilizó la transformación $\sqrt{x + 1}$.

Resultados

El pastoreo y variables explicativas entre y dentro de las asociaciones cultivo y ovinos

Las cinco asociaciones de cultivo y ovinos de la región de estudio son (Cuadro 1): a) montaña alta (maíz, pastizal y matorral), b) maíz-bosque (maíz y bosque de *Pinus*), c) ovinos-cereales (ovinos y cereales de grano pequeño), d) sierras (maíz, bosque de *Quercus* y *Pinus*) y e) valles-cultivos diversificados (maíz, hortalizas y forraje de corte). La asociación ovinos-cereales, ubicada en el estado de Tlaxcala, se caracterizó por ser la segunda con precipitación promedio anual más baja, uso de pastoreo, mayor uso de tierra propia y mayor porcentaje de productores que compran forraje complementario. La asociación maíz-bosque, ubicada en los municipios de Chignautla, Guadalupe Victoria y Tlatlauquitepec, ocupa el segundo lugar en el uso del pastoreo y tiene la mayor precipitación promedio anual del área de estudio. La montaña alta, ubicada en los municipios de Atzitzintla y Guadalupe Victoria, tiene la mayor altitud promedio, segundo lugar en uso de pastoreo y la menor proporción en compra de forrajes. Para el valle-cultivos diversificados, localizada en los municipios de Libres, Oriental y Cuyoaco, está ocurriendo un cambio a la estabulación de los ovinos, debido a la menor precipitación promedio anual, menor acceso a la tierra propia, con mayor acceso al forraje de las cosechas agrícolas y uso de praderas de riego (Cuadro 1). La sierra norte, localizada en los municipios de Tetela de Ocampo, Atempan y Aquixtla, tiene la menor altitud promedio, las unidades de producción cuentan con mayor acceso a agua de riego y por el uso de cruza de ovino de pelo para la engorda de corderos, se utiliza menos pastoreo y más estabulación.

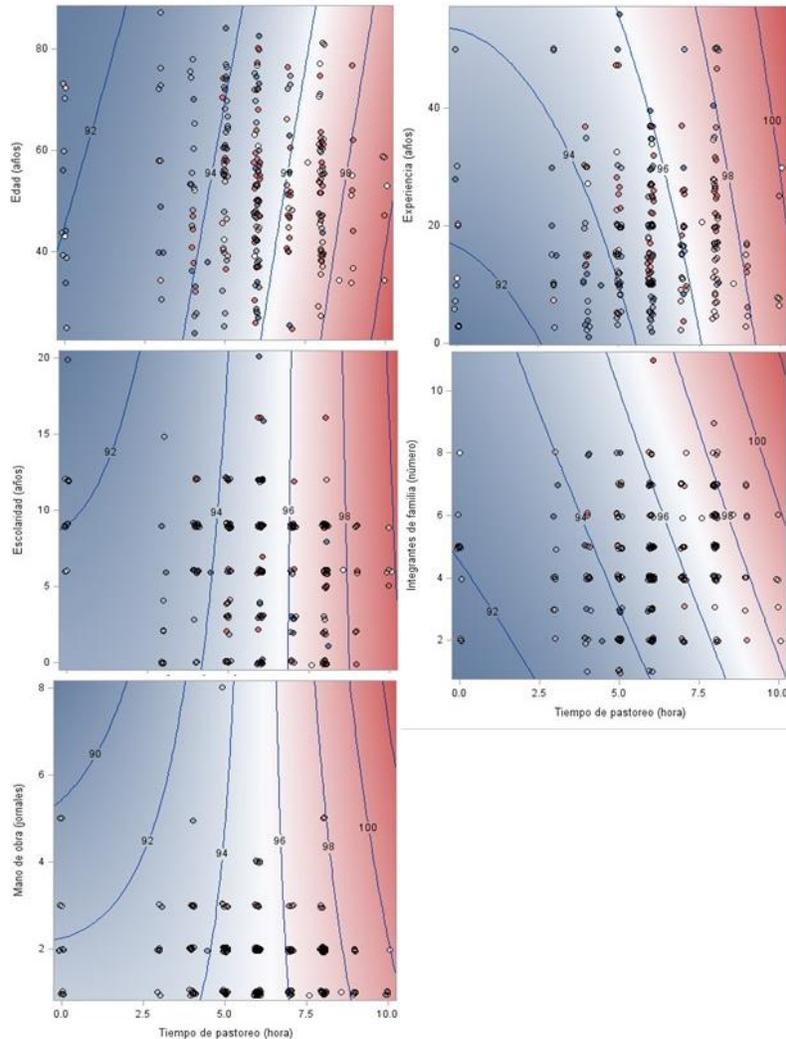
Cuadro 1: Características de las zonas de asociaciones cultivos y ovinos en agroecosistemas de clima templado

Variable	Montaña alta (n=22)	Maíz-bosque (n=44)	Ovinos-cereales (n=73)	Sierra (n=41)	V-CD (n=76)
Pastoreo, %	95.5	97.7	100	90.2	92.1
Tierra propia, %	95	93	97	100	84
Compra forraje, %	4.5	13.6	13.7	7.3	11.8
TPA, °C	12	12.2	13.4	14.3	14
PPA, mm	756.3	860.0	773.5	817.9	602.6
Agua de riego, %	9.1	11.4	17.8	31.7	15.8
AP, msnm	2931	2456	2509	2088	2303

EE=error estándar; V-CD= valles-cultivos diversificados; TPA= temperatura promedio anual; PPA= promedio precipitación anual; AP= altitud promedio.

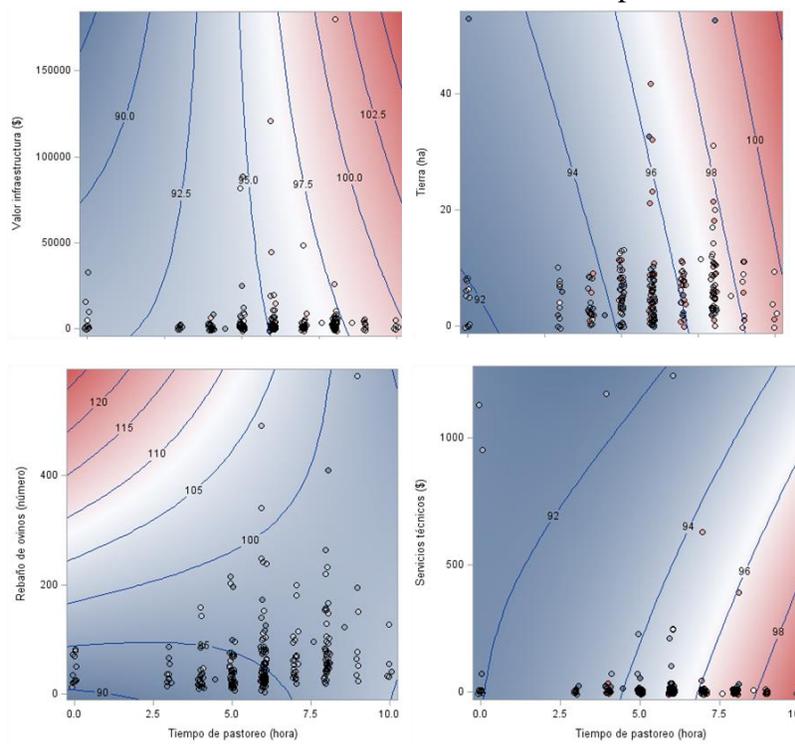
Los resultados de los modelos de regresión de superficie de respuesta se presentan en la Figura 1. En la edad del titular e integrantes de familia se observa que las superficies de las pendientes estimadas para porcentaje de pastoreo son paralelas, lo que indica ausencia de relación significativa con el tiempo de pastoreo. En tanto, en la experiencia, escolaridad y jornales dedicados a ovinos, las superficies de las curvas estimadas no tienen un óptimo único, lo que indica que tienen pendientes con diferencia significativa en el ajuste para porcentaje de pastoreo ($P < 0.05$).

Figura 1: Ajuste de contorno para porcentaje de pastoreo con cambios en las observaciones de las variables demográficas



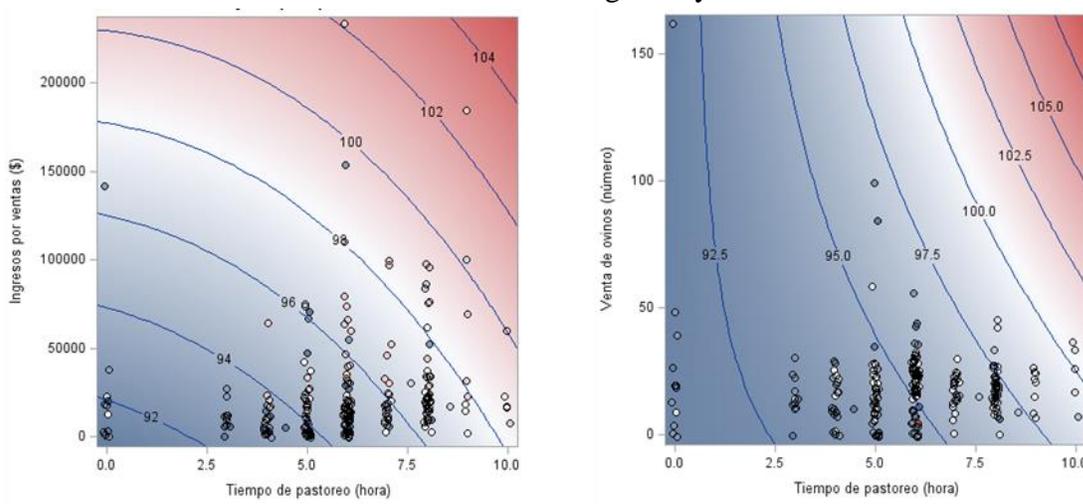
Para las variables de los medios productivos, el tiempo de pastoreo mostró diferencia significativa para el valor de instalaciones, tamaño de rebaño y costo por asistencia técnica (Figura 2). Lo contrario se observó para la superficie de tierra, donde las curvas de regresión estimadas para porcentaje de pastoreo fueron paralelas en el tiempo de pastoreo.

Figura 2: Ajuste de contorno para porcentaje de pastoreo de ovinos con cambios en las observaciones de las variables de los medios productivos



En el ingreso por ventas (\$) y la venta de ovinos (número) las pendientes estimadas para porcentaje de pastoreo tuvieron diferencia significativa con el tiempo de pastoreo (Figura 3).

Figura 3: Ajuste de contorno para porcentaje de pastoreo de ovinos con cambios en las observaciones de ingresos y ventas



Proporción de la varianza explicada con modelos multinivel entre y dentro de la asociación cultivos y ovinos

En los resultados del análisis multinivel, el modelo vacío (modelo 1) se utilizó para estimar la varianza entre los sistemas de producción y dentro de las unidades productivas mediante el coeficiente de correlación intra-clase (CCI), con base al CCI ($\frac{\hat{\sigma}_{SP}^2}{\hat{\sigma}_{SP}^2 + \hat{\sigma}_e^2}$), que tuvo un valor de 0.19; resultado de dividir la proporción de la varianza de los sistemas de producción (0.7678) entre la varianza total (0.7678+3.2741). Este resultado determina que 19 % de la varianza de las horas de pastoreo son explicadas por los sistemas de producción ($P=0.07$), por lo cual, el análisis multinivel se puede utilizar para explicar la diferencia entre estos en la región de estudio con 7 % de confiabilidad. En tanto que, 81 % de esta varianza está determinada por los factores internos de la unidad de producción (Cuadro 2).

Cuadro 2: Estimaciones del parámetro de covarianza para las asociaciones cultivos y ovinos

Parámetros	Estimador	Error estándar	Valor Z	Pr > Z
Asociaciones cultivos y ovinos	0.7678	0.5286	1.45	0.0732
Residual	3.2741	0.2922	11.20	<0.0001

De las variables del contexto de los sistemas de producción (Cuadro 3), solo el porcentaje de compra de forraje y el porcentaje de uso de pastoreo tuvieron efecto significativo ($P<0.01$) en las horas de pastoreo.

Cuadro 3: Efectos fijos de las variables que explican la varianza entre los sistemas de producción cultivos y ovinos

Efecto	Estimador	Error estándar	Grados de libertad	Valor t	Pr > t
Intercepto	-12.25	2.99	256	-4.09	<0.0001
Compra de forraje, %	-0.053	0.019	256	-2.71	0.0072
Pastoreo, %	0.19	0.03	256	6.38	<0.0001

En el Cuadro 4 se muestran los modelos multinivel ajustados por las variables demográficas, productivas, de mercado e ingresos y del contexto de los sistemas de producción. El modelo con las variables de las unidades productivas y del sistema de producción (modelo 6) tuvo el mejor ajuste (BIC=1037.3), en el cual los jornales dedicados a ovinos ($P<0.05$) y el porcentaje de pastoreo ($P<0.001$) tuvieron efecto significativo.

El modelo 4 (ingresos y mercado) fue el segundo en importancia (BIC=1041), en el cual el nivel de ingresos ($P<0.01$) y porcentaje de venta de corderos ($P<0.01$) tuvieron influencia en la explicación de la varianza del tiempo de pastoreo.

El resto de los modelos tuvieron los menores ajustes, sin embargo, es importante señalar que en el modelo de las variables demográficas (Modelo 2), la escolaridad y los jornales dedicados a ovinos ($P<0.05$) fueron significativas. En tanto, para el caso de las variables de los medios productivos (Modelo 3) el tamaño de rebaño tuvo efecto significativo en las horas de pastoreo ($P<0.05$).

Cuadro 4: Estimación marginal de los modelos de efectos fijos del pastoreo de ovinos

Efecto	Modelo 1 Nulo	Modelo 2 Variables demográficas	Modelo 3 Medios productivos	Modelo 4 Mercados e ingresos	Modelo 5 General	Modelo 6 General y contextual
Intercepto	6.0*** (0.41) ¹	7.9*** (0.9)	6.1*** (0.44)	4.69*** (0.62)	6.8*** (1.1)	-7.8* (3.5)
Edad jefe de familia		-0.02 (0.14)			0.04 (0.14)	0.07 (0.14)
Experiencia en ovinos		0.04 (0.13)			0.01 (0.13)	-0.01 (0.13)
Escolaridad		-0.24* (0.12)			-0.2 (0.13)	-0.2 (0.13)
Integrantes de familia		0.21 (0.13)			0.19 (0.13)	0.2 (0.12)
Jornales dedicados a ovinos		-1.16* (0.51)			-1.2* (0.51)	-1.2* (0.5)
Valor de instalaciones			-0.04 (0.13)		0.04 (0.14)	0.08 (0.14)
Tierra total			0.003 (0.12)		-0.08 (0.12)	-0.09 (0.12)
Tamaño de rebaño			0.30* (0.13)		0.15 (0.17)	0.15 (0.16)
Servicios técnicos			-0.76 (0.77)		-0.58 (0.81)	-0.62 (0.8)
Productores organizados			-0.07 (0.43)		-0.14 (0.43)	-0.41 (0.4)
Nivel de ingresos				0.57** (0.24)	0.39 (0.32)	0.29 (0.31)
Venta de corderos				-0.02** (0.01)	-0.01 (0.01)	-0.01 (0.01)
Tipo de mercado				0.37 (0.27)	0.36 (0.29)	0.32 (0.26)
Porcentaje de pastoreo						0.16*** (0.04)

Porcentaje de compra de forrajes						-0.03 (0.02)
Efectos aleatorios						
Nivel 1:	3.27***	3.17***	3.21***	3.16***	3.1***	3.03***
Unidad de producción	(0.29)	(0.28)	(0.29)	(0.28)	(0.27)	(0.27)
Nivel 2:	0.76	0.54	0.63	0.45	0.33	0
Sistema de producción	(0.52)	(0.39)	(0.45)	(0.34)	(0.27)	
<hr/>						
Ajuste del modelo						
AIC	1048.6	1048.7	1052.6	1043.4	1053.8	1044.0
BIC	1047.4	1045.6	1049.5	1041	1047.6	1037.3

¹ Error estándar en paréntesis; * nivel de significancia 0.05, ** nivel de significancia 0.01, *** nivel de significancia 0.001; AIC= criterio de Akaike; BIC= criterio bayesiano de Schwarz.

Discusión

El pastoreo es la base de la alimentación de los ovinos en los agroecosistemas de clima templado en el área de estudio y ampliamente valorado en otros estudios, por su importancia en la agricultura sostenible⁽³⁸⁾, la economía local⁽³⁹⁾ y servicios ecosistémicos para mantener o mejorar la condición de la tierra⁽⁴⁰⁾. En la crianza de ovinos asociada a los cultivos agrícolas el uso del pastoreo es similar a otros estudios de la región templada del Centro del país^(8,11,30), pero diferente a las condiciones de producción de ovinos en el estado de Oaxaca⁽⁴¹⁾. Como se ha señalado en otros estudios, con la integración de la crianza de ovinos a la agricultura se asegura la sobrevivencia de ambos procesos productivos⁽⁴²⁾ y con la mínima inversión de capital en alimentación complementaria, sanidad e infraestructura^(3,4). También, se encontró en este estudio que el uso del pastoreo se está reduciendo en los sistemas de sierra y en valles-cultivos diversificados; lo cual coincide con los trabajos de investigación donde la tierra se usa solo para la agricultura⁽⁵⁾, como es el caso del valles-cultivos diversificados, y la estabulación de los ovinos^(6,11) y el cambio a otros usos del suelo⁽⁴³⁾, como se encontró en el sistema Sierra.

En la complejidad de los ecosistemas del pastoreo intervienen variables del contexto y de la unidad de producción. En la predicción de la varianza entre las asociaciones de cultivos y ovinos, con modelos multinivel, el porcentaje de pastoreo y porcentaje de productores que compran forraje tuvieron diferencia en el tiempo de pastoreo ($P < 0.05$), esto coincide con Hernández-Valenzuela⁽⁴⁴⁾, en donde, el pastoreo fue el factor que explicó la varianza en la crianza de ovinos en el Valle de Toluca, Estado de México. La asociación ovinos-cereales, maíz-bosque y montaña alta destacan por su dependencia del pastoreo, uso de tierra propia y

disponibilidad de áreas para pastoreo, y se pueden considerar como los sistemas más apropiados para la producción de ovinos. En estos sistemas se coincide que, al disponer de tierras de pastoreo, los ovinos pastan libremente y el costo de la suplementación es más bajo^(5,11).

La estrategia para el aprovechamiento de las áreas de pastoreo en este estudio fue el movimiento diario de los rebaños, como se indicó para el estado de Tlaxcala⁽⁸⁾; esto también se observó en los sistemas ganaderos sedentarios de África, donde el movimiento del ganado es parte de las estrategias de adaptación a la variabilidad climática⁽²⁵⁾. En tanto que, 14 % de los productores de los sistemas maíz-bosque y ovinos-cereales compran alimentos complementarios para los ovinos, la cual es una práctica muy extendida en el Estado de México⁽¹¹⁾, y queda comprendida dentro de lo que se denomina alimentación focalizada⁽¹⁸⁾, sobre todo, para la engorda de corderos^(4,7). Así mismo, representan estrategias de adaptación a la degradación de pastizales, a las fluctuaciones en los precios de los productos pecuarios y a cambios en las políticas y recursos institucionales^(25,40).

Las variables del sistema de producción que no tuvieron efecto significativo con el tiempo de pastoreo son la temperatura, precipitación promedio anual y altitud; lo cual puede ser un indicador de la adaptación de la crianza de ovinos a las condiciones ambientales de la región, porque se ha encontrado que son variables que influyen en el pastoreo y en los recursos relacionados^(45,46).

En las unidades de producción, las variables demográficas, medios productivos, mercados e ingresos tuvieron efecto en el tiempo de pastoreo, como se ha señalado en otros estudios^(19,25). En las variables demográficas, el tiempo de pastoreo se reduce a mayor nivel de escolaridad del titular, integrantes de la familia y jornales dedicados a ovinos; lo cual, se relaciona con cambios en los sistemas de producción, sobre todo, con la alimentación en corral, que puede implicar una reconversión del sistema a la semi-estabulación y con esto, la modificación en la intensidad de uso de los pastizales⁽⁴⁷⁾. En este estudio, el uso de la mano de obra tuvo efecto negativo en las horas de pastoreo, lo cual se explica por ser la producción de ovinos una actividad secundaria y cuando el número de jornales dedicados a ovinos es mayor se reduce el tiempo de pastoreo, por dedicarse la familia a la agricultura y disponen de forrajes de las cosechas agrícolas para la alimentación en corral y por lo cual, se reduce el tiempo de pastoreo. Lo anterior, se contraponen a lo señalado en China⁽⁴⁸⁾, en donde, a mayor uso de mano de obra se tuvieron más ovinos y más uso de pastoreo en la unidad de producción. Por otra parte, en la asociación ovinos-cereales, la mayor experiencia en la crianza de ovinos se relacionó con mayor porcentaje de pastoreo como estrategia de adaptación en el proceso de producción.

En los medios productivos se tuvo una reducción del tiempo de pastoreo cuando los productores tienen mayor inversión en infraestructura, acceso a la tierra y organización. El

tamaño de rebaño tuvo efecto significativo en las horas de pastoreo ($P < 0.05$), un menor número de ovinos en los rebaños se relacionó con el uso de alimentación en corral; con el cambio en el tamaño de rebaño, los productores tienen la ventaja de desarrollar mecanismos de resiliencia para el manejo de la carga ganadera y el uso de la vegetación⁽⁴⁹⁾. En este sentido, se registró en otros estudios que el acceso a tierra con potencial para el pastoreo permite fomentar la crianza de ovinos⁽⁵⁰⁾, como fue el caso de la montaña alta, donde se utilizan matorrales y pastizales, que generalmente son áreas comunes de pastoreo⁽¹²⁾ y son las de mayor preferencia para los pastores⁽⁵¹⁾.

Otras variables importantes a considerar en el pastoreo de los ovinos es la organización de productores y la asistencia técnica. En este estudio la organización de los productores fue mayor cuando el sistema producto ovino fue parte de las políticas de los gobiernos estatales, como es el caso del estado de Tlaxcala. En los modelos multinivel, la organización de productores no tuvo efecto significativo para explicar el tiempo del pastoreo en la unidad de producción, sin embargo, como se ha señalado que el cooperativismo, las relaciones de confianza mutua y las estrategias políticas aumentan el nivel de eficiencia de un clúster pecuario⁽⁵²⁾, fomentan cambios en el uso de la tierra⁽²⁷⁾ o el manejo colectivo de los recursos⁽⁵³⁾ y decisiones en el tipo de pastoreo⁽²⁷⁾.

El menor ingreso y venta de corderos en los productores está cambiando el uso del pastoreo por la alimentación en corral; lo cual se explica por el menor tamaño de rebaño, que no justifica el uso de pastoreo; según Herrera-Haro *et al*⁽¹¹⁾, la producción de ovinos es importante cuando aporta hasta 50 % de los ingresos de la unidad de producción. Para el caso de los mercados e intercambios, se coincide de que estos constituyen un mecanismo para la adaptación a los riesgos ambientales y para regular las densidades ganaderas locales, con lo que podría reducirse la vulnerabilidad ecológica del agropastoralismo^(54,55). En el acceso al mercado, el sistema ovinos-cereales del estudio es el más favorecido, por la cercanía con el Valle de México, que es el principal centro de consumo de barbacoa en el país⁽⁵⁶⁾ y por orientarse a la producción de corderos para venta, como se ha señalado para otras regiones⁽⁵⁵⁾; al cual se le ubicó como una forma típica de producción de áreas templadas con escasa precipitación, similar a los sistemas de producción de ovinos en España⁽⁵⁷⁾. Por otra parte, las funciones no comerciales de los ovinos aún son difíciles de valorar, pero pueden contribuir a una mejor comprensión de los sistemas mixtos y las decisiones de gestión de los productores⁽¹²⁾; los cuales son importantes cuando se adapta el uso del pastoreo a las regulaciones de las comunidades y a la prohibición del uso de tierras en las áreas naturales protegidas.

Finalmente, el pastoreo como medio de producción para la crianza de ovinos ha estado sometido a varias presiones de regulación o eliminación en el área de estudio. Dentro de estas acciones están las políticas públicas y normas de las comunidades que pretenden regular o acabar con el pastoreo^(39,40,58,59). Las primeras, con los decretos de creación de áreas naturales

protegidas en las zonas templadas y con el programa sembrando vida en los años recientes; con la ventaja de que los ovinos siempre han formado parte del paisaje y los habitantes los aceptan como la especie menos destructivas en las regulaciones comunitarias del pastoreo⁽²⁷⁾. También se ha mencionado, que las regulaciones comunitarias del pastoreo del ganado son una oportunidad para la gobernanza de los bosques y tierras de uso común⁽⁶⁰⁾. En tanto que, para evitar la desaparición de las actividades relacionadas con el uso del pastoreo, se ha sugerido el control de la carga ganadera y la definición de zonas comunitarias de interés especial para la conservación, como una forma de mantener el uso del paisaje, los valores culturales y la biodiversidad en un ecosistema⁽³⁹⁾; revalorar la fertilización *in situ* de las tierras de pastoreo^(59,61) y crear o promover marcas de calidad o indicaciones geográficas protegidas que ofrezcan a los consumidores garantías sobre el origen de los ovinos, el sistema de producción o platillos tradicionales⁽²⁾.

Conclusiones e implicaciones

A nivel de sistema de producción son dos las condiciones que determinan el uso del pastoreo: a) el agroecosistema de alta montaña y maíz-bosque tienen las condiciones ambientales y disponibilidad de tierras óptimas para el uso del pastoreo en la producción de ovinos, y b) la asociación ovinos-cereales, es el agroecosistema típico de producción de ovinos en regiones con escasa precipitación, mayor uso de pastoreo y compra forraje complementario, tierra propia, productores organizados y mejores condiciones de mercado. A nivel de la unidad de producción se establece que, a mayor nivel educativo, con rebaños pequeños y uso de cruza de ovino de pelo, existe un cambio a la alimentación en corral; esta estrategia es apropiada en caso de escasez de tierra, regulación del uso del bosque por las comunidades o por la presencia de áreas naturales protegidas; en tanto que, los productores de más edad, con acceso a la tierra y mayor experiencia presentaron arraigo para la crianza de ovinos dependientes de la tierra. La explicación de la varianza del tiempo de pastoreo indica que en la crianza de ovinos dependientes de la tierra intervienen variables demográficas, de medios productivos, mercado e ingresos y del contexto, las cuales, al ser analizadas con modelos lineales mixtos, permiten predecir la tendencia del uso del pastoreo con base a la información de las unidades productivas y del sistema de producción.

Agradecimientos

A los productores por proporcionar información para el estudio, como parte del seguimiento de su unidad de producción y de las poblaciones de ovinos locales en los estados de Puebla y Tlaxcala.

Literatura citada:

1. Estevez-Moreno LX, Sanchez-Vera E, Nava-Bernal G, Estrada-Flores JG, Gomez-Demetrio W, Sepúlveda WS. The role of sheep production in the livelihoods of Mexican smallholders: Evidence from a park-adjacent community. *Small Ruminant Res* 2019;178:94-101.
2. Alanís PJ, Miranda-de la Lama GC, Mariezcurrena-Berasain MA, Barbabosa-Pliego A, Rayas-Amor AA, Estévez-Moreno LX. Sheep meat consumers in Mexico: Understanding their perceptions, habits, preferences and market segments. *Meat Sci* 2022;184:108705.
3. Hernández-Marín JA. Contribución de la ovinocultura al sector pecuario en México. *Agroproductividad* 2017;10(3):87-93.
4. Bobadilla-Soto EE, Ochoa-Ambriz F, Perea-Peña M. Dinámica de la producción y consumo de carne ovina en México 1970 a 2019. *Agron Mesoam* 2021;32(3):963-982.
5. Vélez A, Espinosa JA, De la Cruz L, Rangel J, Espinoza I, Barba C. Caracterización de la producción de ovino de carne del estado de Hidalgo, México. *Arch Zootec* 2016;65(251):425-428.
6. Calderón-Cabrera J, Santoyo-Cortés VH, Martínez-González EG, Palacio-Muñoz VH. Business models for sheep production in the Northeast and center of the State of Mexico. *Rev Mex Cienc Pecu* 2022;13(1):145-162.
7. Vázquez-García V. Sheep production in the mixed-farming systems of Mexico: Where are the women? *Soc Range Manag* 2013;35(6):41-46.
8. Galaviz-Rodríguez JR, Vargas-López S, Zaragoza-Ramírez JL, Bustamante-González A, Ramírez-Bribiesca E, Guerrero-Rodríguez JDD, Hernández Zepeda JS. Evaluación territorial de los sistemas de producción ovina en la región nor-poniente de Tlaxcala. *Rev Mex Cienc Pecu* 2009;2(1):53-68.
9. Vázquez-Martínez I, Jaramillo-Villanueva JL, Bustamante-González A, Vargas-López S, Calderón-Sánchez F, Torres-Hernández G, Pittroff W. Estructura y tipología de las unidades de producción ovinas en el centro de México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo* 2018;15(1):85-97.
10. Díaz-Sánchez CC, Jaramillo-Villanueva JL, Bustamante-González Á, Vargas-López S, Delgado-Alvarado A, Hernández-Mendo O, Casiano-Ventura MÁ. Evaluación de la rentabilidad y competitividad de los sistemas de producción de ovinos en la región de Libres, Puebla. *Rev Mex Cienc Pecu* 2018;9(2):263-277.

11. Herrera-Haro JG, Álvarez-Fuentes G, Bárcena-Gama R, Núñez-Aramburu JM. Caracterización de los rebaños ovinos en el sur del Distrito Federal, México. *Acta Universitaria* 2019;29:e2022:1-15.
12. Hellin J, Erenstein O, Beuchelt T, Camacho C, Flores D. Maize stover use and sustainable crop production in mixed crop-livestock systems in Mexico. *Field Crops Res* 2013;153:12–21.
13. Beuchelt TD, Camacho VCT, Göhring L, Hernández RVM, Hellin J, Sonder K, Erenstein O. Social and income trade-offs of conservation agriculture practices on crop residue use in Mexico's central highlands. *Agric Syst* 2015;134:61–75.
14. Chávez-Espinoza M, Cantú-Silva I, González-Rodríguez H, Montañez-Valdez OD. Sistemas de producción de pequeños rumiantes en México y su efecto en la sostenibilidad productiva. *Rev MVZ Córdoba* 2022;27(1):e2246.
15. Mondragón-Ancelmo J, Hernández-Martínez J, Rebollar-Rebollar S, Salem AZM, Rojo-Rubio R, Domínguez-Vara IA, García-Martínez A. Marketing of meat sheep with intensive finishing in southern state of Mexico. *Trop Anim Health Prod* 2014;46(8):1427-1433.
16. Martínez-González EG, Muñoz-Rodríguez M, García-Muñiz JG, Santoyo-Cortés VH, Altamirano-Cárdenas JR, Romero-Márquez C. El fomento de la ovinocultura familiar en México mediante subsidios en activos: lecciones aprendidas. *Agron Mesoam* 2011;22(2):367-377.
17. Mondragón-Ancelmo J, Domínguez-Vara I, Rebollar-Rebollar S, Bórquez-Gastélum J, Hernández-Martínez J. Margins of sheep meat marketing in Calpulhuac, state of Mexico. *Trop Subtrop Agroecosystems* 2012;15:105-116.
18. Delgadillo JA, Martin GB. Alternative methods for control of reproduction in small ruminants: A focus on the needs of grazing industries. *Anim Front* 2015;5(1):57-65.
19. Samuels MI, Allsopp N, Hoffman MT. Traditional mobile pastoralism in a contemporary semiarid rangeland in Namaqualand, South Africa. *Rangel Ecol Manag* 2019;72(1):195-203.
20. Milton SJ, Hoffman MT. The application of state-and-transition models to rangeland research and management in arid succulent and semi-arid grassy Karoo, South Africa. *Afr J Range Forage Sci* 1994;11(1):18-26.

21. Shackleton CM, Shackleton SE, Cousins B. The role of land-based strategies in rural livelihoods: the contribution of arable production, animal husbandry and natural resource harvesting in communal areas in South Africa. *Dev South Afr* 2001;18(5):581-604.
22. Sullivan S, Rohde R. Guest Editorial: On non-equilibrium in arid and semi-arid grazing systems. *J Biogeogr* 2002;29(12):1595-1618.
23. Maharjan SK, Sigdel ER, Sthapit BR, Regmi BR. Tharu community's perception on climate changes and their adaptive initiations to withstand its impacts in Western Terai of Nepal. *Int NGO J* 2011;6(2):35-42.
24. López-I-Gelats F, Contreras-Paco JL, Huilcas-Huayra R, Siguas-Robles OD, Quispe-Peña EC, Bartolomé Filella J. Adaptation strategies of Andean pastoralist households to both climate and non-climate changes. *Hum Ecol* 2015;43(2):267–282.
25. Wang J, Brown DG, Agrawal A. Climate adaptation, local institutions, and rural livelihoods: A comparative study of herder communities in Mongolia and Inner Mongolia, China. *Glob Environ Change* 2013;23(6):1673-1683.
26. Tittonell P, Gérard B, Erenstein O. Tradeoffs around crop residue biomass in smallholder crop-livestock systems—What's next? *Agric Syst* 2015;134:119-128.
27. Novotny IP, Fuentes-Ponce MH, Tittonell P, Lopez-Ridaura S, Rossing WA. Back to the people: The role of community-based responses in shaping landscape trajectories in Oaxaca, Mexico. *Land Use Policy* 2021;100:104912.
28. Francois MJ, Pérez-Vega BA. La representatividad del Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas (SINAP). *Gaceta Ecológica* 2005;74:5-14.
29. INEGI. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Anuario estadístico del estado de Puebla. Puebla, México. 2013; 341-342.
30. Vázquez-Martínez I, Vargas LS, Zaragoza RJL, Bustamante GA, Calderón SF, Rojas AJ, Casiano VMÁ. Tipología de explotaciones ovinas en la sierra norte del estado de Puebla. *Tec Pecu Mex* 2009;47(4):357-369.
31. CONAGUA. Comisión Nacional del Agua. Información climatológica del estado de Puebla 2021. <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/normales-climatologicas-por-estado> Consultado diciembre 2021.
32. Mendenhall W, Scheaffer LR, Ott LR. Elemento de muestreo. Edit. Thompson. 1987.
33. SAS Institute Inc. SAS/STAT® 14.3 User's Guide. Cary, NC. SAS Institute Inc. 2017.

34. Giannakis E, Bruggeman A. Exploring the labour productivity of agricultural systems across European regions: A multilevel approach. *Land Use Policy* 2018;77:94-106.
35. Wang J, Xie H, Fisher H. *Multilevel models, applications using SAS*. Higher Education Press and Walter de Gruyter GmbH & Co. KG. Printed in Germany. 2012.
36. Bell BA, Ene M, Smiley W, Schoeneberger JA. A multilevel model primer using SAS proc mixed. *SAS Global Forum* 2013; 1–19. <http://support.sas.com/resources/papers/proceedings13/433-2013.pdf>.
37. SAS Institute Inc. *Base SAS® 9.1.3 Procedures Guide, Second ed, Volumes 1, 2, 3, and 4*. Cary, NC: SAS Institute Inc. 2006;1201-1214. https://support.sas.com/documentation/onlinedoc/91pdf/sasdoc_913/base_proc_8977.pdf.
38. Hultgren J, Hiron M, Glimskär A, Bokkers EA, Keeling LJ. Environmental quality and compliance with animal welfare legislation at Swedish cattle and sheep farms. *Sustainability* 2022;14(3):1095.
39. Arévalo JR, Encina-Domínguez JA, Mellado M, García-Martínez JE, Cruz-Anaya A. Impact of 25 years of grazing on the forest structure of *Pinus cembroides* in northeast Mexico. *Acta Oecol* 2021;111:103743.
40. Rimbey NR, Tanaka JA, Torell LA. Economic considerations of livestock grazing on public lands in the United States of America. *Anim Front* 2015;5(4):32-35.
41. Martínez-Peña M, Villagómez-Cortés JA, Mora-Brito ÁH. Rentabilidad del sistema de producción ovina en el bajo mixte, Oaxaca, México. *Agrociencia* 2018;52:107-122.
42. Bobadilla-Soto EE, Ochoa-Ambriz F, Perea-Peña M. El sistema de producción maíz-ovinos de traspatio en los pueblos Mazahuas del Estado de México. *Rev Terra Latinoamericana* 2022;40:1-10.
43. Vieyra DJE, Losada CHR, Zavala MEZ, Cortés ZJ, Grande CJD, Vargas RJM, Luna RL, Alemán LV. Producción ovina de Hidalgo: Una mirada a los sistemas de producción en 14 comunidades indígenas. *Brazilian Appl Sci Rev* 2020;4(5):2830-2850.
44. Hernández-Valenzuela D, Sánchez VE, Gómez DW, Martínez GCG. Productive and socioeconomic characterization of a sheep production system in a natural protected area in Mexico. *Rev Mex Cienc Pecu* 2019;10(4):951-965.
45. Plaza J, Palacios C, Abecia JA, Nieto J, Sánchez-García M, Sánchez N. GPS monitoring reveals circadian rhythmicity in free-grazing sheep. *Appl Anim Behav Sci* 2022;105643.

46. Wang G, Mao J, Fan L, Ma X, Li Y. Effects of climate and grazing on the soil organic carbon dynamics of the grasslands in Northern Xinjiang during the past twenty years. *Glob Ecol Conserv* 2022;34:e02039.
47. Echavarría-Chairez FG, Serna-Pérez A, Salinas-Gonzalez H, Iñiguez L, Palacios-Díaz MP. Small ruminant impacts on rangelands of semiarid highlands of Mexico and the reconverting by grazing systems. *Small Ruminant Res* 2010;89(2-3):211-217.
48. Hu Y, Huang J, Hou L. Impacts of the grassland ecological compensation policy on household livestock production in China: an empirical study in Inner Mongolia. *Ecol Econ* 2019;161:248-256.
49. Cingolani AM, Noy-Meir I, Díaz S. Grazing effects on rangeland diversity: a synthesis of contemporary models. *Ecol Appl* 2005;15(2):757-773.
50. Lorenzen M, Orozco-Ramírez Q, Ramírez-Santiago R, Garza GG. The forest transition as a window of opportunity to change the governance of common-pool resources: The case of Mexico's Mixteca Alta. *World Dev* 2021;145:105516.
51. Shridhar VMP, Waghmare PG, Chandra S, Biradar CB, Rathod P. Sheep production practices in North Karnataka. *The Pharma Innov J* 2022;SP-11(4):220-225.
52. González-Sosa F, Montano-Rivas JA. Capital social y eficiencia en clúster ovino. *Investigación Administrativa* 2022;51(129):1-16.
53. Kihui EN. Basic capability effect: Collective management of pastoral resources in southwestern Kenya. *Ecol Econ* 2016;123:23-34.
54. Agrawal A, Perrin N. Climate adaptation, local institutions, and rural livelihoods. Adapting to climate change: thresholds, values, governance. 2008;350-367. IFRI Working Paper # W08I-6. 2008. <http://www.umich.edu/~ifri/>.
55. Pulido MA, Estévez-Moreno LX, Villarroel M, Mariezcurrena-Berasain MA, Miranda-De la Lama GC. Transporters knowledge toward preslaughter logistic chain and occupational risks in Mexico: An integrative view with implications on sheep welfare. *J Vet Behav* 2019;33:114-120.
56. Rodríguez-Licea G, García-Salazar J, Hernández-Martínez J. Identificación de conglomerados para impulsar las cadenas productivas de carne en México. *Agron Mesoam* 2016;27(2):353-365.
57. Caballero R, Fernández-Santos X. Grazing institutions in Castilla-La Mancha, dynamic or downward trend in the Spanish cereal-sheep system. *Agricultural Systems* 2009;101(1-2):69-79.

58. Sawalhah MN, Holechek JL, Cibils AF, Geli HM, Zaied A. Rangeland livestock production in relation to climate and vegetation trends in New Mexico. *Rangel Ecol Manag* 2019;72(5):832-845.
59. Murphy JS, York R, Huerta HR, Stephens SL. Characteristics and metrics of resilient forests in the Sierra de San Pedro Martír, Mexico. *For Ecol Manag* 2021;482:118864.
60. Monter YMF, Tovar JCC, Gutiérrez FR. Territorial aptitude for ecological cattle production systems and the conservation of jaguar (*Panthera onca*) and puma (*Puma concolor*) in Guerrero, Mexico. *Appl Anim Sci* 2021;37(2):225-237.
61. Furtado T, King M, Perkins E, McGowan C, Chubbock S, Hannelly E, Rogers J, Pinchbeck G. An exploration of environmentally sustainable practices associated with alternative grazing management system use for horses, ponies, donkeys and mules in the UK. *Animals* 2022;12(2):151.