



**MODELO DE SIMULACIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD DE UN REBAÑO
CAPRINO EN PASTOREO BAJO DIFERENTES ESCENARIOS DE
MANEJO EN LA REGION SUROESTE DE TAMAULIPAS, MÉXICO**

**SIMULATION MODEL OF THE PRODUCTIVITY OF A HERD OF GOATS
GRAZING UNDER DIFFERENT SCENARIOS OF HANDLING IN THE
SOUTHWESTERN REGION OF TAMAULIPAS, MEXICO**

**Arnulfo Villanueva-Castillo^{a*}, Juan Carlos Martínez-González^b,
Heriberto Díaz-Solís^c, W. E. Grant^d, Arnulfo Moreno-Valdés^e
and José María Tapia-González^f**

^a *Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Tecamachalco, Puebla, México, email: v_arnulfo@yahoo.com*

^b *Unidad Académica Multidisciplinaria Agronomía y Ciencias, Universidad Autónoma de Tamaulipas, Cd. Victoria Tamaulipas, México, email: jmartinez@uat.edu.mx*

^c *Departamento de Recursos Naturales, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México, email: hdiaz@uaaan.mx*

^d *Department of Wildlife and Fisheries Science, Texas A&M University, College Station, Texas, USA, email: wgrant@tamu.edu*

^e *Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria, Cd. Victoria, Tamaulipas, México, email: leptonycteris@hotmail.com*

^f *Centro Universitario del Sur, Universidad Autónoma de Guadalajara, Cd. Guzmán, Jalisco, México, email: joset@cusur.udg.mx*

**Corresponding author*

RESUMEN

Un importante reto para la ganadería contemporánea es satisfacer la demanda de productos alimenticios pecuarios para la población mundial. Los modelos bio-económicos integran la biología animal con la administración de las empresas rurales, lo que los posibilita para estudiar sistemas de producción animal complejos. El objetivo de este trabajo fue la simulación del comportamiento productivo de un rebaño en pastoreo bajo diferentes condiciones de manejo. Se construyó un modelo simple de simulación del rebaño caprino (MSSRC), del crecimiento forrajero en los agostaderos y de la dinámica de la población animal en la región semiárida del Suroeste de Tamaulipas bajo tres escenarios ambientales (300, 500 y 700 mm de precipitación media anual), para evaluar la sustentabilidad en pastoreo extensivo con diferentes cargas animal. Se simularon 9 escenarios producto de los tres regímenes de precipitación combinados con tres niveles de carga inicial (HI) y carga máxima de hembras (HMAX). Se evaluaron las variables: venta de cabritos (C), hembras totales (HT), venta de hembras de reemplazo (VREE), venta de cabras de desecho (CDS), condición del agostadero (CA), consumo voluntario (CV), porcentaje de mortalidad (M), porcentaje de abortos (A), y la utilidad promedio anual (UPA), en tres periodos de 10 años, en una superficie de 1000 ha. Se realizó un análisis de

varianza, encontrándose diferencias estadísticas ($P < 0.05$) en todas las variables en estudio. Para la producción de biomasa, en los escenarios de 300, 500 y 700 mm de precipitación pluvial, se encontró una producción primaria neta de 1132.2 ± 362.9 , 2244.2 ± 517.0 y 3113.3 ± 598.7 kg MS ha⁻¹ año⁻¹, y el promedio de producción anual de cabritos fue de 36 ± 17 , 90 ± 31 y 132 ± 37 , respectivamente. Los escenarios con carga baja mostraron un comportamiento estable al mantener una producción constante de cabritos a lo largo de los tres periodos de simulación (0-30 años), esto permitió una mejor utilidad promedio anual, con un mejor concepto de sustentabilidad que aquellos con cargas más pesadas. El uso del modelo es una herramienta para tomar decisiones en el manejo del pastoreo extensivo en los agostaderos naturales. Con el modelo desarrollado y sus resultados, se obtiene la capacidad de analizar y reflexionar en aquellas estrategias de mejora productiva que se quieran implementar.

Palabras Claves: Modelo; Simulación; Manejo; Caprinos; Agostaderos; Zonas Semiáridas.

SUMMARY

One of the major current challenges in the livestock industry is meeting the demand for livestock products of a growing world population. Bio-economic models integrate animal biology and rural enterprise

management, which allows for the study of complex animal production systems. This paper aims at simulating the productive performance of a herd grazing under different management conditions. To do so, a simple simulation model of a goat herd (MSSRC), rangeland forage growth, and the dynamics of animal population in the semi-arid region of Southwestern Tamaulipas under three rainfall scenarios (300, 500, and 700 mm. of average annual precipitation) was built. The objective was to evaluate the sustainability of extensive grazing under different animal loads. Nine different scenarios were evaluated, corresponding to the different combinations of the three rainfall scenarios and three levels of initial loads (Hi) and nannies maximum load (HMAX). Evaluated variables are: kids sales (C); total number of nannies (female goats, HT); sales of replacement nannies (VREE); sales of scrap goats (CDS); rangeland condition (CA); voluntary consumption (CV); mortality rate (M); abortion rate (A); and average annual profits (UPA). Simulation was performed on a 1,000 hectares plot, and three 10^{year} periods were used as time framework. Analysis of Variance (ANOVA) revealed statistically significant

($P < 0.05$) differences between scenarios for all studied variables. Biomass primary net production under the 300, 500, and 700 mm of rainfall was found to be $1,132.2 \pm 362.9$, $2,244.2 \pm 517.0$, and $3,113.3 \pm 598.7$ kg DM ha⁻¹ per year, and the average annual production of kids was 36 ± 17 , 90 ± 31 , and 132 ± 37 , respectively. The low loads scenarios showed a stable behavior, with a constant rate of kids production over the three simulation periods (0-30 years), which resulted in a higher average annual profit, and a more sustainable profile than those with heavier loads. The proposed simulation model is a good tool for decision-making in the management of extensive grazing in natural rangelands. The model and its results improve managers' abilities to analyze and implement required measures to increase productive efficiency.

Keywords: Model, simulation, management, goats, grasslands, semi-arid zones.

Keywords: simulation; model; management; goats; rangelands; semi-arid zones.

INTRODUCCIÓN

Un importante reto para la ganadería global contemporánea es la necesidad de aumentar en forma amplia la disponibilidad de productos pecuarios. Este problema es de naturaleza urgente, debiéndose hacer un examen exhaustivo de todos los medios posibles de producción de animales para abasto, a fin de guardar paralelismo con el rápido crecimiento de la población. En México, solo el 6% de los sistemas económicos de producción de alimentos de origen animal son de ganado caprino, en relación al número de cabezas representa el 15% del hato nacional, es de importancia mencionar que la producción de carne de caprino no está acorde con el crecimiento de la población del país (Félix *et al.*, 2001). El problema del déficit de productos cárnicos de origen caprino, es de tan alarmante magnitud, que para satisfacer este déficit es necesario un aumento total de todos los recursos y entre ellos, el del hato nacional y su productividad.

Por esta razón, es apropiado y conveniente examinar las posibilidades que ofrece la explotación de las cabras y su valor potencial en el abastecimiento de la población humana con proteína animal. Aunque este déficit se observa en todo México, en las regiones semiáridas del Noreste el problema es más evidente (CTN, 2006). La falta de tecnificación en los sistemas, por lo general conlleva a tomar decisiones que a la larga perjudican, ya sea la producción de

carne o el medio ambiente. Es necesario encontrar el punto de equilibrio entre una producción sustentable y un medio ambiente sano. Los modelos bio-económicos, que integran al animal con la administración de las explotaciones, se están utilizando cada vez más para estudiar sistemas complejos de producción animal.

Entre las metodologías y herramientas actualmente en uso destacan los análisis de sistemas y los modelos de simulación, estos permiten, apoyándose en los avances de la informática al estudiar y predecir con gran precisión el comportamiento de los sistemas productivos frente a cambios en el manejo, en las tecnologías, en los mercados, en el clima, entre otros (Grant *et al.*, 2001; Aguilar *et al.*, 2002). Holmann (2002) citó que con el uso de modelos de simulación se pueden cuantificar los impactos de nuevas alternativas forrajeras sobre los costos de producción y sus implicaciones para la adopción tecnológica y la sostenibilidad del uso de la tierra. Por su parte, Gargano *et al.* (1999) utilizaron Programación Lineal y Monte Carlo para obtener numerosos modelos alternativos cercanos al óptimo cuyos índices productivos y económicos debían ser más altos que los hallados en los sistemas actuales.

El objetivo general del presente trabajo es: Desarrollar un modelo robusto para simular estrategias de manejo en un sistema de producción de carne de caprinos (MSSRC). Objetivos específicos: 1)

Evaluar la dinámica poblacional y el crecimiento forrajero en los agostaderos de la región semiárida del suroeste de Tamaulipas. 2) Evaluar la sustentabilidad del sistema de producción de carne bajo condiciones de pastoreo extensivo con diferentes cargas animal. 3) evaluar la producción de MS de los pastizales sujetos a tres niveles de precipitación pluvial (300, 500 y 700 mm/año).

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación

La cabecera municipal de Tula, Tamaulipas, México, forma parte de la región denominada Ex-Cuarto Distrito. Geográficamente se localiza a 23° 00' LN, 99° 42' LO y a 1170 msnm (INEGI, 1993). El clima está clasificado como BS0 Seco, la precipitación y temperatura media anual son de 400.3 mm y 19.6° C, respectivamente (SMN, 2001).

Recursos forrajeros

Los tipos de vegetación predominantes en el área de estudio son: Matorral Inerme Parvifolio; Matorral Crasirosulifolio Espinoso; y Matorral Alto Espinoso con Espinas Laterales (COTECOCA, 1973). El matorral inerme parvifolio se caracteriza por la predominancia de arbustos bajos o medianos de 1 a 3 m de altura, deciduos por un periodo breve, desprovistos de estipulas y provistos de hojas o foliolos pequeños. Las especies que caracterizan este tipo de vegetación son: gobernadora (*Larrea tridentata*), hojasén (*Flourensia cernua*) y mezquite (*Prosopis glandulosa*).

Mientras que el tipo vegetativo de matorral crasirosulifolio espinoso se caracteriza por la predominancia de agrupaciones de plantas arbustivas o subarbustivas, con hojas alargadas y estrechas, dispuestas en forma de roseta, carnosas y espinosas; destacan especies como lechuguilla (*Agave lechuguilla*), guapilla (*Hechtia glomerata*), sotol (*Dasyllirion texanum*), nopales (*Opuntia spp.*).

Por últimos en el tipo de matorral alto espinoso con espinas laterales, la vegetación está formada por arbustos altos o árboles bajos generalmente espinosos con hojas o foliolos pequeños; también se encuentran mezquites, tenaza (*Pithecellobium brevifolium*), chaparro prieto (*Acacia rigidula*), guajillo (*Acacia berlandieri*) y granjeno (*Celtis pallida*).

Las gramíneas que están presentes en los tres tipos vegetativos anteriores son: navajita roja (*Bouteloua trifida*), navajita velluda (*Bouteloua hirsuta*), navajita azul (*Bouteloua gracilis*), banderilla (*Bouteloua cuiipendula*), pajita temprana (*Setaria macrostachya*), tridente fino (*Tridens eragrostoides*), zacate escobilla

(*Leptoloma cognatum*), liendrilla (*Muhlenbergia monticola*), entre otras.

Recursos animales

Aún y cuando en el área de estudio se ubican bovinos, equinos, ovinos y caprinos, se decidió trabajar con esta última especie por ser relevante en la región.

Situación del Modelo

Este trabajo se baso en la construcción de un modelo robusto de simulación de un rebaño caprino (MSSRC) y el desarrollo de la biomasa en el agostadero de la región semiárida del suroeste de Tamaulipas.

Descripción del modelo de simulación

La construcción del modelo se realizó en el programa de simulación STELLA® y se basó en otros modelos construidos y validados en pastizales (Díaz-Solís *et al.*, 2003; Teague *et al.*, 2008a) y en la opinión de expertos.

El modelo de simulación se describe por cada uno de los diferentes submodelos: biomasa en el agostadero; dinámica poblacional y producción del rebaño; y manejo

Tabla 1. Características de los diferentes escenarios simulados.

Escenario	Precipitación (mm)	Hembras inicio (N)	Hembras Carga Máxima (N)
1	300	10	100
2	300	50	300
3	300	150	600
4	500	100	400
5	500	250	600
6	500	500	1000
7	700	200	700
8	700	300	1400
9	700	600	2100

Submodelo de biomasa en el agostadero

La precipitación mensual aleatoria (PMA) se obtuvo de una distribución normal con media igual a la precipitación media mensual (PMM) y con desviación estándar provenientes de registros meteorológicos de las estaciones climáticas reportadas por Tapia (2002). La PMM se estimó como el producto de la precipitación promedio anual (PPA) del sitio que se simuló, por la proporción de la precipitación anual en cada mes del año (Tapia, 2002).

PMA= (PMM, D.E.)

PMM= PPA*Proporción de la precipitación anual
Biomasa verde y seca

La dinámica de la variable de estado biomasa verde (BV) es representada como:

$$BV(t) = BV(t - dt) + (BVM - BVC - H - S)*dt$$

Donde: BVM es la biomasa verde producida por mes, y la biomasa verde consumida (BVC), heladas (H) y senescencia (S) son pérdidas provocadas por el consumo animal, la presencia de heladas y los procesos de senescencia respectivamente (Díaz-Solís *et al.*, 2003).

La producción de biomasa verde mensual (BVM), se basa en lo planteado por Le Houreou (1984) quien reportó en condiciones parecidas a la región en estudio, en promedio se producen 4 kg MS ha-1 por cada milímetro de precipitación. Entonces:

$$BVM = PMM*4*CA;$$

Donde CA es la condición del agostadero que se explica más adelante.

La biomasa verde consumida (BVC) es calculada como:

$$BVC=CT*FVD$$

Donde CT (Consumo total) = CARGA_ANIMAL*(40*CV*30); donde la carga animal es estimada en cabras por hectárea y el 40 representa el peso vivo medio por cabra y el 30 tiene la función de expresar el consumo por mes. El consumo voluntario (CV) es la proporción del peso que cada cabra consume por día y esta variable se estima como: CV= 0.04*IEA. IEA se define como índice del estado actual del agostadero en relación a su estado promedio y se define más adelante. FVD se refiere a la proporción de forraje verde en la dieta y se estimó con el modelo de selectividad propuesto por Díaz-Solís *et al.* (2003).

La pérdida de BV por heladas (H) se definió como:
 $H = IH*(BV-BVC);$

Donde IH es un índice relacionado con la temperatura media mensual y las pérdidas por senescencia (Díaz-Solís *et al.*, 2003) se calcularon como:

$$S=IS*(BV-BVC-IH)$$

Donde el índice de senescencia (IS) lo reporta Díaz-Solís *et al.* (2003). La biomasa seca (BS) se calculó de la siguiente manera:

$$BS(t) = BS(t - dt) + (H + (S*0.75) - BSC - DLP) * dt$$

Donde, las pérdidas por heladas (H) y una parte de la senescencia de la BV son un ingreso a BS (Díaz-Solís *et al.*, 2003). Las salidas de esta variable de estado son la biomasa seca consumida (BSC) y las pérdidas por descomposición a largo plazo (DLP)

La BSC es calculada como:

$$BSC=CT*(1-FVD);$$

Donde CT es el consumo total explicado anteriormente y FVD es la proporción de forraje verde en la dieta; ID es el índice de pérdida por descomposición expresado por mes (Díaz-Solís *et al.*, 2003). Las pérdidas por descomposición a largo plazo (DLP) se definieron como:

$$DLP= ID*(BS-BSC)$$

El índice del estado del agostadero (IEA) es una estimación mensual del estado del agostadero en relación a su estado promedio. El estado promedio del agostadero se estimó usando el mismo modelo pero eliminando la aleatoriedad.

Se obtuvieron los valores de biomasa total promedio (BTP) mensuales (Tabla 2) y en cada paso mensual del modelo se calcula IEA= BTA/BTP; donde BTA es la biomasa total actual obtenida con el modelo aleatorio (BV+BS) y BTP es la biomasa total promedio obtenida con el modelo determinístico. De esta forma, IEA es igual a 1 cuando la biomasa total actual, es igual a la biomasa total promedio.

El porcentaje de utilización del agostadero (PUA) controla la condición del agostadero ($CA=HTOTAL/AREA$) propuesto por Díaz-Solís *et al.* (2003) y se calcula como:

$$PUA= (CT/PPNA)*100;$$

Donde CT es el consumo total anual del rebaño y PPNA es la producción primaria neta anual calculada como:

$$PPNA= Precipitación media anual (PMA)*4$$

Dinámica Poblacional y Producción del Rebaño

La dinámica de la población animal está compuesta por una serie de 6 variables de estado que representan el número de hembras en cada clase de edad (años 1 a 6). Después de 6 años las hembras son desechadas. Las hembras de reemplazo ingresan a la clase A1 y 12 meses después pasan a la clase A2 y así sucesivamente (Figura 1).

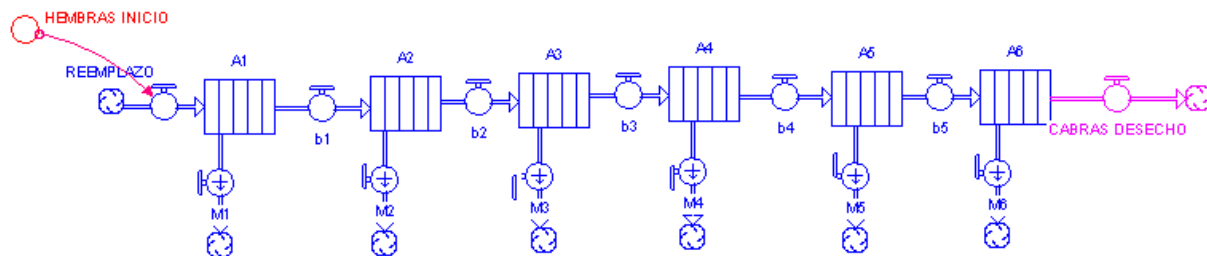


Figura 1. Submodelo de la dinámica de la población (Stella).

La regla de decisión para el ingreso de hembras jóvenes al rebaño reproductor es la siguiente:

```
IF TIME=1 THEN HEMBRAS_INICIO ELSE IF
HREE<<HEMBRAS_FALTANTES THEN
HEMBRAS_FALTANTES ELSE HREE
```

Donde HREE son las hembras jóvenes del mismo rebaño y de que se dispone para servir de reemplazos, y las HEMBRAS FALTANTES es la diferencia entre la carga máxima seleccionada y la carga actual ($HEMBRAS_FALTANTES = MAXIMA_CARGA - HEMBRAS_TOTALES$), donde HEMBRAS TOTALES es igual a la suma de las hembras en todas las clases de edad. Cuando las hembras de reemplazo disponibles (HREE) superan a las hembras faltantes, la diferencia es considerada como venta de hembras de reemplazo (Amer et al., 2003).

Dentro de la dinámica de la población, existen tres variables que son afectadas por el índice del estado del agostadero (IEA) explicado anteriormente. Estas variables son: preñez, mortalidad y abortos.

La preñez varía de acuerdo a lo siguiente:

Preñez = $(0.65 * IEA) * RANDOM(0.8, 1.2)$; IEA tiene una relación directa con preñez y se le asignó un efecto aleatorio de 20% (Agraz, 1989).

La mortalidad (Agraz, 1989) tiene una relación inversa con el IEA y se define como: $Mortalidad = (IEA - 1 * 0.04) * RANDOM(0.8, 1.2)$.

Donde el 0.04 representa una mortalidad promedio del 4% anual. Estas variables de estado se utilizaron como bandas transportadoras (conveyors) y se le asignó el mismo efecto aleatorio de 20% (Torres-Acosta et al., 2001).

Los abortos también tienen una relación inversa con el IEA y en promedio se considera que los abortos representan el 4% de las hembras preñadas en cada mes de gestación (Torres-Acosta et al., 2001; Mellado y Pastor, 2006).

Abortos = $(PREÑADAS * 0.04 * IEA^{-1}) * RANDOM(0.8, 1.2)$.

El empadre se simula en el mes de octubre de cada año y de las hembras totales, pasan a la categoría de hembras preñadas el producto de $HEMBRAS_TOTALES * PREÑEZ$. En la variable de estado preñez permanecen por cinco meses (Agraz, 1989) y los machos son mantenidos solo un mes como lactantes y son vendidos y las hembras se mantienen para reemplazos durante cinco meses y posteriormente pueden pasar al grupo reproductor, o ser vendidas (VREE) si se alcanzó la carga máxima seleccionada.

Los nacimientos se estiman como el número de partos $* 1.7$ y la cantidad de machos es igual al número de crías destetadas $* Random(0.4, 0.6)$ y la diferencia son hembras (García, 2006).

Submodelo de Manejo

Las características de manejo que se pueden simular con MSSRC son las siguientes: Ambiente; MSSRC simula tres ambientes con promedio de precipitación anual de 300, 500 y 700 mm, ya que se considera que en ese gradiente de precipitación está la región de producción caprina del suroeste de Tamaulipas.

HEMBRAS INICIO: Esta variable representa el número de hembras con que se funda el rebaño. El usuario establece este número de hembras que afecta los costos, la condición del agostadero, el crecimiento del rebaño y las ventas.

MÁXIMA CARGA: Esta variable (hembras carga máxima) representa el número máximo de hembras reproductoras para un predio de 1000 ha.

Las variables mencionadas, tienen efectos sobre la respuesta biológica y económica de la unidad de producción, así que el modelo es una herramienta útil para analizar los diferentes escenarios.

Las ventas (UPA) presentadas por MSSRC son:

Hembras de desecho, cabritos, y hembras de reemplazo.

Análisis Estadístico

Para encontrar diferencias estadísticas se realizó un análisis de varianza de una vía, con prueba de Tukey (MINITAB, 2002), de los nueve escenarios (ESC; Tabla 1) simulados a 30 años con registro de promedios en cada período de 10 años con 100 repeticiones.

Las variables evaluadas fueron; venta de cabritos producidos (C), hembras totales (HT), venta de hembras para reemplazo (VREE), venta de cabras de desecho (CDS), condición del agostadero (CA), consumo voluntario (CV), mortalidad adultos (M), abortos (abortos).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Simulación de los Efectos de la Precipitación en la Biomasa

Se encontraron diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los diferentes ambientes de precipitación, con lo que respecta a la producción de biomasa. En los ambientes con los niveles de 300, 500 y 700 mm de precipitación pluvial, se observó una media de 1132 ± 363 , 2244 ± 517 y 3113 ± 599 kg MS ha⁻¹ de producción primaria neta anual, respectivamente. Esta información es superior a la reportada por Lane *et al.* (1998), para condiciones similares a las del presente estudio; estos autores reportaron una producción promedio de 1300 kg MS ha⁻¹ de biomasa. De igual modo, Hernández (2002) encontró una media 1600 kg MS ha⁻¹ para el rendimiento de forraje en un estudio

realizado en la misma zona.

La simulación de la producción de biomasa en el Modelo MSSRC por efectos de la precipitación, fue la variable más importante en la estimación de la capacidad de producción animal de los agostaderos. El Modelo tiene la capacidad de predecir el mantenimiento y producción animal a partir de las condiciones del agostadero a lo largo del año productivo (Díaz-Solís *et al.*, 2003). En la Figura 3 se presenta la dinámica de la biomasa total presente en el agostadero en los diferentes meses del año.

Respuesta Biológica y Económica del Rebaño Caprino

Se encontraron diferencias significativas entre los nueve escenarios ($P < 0.05$) para todas las variables de respuesta evaluadas en análisis de varianza de una vía.

Producción de Cabritos

En el MSSRC, la producción de cabritos es determinada por el consumo voluntario de MS de la hembra ya que en condiciones de manejo extensivo esta variable ejerce una influencia determinante (Fernández *et al.*, 2001). Como se observa en la Figura 2, las cargas animal altas produjeron una reducción de los cabritos vendidos en los períodos 2 y 3 (años 10 al 30).

En los escenarios con baja carga animal (escenarios 1, 4 y 7), la producción de cabritos se incrementó o al menos se mantuvo con el paso del tiempo debido a que este manejo permitió el incremento de la condición del agostadero (Figura 4).

Tabla 2. Biomasa total promedio (BTP; kg ha⁻¹) en los diferentes meses del año, en tres niveles de precipitación.

Mes	Precipitación (mm)		
	300 (BTP; kg ha ⁻¹)	500 (BTP; kg ha ⁻¹)	700 (BTP; kg ha ⁻¹)
Enero	1,046	1,857	2,669
Febrero	740	1,332	1,926
Marzo	558	1,017	1,480
Abril	458	847	1,240
Mayo	454	846	1,244
Junio	571	1,053	1,541
Julio	713	1,299	1,893
Agosto	908	1,636	2,371
Septiembre	1,061	1,902	2,751
Octubre	1,236	2,205	3,184
Noviembre	1,263	2,255	3,259
Diciembre	1,210	2,170	3,141

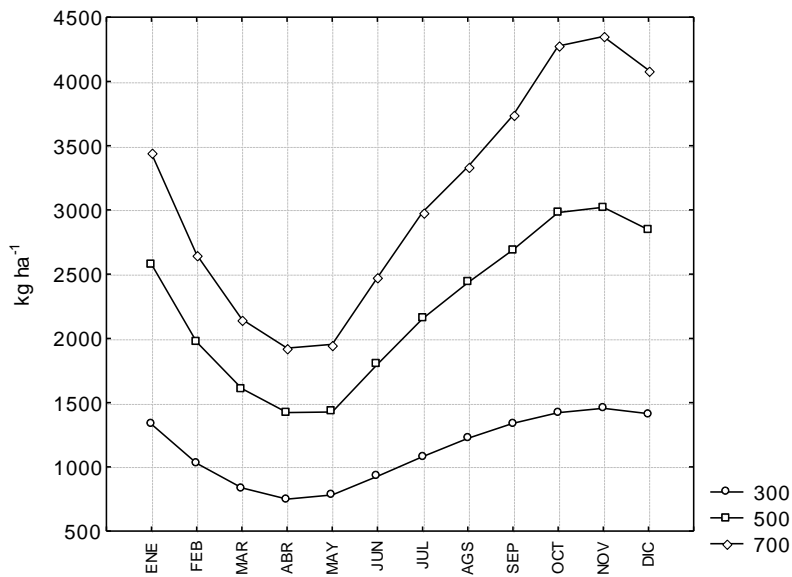


Figura 2. Dinámica de la biomasa total (kg ha^{-1}) en los diferentes ambientes de precipitación pluvial (300, 500 y 700 mm) anuales.

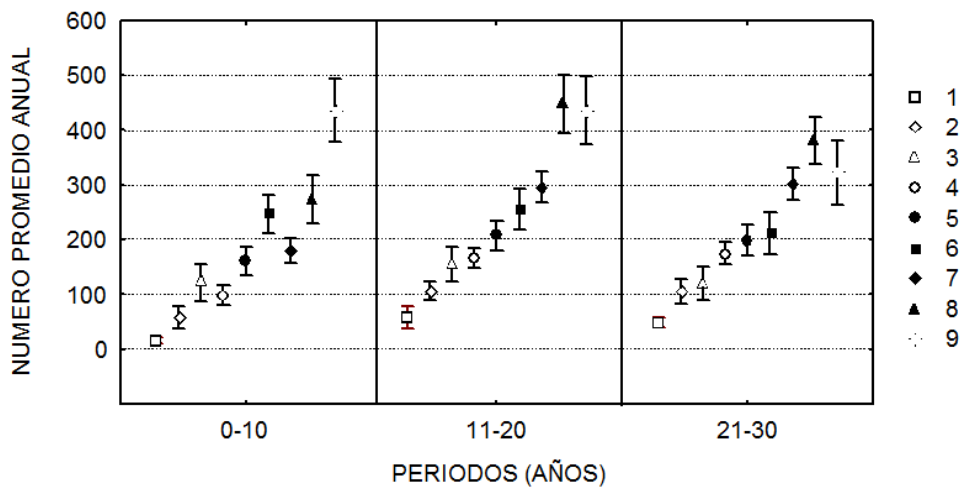


Figura 3. Número de cabritos promedio vendidos por año (Media±D.E.) en los nueve escenarios y tres periodos de tiempo.

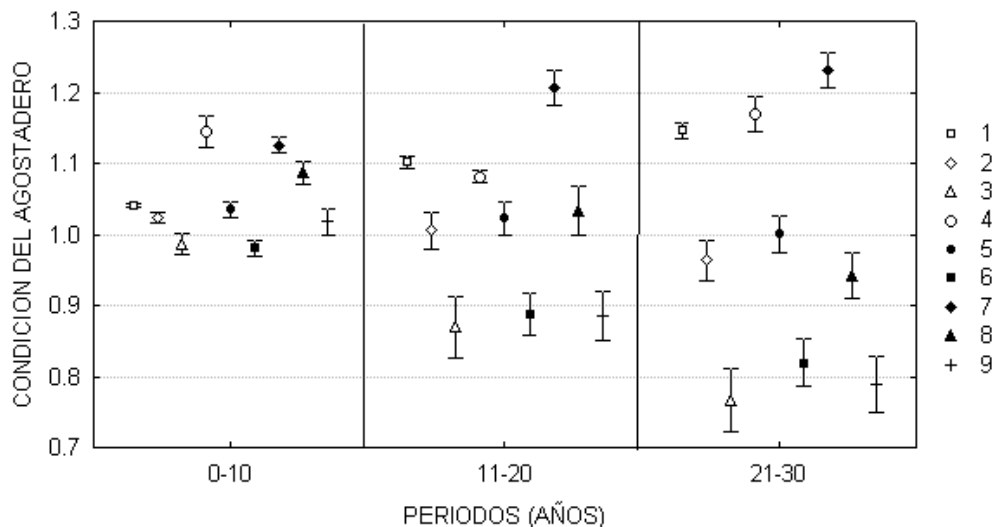


Figura 4. Condición del agostadero (Media±D.E.) en los nueve escenarios y tres periodos de tiempo.

La condición del agostadero se mejora con el tiempo produciendo más forraje como ocurriría en condiciones reales, lo que a su vez, proporciona una mejor cantidad de alimento disponible a los animales. Aunque es determinante la nutrición de los animales principalmente de las hembras en época de empadre, es importante mantener un manejo nutricional durante todo el año, que sea adecuado para favorecer mejores porcentajes de producción, ya que para que un cabrito nazca es necesario que la madre este en buena condición corporal (Menéndez-Buxadera *et al.*, 2003) y alcance los requerimientos necesarios para llevar a cabo la gestación, ya que el indicador más importante de la productividad del rebaño es la cosecha de cabritos (Gall *et al.*, 1981; Martínez *et al.*, 2002). Fernández *et al.* (2001) establecieron que los factores climáticos fueron los que más afectaron al productor al no estar equipado con infraestructura adecuada para almacenar alimentos y proporcionarlos en las épocas donde hay mala calidad de forraje en el agostadero.

La principal tendencia observada en los resultados, es que a medida que se incrementa la precipitación y la carga animal (hembras al inicio y carga máxima), se incrementa la producción de cabritos; sin embargo, en el ambiente de 700 mm (escenarios 7, 8 y 9) la producción de cabritos es menor con la carga animal alta en relación con la carga intermedia. De hecho, la tendencia de la condición del agostadero es a disminuir a medida que se incrementa la carga animal como lo describe Díaz-Solís *et al.*, (2003), y este efecto es mayor a medida que pasa el tiempo (10, 20 o 30 años, Figura 4).

La carga animal alta (escenarios 3, 6 y 9), tiene como respuesta una mayor producción animal y utilidad en

el corto plazo (0-10 años), pero reduce la condición del pastizal y en el largo plazo (21-30 años), tanto la producción animal como la utilidad económica son menores al compararse con el uso de cargas moderadas o bajas. Como se muestra en la Figura 4, la condición del agostadero disminuyó en los escenarios con cargas altas en la última década de la simulación, no así en los escenarios con carga moderada o baja, en los cuales se mantuvo estable la condición del agostadero.

Hembras Totales (HT)

Otro de los factores bajo estudio en la presente investigación fue la de observar el comportamiento del número de hembras totales en el rebaño (vientres) a través de las tres décadas de simulación, ya que esta variable es la base para la producción de cabritos (Gall *et al.*, 1981; García *et al.*, 2006), aunque también se incrementa el número de muertes, por lo que hay que balancear la carga animal para tener una alta producción de cabritos sin que el porcentaje de mortalidad sea muy alto (Torres-Acosta *et al.*, 2001). Al observar la mortalidad de las hembras adultas, los escenarios con menos promedio de hembras muertas fueron aquellas con carga baja, y los escenarios con cargas moderadas a altas, manifestaron un incremento de esta variable en sus diferentes periodos (décadas), esto debido a la alta cantidad de animales totales y una pobre nutrición. En el presente estudio se encontraron porcentajes de mortalidad muy parecidos a los encontrados por Torres-Acosta *et al.* (2001), dentro de un rango de 2.9 al 16%, aunque Mahanjana y Croje (2000) han reportado mortalidades de hasta 47%.

Tabla 3. Recomendaciones de manejo y sus respuestas simuladas (Media±D.E.) en el último período (21-30 años) para los 3 ambientes de precipitación simulados.

Precipitación anual (mm)	Manejo			Respuestas simuladas			UPA (\$)
	Hembras al inicio	Carga máxima	Condición de agostadero	Cabritos vendidos	Hembras de reemplazo vendidas	Venta de cabras de desecho	
	(# vientres)	(# vientres)		(#/año)	(#/año)	(#/año)	
300	10	100	1.15±0.01	49±9	28±9	14±1	32801±7606
500	100	400	1.17±0.03	174±22	95±21	59±3	114000±18148
700	200	700	1.23±0.03	302±31	160±30	100±3	194802±25549

En la mortalidad (HT) presente en los rebaños en los diferentes escenarios, es importante destacar que debe ser el resultado de la combinación de los factores climáticos (precipitación) y los de manejo (carga animal). Cuando las cabras no reciben una alimentación suficiente se vuelven susceptibles a enfermedades y pueden propiciar una disminución en su producción o su muerte como lo destaca Mellado y Pastor (2006); lo que ocasiona una reducción en la eficiencia productiva del rebaño. La identificación oportuna de indicadores altos de mortalidad en un rebaño permite dictar medidas correctivas y preventivas que mejoren la eficiencia productiva del mismo (Torres-Acosta *et al.*, 2001).

Por otro lado, el comportamiento de los abortos, se caracteriza por incrementarse con el tiempo con mayor magnitud en las cargas altas (escenarios 3, 6 y 9; Mellado y Pastor, 2006). En esta variable recaen muchas de las pérdidas económicas de las unidades de producción al disminuir la cantidad de cabritos vendidos. Esta falla reproductiva de los caprinos en sistemas extensivos se debe a una restricción alimenticia durante la gestación. Los abortos en estas condiciones podrían presentarse en más de la mitad de las cabras gestantes como lo menciona Mellado y Pastor (2006), los programas alimenticios deben estar acorde a la demanda que tienen las hembras en las diferentes etapas fisiológicas de su vida productiva.

El modelo predice un porcentaje de aborto del 18 al 34%, muy parecido a los reportado por Mellado y Pastor (2006), pero dicho reporte determina que un número alto de abortos en cabras en condiciones de escasez de forraje, obedece a la particular condición reproductiva de la cabra, la cual responde al estímulo del macho cabrío, aún con bajas reservas corporales de energía puede llegar a quedar gestante, aunque la cabra continua con la preñez pero pueden suspenderla, según la disponibilidad de nutrientes.

De todas las causas que provocan el aborto en las cabras, la desnutrición quizá sea la más relevante en muchos de los sistemas extensivos de caprinos en

zonas áridas (Mahanjana y Cronje, 2000). El efecto del déficit de nutrientes sobre la ocurrencia de abortos en las cabras se manifiesta más intensamente en esta especie, debido a su particular estrategia reproductiva, según Mellado y Pastor (2006).

Es evidente que en los escenarios con baja carga animal se observó un mayor consumo voluntario, como en los escenarios 1, 2 y 3 en la tercera década simulada (21-30 años) con un 5, 3 y 2% del peso vivo de consumo diario, respectivamente; se destaca que esos valores están muy apegados a la realidad. En los escenarios con carga alta alcanzó un menor consumo, debido a la menor disponibilidad de forraje, como lo establecen Ramos y Tennesen (1993). Los animales necesitan un período prolongado de tiempo, para establecer el equilibrio entre el consumo y la producción, lo que provoca la pérdida de peso, el enflaquecimiento de los animales, al llegar a un estado crítico, provoca notable descenso de la producción y se ve reflejado en la baja fecundidad de las hembras y la presencia de abortos, formándose un círculo vicioso que se repetirá hasta que el biosistema colapse (Bodisco *et al.*, 1975).

El número inadecuado de ganado pastoreado en el pasado ayuda a explicar el estado actual de la vegetación y proporciona rastros con respecto a los cambios que podrían ser necesarios (Kemp y Magee, 1970; FAO, 2008). Para evitar el deterioro del pastizal, se necesitarán mayores cambios en el manejo en un pastizal con manejo tradicional, sin utilizar sistemas de protección del forraje, como la rotación, de un pasto descansado (Teague *et al.*, 2004). Además, el productor debe estar preparado con algún programa de suplementación si quiere alcanzar un buen nivel productivo (Lentz *et al.*, 1989).

En el ecosistema simulado están interactuando una serie de factores que afectan la productividad y condición del agostadero, estos agrupan factores abióticos y bióticos, desatancando dentro de los factores abióticos la precipitación pluvial, y el suelo, en cuanto a factores bióticos, estos inciden en los

cambios que experimentan estos ecosistemas y determinan las diferentes etapas ecológicas, en el cual se generan una serie de transformaciones debidas a la acción antrópica, es decir provocada por los sistemas de manejo propuestos por esta investigación.

La decisión de iniciar con cargas bajas, sacrificaría la utilidad promedio de la primera década, pero ganará mejores resultados en mantener saludable el sistema y por lo tanto prolongar la actividad productiva del rebaño. Sin embargo, bajo condiciones de carga animal alta las utilidades al principio de la simulación son altas pero al mediano y largo plazo se observarían pérdidas (Patón *et al.*, 1997).

En cierta medida debe existir el conocimiento que permita una utilización redituable de los ecosistemas, que son muy sensibles en las zonas semiáridas, ya que la presión de pastoreo, debe estar acorde a dichos sistemas. Los estratos arbustivos presentan en general una respuesta más lenta al pastoreo y al efecto de la época de utilización en el tiempo, pero se puede apreciar que los primeros signos de deterioro son la reducción del tamaño y vigor de los arbustos, como también una disminución considerable de la cobertura de las especies forrajeras (Patón *et al.*, 1997). La frecuencia e intensidad de utilización afectan el rendimiento, calidad y o permanencia de las especies forrajeras dependiendo de las características morfológicas y fisiológicas de las plantas dominantes y de las condiciones ecológicas existentes (Chávez *et al.*, 2000; Patón *et al.*, 1999).

Hembras de Reemplazo

Un aporte significativo del MSSRC es poder estimar la cantidad de hembras destinadas a la venta como reemplazo (Amer *et al.*, 2003), esta cantidad se incrementó a medida que aumentó el número de hembras en la variable de carga máxima, pero no así en precipitaciones de 700 mm (escenario 9). Para el tercer periodo el promedio de hembras de reemplazo para la venta disminuyó considerablemente. El número de hembras de reemplazo para venta disminuyó al incrementar la carga animal como resultado de que se reduce el consumo de MS y por consiguiente la preñez; y la mortalidad y abortos son mayores. Con el MSSRC se puede determinar la cantidad de hembras de reemplazo que están disponibles para la venta (una vez cubiertas las necesidades de la explotación), por condiciones intrínsecas en el sistema.

Estos resultados son el reflejo de cómo las condiciones del agostadero (Figura 4) son afectadas por la decisión de incrementar la carga animal y por consiguiente las utilidades. Aún con ese enfoque, se debe tomar en cuenta que se está sometiendo al medio ambiente a un estrés tal que el colapso se observará en la tercera década de la simulación. Por lo anterior,

el productor debe considerar las consecuencias económicas y ecológicas a largo plazo (Bourdon, 1998).

Cabras de Desecho

En los primeros 10 años la cantidad de hembras de desecho es limitada debido a que no se ha alcanzado la carga máxima. A medida que se estabiliza el hato (segundo y tercer periodo) aumenta el número de hembras de desecho. Estas hembras son importantes en programas de repoblación en rebaños que se inician en esta actividad, por ejemplo en los programas emergentes de competitividad, como son los de repoblamiento animal o apoyo a triponas (CTN, 2006).

Amer *et al.* (2003) señalan que las hembras de desecho tienen un valor económico relativo para el productor que las deseche, pero que en otros rebaños pueden ser utilizadas para el repoblamiento. Si los animales tuvieran cierto grado de encaste, el uso de estas hembras de desecho tendrían mayor valor para la nueva empresa a bajo costo. Otro valor agregado puede ser el llevar registros de los animales para proveer de esta información a los compradores (Bourdon, 1998).

Utilidad Promedio Anual

Se observó que la utilidad promedio anual (UPA), tuvo un comportamiento similar al de producción de cabritos en el primer periodo simulado (1-10 años). En el segundo período esta relación se mantiene para los ambientes de precipitación de 300 y 500 mm (escenarios 1 a 6) pero no en el ambiente de 700 mm, donde la utilidad disminuye para la carga intermedia y la carga alta.

En todos los escenarios en la tercera década se observó una relación negativa entre carga animal y la UPA; y esta relación es más fuerte a medida que el ambiente es más lluvioso. Estos resultados son similares a los reportados por Atkinson y Watson (1996), quienes establecen que los problemas ecológicos y el deterioro del recurso del agostadero generan baja productividad.

Un sistema de pastoreo saludable permite tener cierto margen de utilidad, como lo reportan Beukes *et al.* (2002) siempre y cuando el manejo este acorde a la precipitación. Lugares con precipitación promedio menor a los 200 mm, requieren mayor inversión en infraestructura, para dar soporte en resguardo climático, pero también en alimentación ya que sin instalaciones y equipo adecuado, el productor tendría que incrementar su gasto al adquirir alimentos ya elaborados para sus rebaños.

El MSSRC combina el submodelo económico, los resultados del modelo de la dinámica de la población y los componentes biológicos del modelo bio-económico para predecir el funcionamiento de las variables venta de cabritos, hembras de reemplazo y hembras de desecho. Roughsedge et al. (2003) reportaron que los partos, destetes de becerros, novillonas de reemplazo, novillonas y vacas de desecho fueron consideradas para obtener los valores de UPA (Montaldo y Meza, 1999; Roughsedge *et al.*, 2003).

Las decisiones de manejo analizadas en esta investigación, preparan al productor caprino y a quienes toman las decisiones políticas en los programas de desarrollo regional a plantearse nuevas interrogantes, al momento de vincular su propio sistema con las necesidades del mercado actual.

Dentro de los escenarios con carga baja la UPA fue aumentando con el tiempo; en cambio, en todos los ambientes de precipitación, la UPA se redujo con la carga animal alta en el último periodo simulado (21-30 años). De tal modo, que para tener un rebaño sostenible se debe buscar la relación biológica y económica sana (Spedding, 1995). Con los resultados de la simulación se puede predecir que existen riesgos de fracaso ecológico si se maneja la carga animal alta por periodos mayores a los 20 años.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El modelo es una herramienta para tomar decisiones en el manejo del pastoreo extensivo en los agostaderos naturales del suroeste del Estado de Tamaulipas debido a los resultados obtenidos dentro del marco de literatura actual. Se recomienda el manejo de la carga animal que pueda interactuar con el medio ambiente, sin perjudicar la condición del agostadero. Aún con regímenes de precipitación pluvial alta (700 mm), se recomienda la carga animal moderada para evitar el deterioro del agostadero, los que permitirá buena respuesta económica.

Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento a José Alberto Cuéllar Álvarez, Hugo Melitón Vázquez Galván, Dr. Assefaw Tewolde (†), al Proyecto de Desarrollo Comunitario Mediante Sistemas Agrosilvopastoriles en el IV Distrito, a la Universidad Autónoma de Tamaulipas y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

REFERENCIAS

Agraz, G. A. 1989. Caprinotecnia 2. Gestación. Primera Edición. Editorial LIMUSA, México, D. F. 1666 p.

Aguilar, C., H. Cortés y R. Allende. 2002. Los modelos de simulación. Una herramienta de apoyo a la gestión pecuaria. Archivos Latinoamericano Producción Animal. 10(3):226-231.

Amer, P. R., T. Roughsedge, B. Lowman and G. Simm. 2003. Deterministic predictions of beef cow herd population dynamics with alternative replacement strategies. Animal Science 77:395-401.

Atkinson, D. and C. A. Watson, 1996. The environmental impact of intensive systems of animal production in the lowlands. Animal Science. 63:353-361.

Beukes P.C., R. M. Cowling and S. I. Higgins, 2002. An ecological economic simulation model of a non-selective grazing system in the Nama Karoo, South Africa. Ecological Economic 42 (1) 221-242.

Bodisco V., A. Valle, S. Mendoza, E. García., 1975. Consumo voluntario de materia seca, peso y producción de vacas lecheras. Agronomía Tropical 25(6): 533-547.

Bourdon R. M., 1998. Shortcoming of currents genetic evaluation systems. Journal Animal Science. 76: 2308-2323.

Chávez S. A. H., Pérez G. A., Sánchez G. E. J., 2000. Intensidad de pastoreo y Esquemas de utilización en la selección de la dieta del ganado Bovino durante la sequia. Técnica Pecuaria México. 38(1):19-34.

COTECOCA. 1974. Coeficientes de agostadero de la República Mexicana. Estado de Tamaulipas. Comisión técnico consultiva para la determinación regional de los coeficientes de agostadero. Secretaría de Agricultura y Ganadería. México, D.F. 152 p.

CTN. 2006. Evaluación Subprograma Vientres Triponas Caprinos y Ovinos. Consorcio Técnico del Noreste de México A.C. (CTN), SAGARPA, Noviembre. Nuevo León, México. 7 p.

Diaz-Solís H., M M Kothmann, W. T Hamilton and W. E Grant. 2003. A simple Ecological Sustainability Simulator (SESS) for stocking rate management on semi-arid grazinglands. Agricultural Systems. 76:655-680.

- FAO. 2008. Condición del pastizal y de los sitios en relación con la capacidad de pastoreo y la producción animal. <http://www.fao.org/docrep/x5320s/x5320s09.htm#La%20condición%20del%20pastizal%20y%20los%20sitios%20-%20herramientas> (Consultado 18/11/2008).
- Félix U. L., Félix U. D., Rubio L. M. S., Méndez M. R. D., Trujillo G. A. M., 2001. Análisis comparativo de carne y productos cárnicos de cabrito Alpino Francés y alpino Francés (3/4) con Boer (1/4). *Técnica Pecuaria Mexico*, 39(3): 237-244.
- Fernández, J. L., A. E. Rabasa, S. A. Saldaño, M. L. Cruz y C. V. Gutiérrez., 2001. Mortalidad perinatal de cabritos criollos en condiciones de manejo mejorado. *Zootecnia Tropical* 19 (1) 73-79.
- Gall C., Pauckner W. and Philippen H., 1981. Perspectives on the utilization of goats. *Animal Research and Development* 14:7-16.
- García B. O., García B. E., Bravo J., Kennedy B., 2006. Análisis de un experimento de cruzamiento usando caprinos criollos e importados. IV. Fertilidad y prolificidad. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)* 13:443-455.
- Gargano, A. O., M. A. Adúriz y M. C. Saldungaray. 1999. Modelación de agrosistemas con programación lineal y Monte Carlo para el partido de Coronel Rosales, Argentina. *Revista Facultad Agronomía (LUZ)* 16:562-576.
- Grant, W. E., S. L. Marín y E. K. Pedersen. 2001. *Ecología y manejo de recursos naturales: análisis de sistemas y simulación*. Primera Edición. Editorial Agroamerica. San José, Costa Rica. p. 340.
- Hernández, D. R. 2002. Evaluación de arbustos forrajeros y bloques multinutricionales para cabras en el Altiplano semiárido de Tamaulipas. Tesis Doctorado. Unidad Académica Multidisciplinaria Agronomía y Ciencias. Universidad Autónoma de Tamaulipas. Cd. Victoria, Tamaulipas, México. 72 p.
- Holmann, F. 2002. El uso de modelos de simulación como herramienta para la toma de decisiones en la promoción de nuevas alternativas forrajeras: el caso de Costa Rica y Perú. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal* 10(1):35-45.
- INEGI. 1993. Anuario Estadístico de Tamaulipas. Edición 1992. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Aguascalientes, Ags., México. p. 289.
- Kemp K. E. and Magee W. T. 1970. Evaluation of a breeding plan for swine by Monte Carlo Simulation. *Journal Animal Science*. 31: 1065-1073.
- Lane D. R., Coffin, D. P., Lauenroth, W. K., 1998. Effects of soil texture and precipitation on above ground net primary productivity and vegetation structure across the central grassland region of the United States. *J. Vegetation Science*, 9 (2): 239-250.
- Le Houreou, H. N. 1984. Rain use efficiency: A unifying concept in arid-land ecology. *Journal of Arid Environments* 7: 213-247.
- Lentz E. L., Cartwright T. C. and Blackburn H. D. 1989. Simulated optimal genotypes for intensive dairy goat production in western Kenya. *Journal Animal Science* 67(supl. 1): 76-77(abstracts).
- Mahanja A. M. and Cronje P.B., 2000. Factors affecting goat production in a communal farming system in the Eastern Cape region South Africa. *South African Journal of Animal Science* 30 (2): 149-154.
- Martínez G. J. C., Zúñiga B. J. H., Soto C. J. J. y De León F. R. 2002. Peso al nacer y a la venta de cabritos en un sistema de pastoreo trashumante en Burgos, Tamaulipas. Memoria. II Taller sobre Sistemas de Producción Ovina del Noreste y Golfo de México. UAT. Cd. Victoria, Tamaulipas, México. Pp. 61-63.
- Mellado M. y Pastor Francisco J., 2006. Aborto no infeccioso en caprinos. *Ciencia Animal Brasileira* 7(2):167-175.
- Menéndez-Buxadera, G. Alexandre†, N. Mandonnet, M. Navès and G. Aumont. 2003. Direct genetic and maternal effects affecting litter size, birth weight and pre-weaning losses in Creole goats of Guadeloupe. *Animal Science*, 77: 363-369.
- Montaldo V. H. H. y Meza C. A. H. 1999. Índices de eficiencia bio-económica en la producción de carne y leche en cinco genotipos caprinos. XIV Reunión Nacional de

- Caprinocultura. 6 y 7 sep. Colegio de Posgraduados, México. Pp. 43-48.
- Patón D., R. Osorio, P. Azòcar, D. Bote, H. Rojo, A. Matas y J. Tovar. 1997. Estimación de la fitomasa forrajera de especies arbustivas típicas del clima mediterráneo árido chileno mediante análisis multicriterio. Archivos de Zootecnia. 46:225-237.
- Patón D., R. Osorio, P. Azòcar, J. Muriel y J. Tovar. 1999. Efecto de la precipitación y la intensidad de uso sobre el nivel de forraje del Rumpiato (*Bridgesia incisifolia*. Ext Cambess). Archivos de Zootecnia. 48:3-11.
- Ramos A. and T. Tennessen, 1993. A note on the effect of dietary variety on food intake of cattle. Anim. Prod. 57:323-325.
- Roughsedge T., P. R. Amer and G. Simm, 2003. A bio-economic model for the evaluation of breeds and mating systems in beef production enterprises. Animal Science 77: 403-416
- SMN. 2001. Normales climatológicas 1971-2000, Estado de Tamaulipas, Estación Tula. Servicio Meteorológico Nacional. (Consultado 18/11/2008). <http://smn.cna.gob.mx/>
- Spedding C. R. W., 1995. Sustainability in animal production systems. Animal Science 61: 1-18.
- Stella 8. Versión para Windows. High Performance Systems, Inc. [www. Hps-inc.com](http://www.Hps-inc.com)
- Tapia, G. J. M. 2002. Modelo cuantitativo sustentable que integra el sistema agropecuario y de los recursos naturales del Altiplano Tamaulipeco. Tesis Doctorado. Unidad Académica Multidisciplinaria Agronomía y Ciencias. Universidad Autónoma de Tamaulipas. Cd. Victoria, Tamaulipas, México. 87 p.
- Teague W.R., S. L. Dowhower and J. A. Waggoner, 2004. Drought and grazing patch dynamics under different grazing management. Journal of Arid Environments. 58 (1): 97-117.
- Teague W.R., U.P. Kreuter, W.E. Grant, H. Diaz-Solis and M.M. Kothmann, 2008a. Economic implications of maintaining rangeland ecosystem health in a semi-arid savanna. Ecological Economics 60 (1): 1-13.
- Torres-Acosta Juan F., Armando Aguilar-Caballero, José Williams, Antonio Ortega-Pacheco, 2001. Tasa de mortalidad verdadera por estrato de edad y causa de muerte en un rebaño de cabras criollas en el trópico subhúmedo de Yucatán, México. Revista Biomedica. 12:11-17.

Submitted July 07, 2012– Accepted March 03, 2013

Revised received March 04, 2013