



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE ENSEÑANZA, INVESTIGACIÓN Y SERVICIO EN ZOOTECNIA

POSGRADO EN PRODUCCIÓN ANIMAL

COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DE OVEJAS PELIBUEY EN UN SISTEMA SILVOPASTORIL INTENSIVO

TESIS

Que como requisito parcial
para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA

Presenta:

MARISOL ORTÍZ TEXON

Bajo la dirección de: ALEJANDRO LARA BUENO, Dr.



DIRECCIÓN GENERAL ACADÉMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES



Abril 2015

Chapingo, México

COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DE OVEJAS PELIBUEY EN UN SISTEMA SILVOPASTORIL INTENSIVO

Tesis realizada por **MARISOL ORTÍZ TEXON** bajo la dirección del Dr. Alejandro Lara Bueno y supervisión del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA

DIRECTOR: _____

Dr. ALEJANDRO LARA BUENO

ASESOR: _____

Ph. D. MAXIMINO HUERTA BRAVO

ASESOR: _____

Ph. D. PEDRO ARTURO MARTÍNEZ HERNÁNDEZ

ASESOR: _____

DR. LUIS ALBERTO MIRANDA ROMERO

ASESOR: _____

Ph. D. JOSÉ GUADALUPE GARCÍA MUÑIZ

CONTENIDO

LISTA DE CUADROS	vi
LISTA DE FIGURAS	viii
AGRADECIMIENTOS.....	ix
DATOS BIOGRÁFICOS.....	x
1 INTRODUCCIÓN GENERAL	1
1.1 Objetivo general.....	2
1.2 Objetivos específicos	2
1.3 Hipótesis.....	2
2 REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1 La producción ovina en México	3
2.2 Producción ovina en sistemas de pastoreo extensivo	4
2.3 Características productivas del ovino Pelibuey.....	5
2.3.1 Peso vivo de la oveja	5
2.3.2 Condición corporal de la oveja	6
2.3.3 Peso al nacer de los corderos.....	9
2.3.4 Peso de los corderos al destete	10
2.4 Sistemas Silvopastoriles	11
2.4.1 Sistema silvopastoril intensivo	11
2.4.2 Especies forrajeras.....	12
<i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.) de Wit.....	12
Composición química.....	13
<i>Cynodon nlemfuensis</i> Vanderyst.....	13
Composición química.....	14
2.4.3 Composición química del pasto estrella de África y leucaena en asociación	14
2.4.4 Producción de forraje de las especies asociadas.....	15
2.4.5 Utilización de la leucaena en asociación con gramíneas en la producción ovina	17

Peso vivo y condición corporal de la oveja	17
Comportamiento productivo de los corderos predestete	18
Ganancia diaria de peso posdestete	19
2.4.6 Experiencias en Sistemas silvopastoriles intensivos	19
2.5 Literatura citada	20
3 LIVE WEIGHT AND BODY CONDITION SCORE OF PELIBUEY EWES AND THEIR LAMBS GRAZED ON A CONVENTIONAL OR AN INTENSIVE SILVOPASTORAL SYSTEM	25
3.1 Resumen	25
3.2 Abstract	26
3.3 Introduction	27
3.4 Materials and methods	28
3.4.1 Site location and pasture management	28
3.4.2 Animals and their management	29
3.4.3 Recorded variables	30
3.4.4 Statistical analyses	30
Descriptive statistics	30
Live weight and body condition score of ewes	30
Lamb birth and weaning weight	32
Ewe litter weight at birth and at weaning	34
3.5 Results and discussion	37
3.5.1 Descriptive statistics of animal measurements	37
3.5.2 Random regression models of best fit	38
Ewe live weight	38
Ewe body condition score	39
Lamb live weight at birth and at weaning	41
Ewe litter weight at birth and at weaning	42
3.5.3 Test of overall fixed regressions over production systems	44
3.5.4 Results from the analysis of variance	47

	Lam birth and weaning weight	47
	Litter weight at birth and at weaning.....	47
	Trajectory of ewe live weight.....	49
	Trajectory of ewe body condition score	49
	Trajectory of lamb live weight from birth to weaning	50
	Trajectory of litter weight from birth to weaning.....	52
3.6	Conclusions	53
3.7	Acknowledgements.....	53
3.8	References	53

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Rango de condición corporal por etapa fisiológica.	8
Cuadro 2. Composición química de <i>Leucaena leucocephala</i>	13
Cuadro 3. Composición química de <i>Cynodon nlemfuensis</i> en dos épocas del año y tres edades de corte.	14
Cuadro 4. Composición química de <i>Cynodon nlemfuensis</i> solo o asociado con <i>Leucaena leucocephala</i>	15
Cuadro 5. Altura y disponibilidad de la materia seca (MS) de <i>Cynodon nlemfuensis</i> solo o asociado con <i>Leucaena leucocephala</i>	16
Table 6. Chemical composition of African star grass and leucaena on the grassland of the study.	29
Table 7. Descriptive statistics of measured variables of Pelibuey ewes and their lambs grazing either on a conventional system of a monoculture of African star grass pasture or a silvopastoral system of African star grass and Leucaena. ..	37
Table 8. Parameter estimates for the models fitted to live weight and body condition score of Pelibuey ewes grazed on a conventional system of African star grass pasture alone, or a silvopastoral system with of African star grass and Leucaena.	39
Table 9. Parameter estimates for the models fitted to lamb live weight and ewe litter weight grazed on a conventional system of African star grass pasture alone, or a silvopastoral system of African star grass and Leucaena.	42
Table 10. Fixed overall regression coefficients (e.e.) for live weight and BCS on day of the experiment from Pelibuey ewes grazing either on a monoculture of African star grass pasture or a silvopastoral system of African star grass and Leucaena.	46
Table 11. Level of significance (probability) of the fixed effects and covariates for lamb birth and weaning weight, and litter weight at birth and at weaning of	

Pelibuey ewes managed on a silvopastoral system of Leucaena and African star grass or a conventional system of African star grass pasture alone.	48
Table 12. Least square means of fixed effects and regression coefficients of linear covariates, for birth and weaning weight of lambs, litter weight at birth and at weaning of Pelibuey ewes grazed on a silvopastoral system of Leucaena and African star grass or a conventional system of African star grass pasture alone.	48

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Escala de condición corporal en ovinos (Tomado de Manazza, 2006).	7
Figure 2. Scatter plot, overall fixed regression lines (thick lines) and individual ewe random regression lines (thin lines) of LW on day of the experiment, of Pelibuey ewes grazed on African star grass pasture alone or on a silvopastoral system of African star grass and Leucaena.	40
Figure 3. Scatter plot, overall fixed regression lines (thick lines) and individual ewe random regression lines (thin lines) of BCS on day of the experiment of Pelibuey ewes grazed on African star grass pasture alone or on a silvopastoral system of African star grass and Leucaena.	41
Figure 4. Scatter plot, overall fixed regression lines (thick lines) and individual lamb random regression lines (thin lines) of LW on day of age, of Pelibuey ewes grazed on African star grass pasture alone or on a silvopastoral system of African star grass and Leucaena.	43
Figure 5. Scatter plot, overall fixed regression lines (thick lines) and individual ewe random regression lines (thin lines) of litter weight on day of lamb age of Pelibuey ewes grazed on African star grass pasture alone or on a silvopastoral system of African star grass and Leucaena.	44

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Chapingo y a los profesores del Posgrado en Producción Animal, por brindarme un nivel más de preparación.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) que me asignó los recursos económicos para la realización de esta maestría.

A los Dres. Alejandro Lara Bueno y José Guadalupe García Muñiz por haber trabajado tanto para culminar este trabajo, agradezco también la asesoría de los Dres. Maximino Huerta Bravo, Pedro Arturo Martínez Hernández y Luis Alberto Miranda Romero.

A la Cooperativa Agropecuaria y Forestal Chapingo S. C. de R. L, por permitirme realizar este trabajo y a mis amigos del rancho “El Gargaleote” en especial al Ing. Jaime Gumeta Ramos y al señor Martín López Rubio.

A Juan Daniel Jiménez Rosales, por estar a mi lado apoyándome en todo momento.

Gracias.....

DATOS BIOGRÁFICOS



Datos generales

Nombre: Marisol Ortíz Texon

Fecha de nacimiento: 03 de octubre de 1989

Lugar de nacimiento: Cosautlán de Carvajal, Veracruz

CURP: OITM891003MVZRXR00

Profesión: Ingeniero Agrónomo Especialista en Zootecnia

Cédula profesional: 08706327

Desarrollo académico

Bachillerato: Telebachillerato “Limonos”, Cosautlán de Carvajal, Veracruz.

Licenciatura: Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Estado de México.

Maestría: Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Estado de México.

1 INTRODUCCIÓN GENERAL

La producción ovina en condiciones tropicales se basa principalmente en sistemas de pastoreo extensivo, donde la base de la alimentación consiste en grandes extensiones de gramíneas forrajeras como pasto estrella de África (*Cynodon nlemfuensis*), pasto guinea (*Panicum maximum*), pasto brizanta (*Brachiaria brizantha*) y gramíneas nativas, caracterizándose por escaso uso de subproductos alimenticios disponibles localmente, lo cual se ve reflejado en bajos índices productivos de los rebaños (Ramírez *et al.*, 2011). Además, se ha asociado a la producción animal en pastoreo como uno de las causantes del efecto invernadero (Steinfeld *et al.*, 2009).

Ante tal situación es necesario implementar estrategias de producción que sean amigables con el medio ambiente y que a la vez ayuden a hacer más eficiente la productividad y rentabilidad de los rebaños ovinos. Algunos estudios comprueban que la utilización de leguminosas asociadas con gramíneas puede aumentar la producción de forraje (Hernández *et al.*, 2001; Maya *et al.*, 2005), mejorar el comportamiento productivo de los ovinos cuando éstos se suplementan con follaje de leucaena (*Leucaena leucocephala*) (León *et al.*, 2002; León *et al.*, 2008) o cuando pastorean en una asociación de leucaena y pasto estrella de África (De Combellas, 1999; Espinoza *et al.*, 2001; Fonseca, 2003). Sin embargo, esas investigaciones se basan en ovinos suplementados con leguminosas, en pastoreo de bancos de proteína o con pasturas en callejones, por lo que es conveniente realizar investigación para evaluar el comportamiento de ovinos en pastoreo en los llamados sistemas silvopastoriles intensivos.

1.1 Objetivo general

Evaluar el comportamiento productivo de ovejas Pelibuey y sus crías pastoreando un sistema convencional con solo pasto estrella o un sistema silvopastoril intensivo con pasto estrella de África asociado con leucaena.

1.2 Objetivos específicos

1.- Analizar la trayectoria del peso vivo y la condición corporal durante la gestación y la lactancia en ovejas Pelibuey empadradas en época de lluvias, pastoreando un sistema convencional con solo pasto estrella de África y un sistema silvopastoril intensivo con pasto estrella de África asociado con leucaena.

2.- Analizar el peso al nacer y al destete, y la ganancia de peso predestete, de corderos provenientes de ovejas pastoreando un sistema convencional con solo pasto estrella de África o un sistema silvopastoril intensivo con pasto estrella de África asociado con leucaena.

1.3 Hipótesis

Las ovejas Pelibuey que pastorean un sistema silvopastoril intensivo con base en pasto estrella de África asociado con leucaena, muestran mejor comportamiento productivo que las que pastorean en un sistema convencional de pasto estrella de África solo.

2 REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 La producción ovina en México

Los ovinos en México fueron introducidos por los españoles durante la Colonia a partir de los años 1525 a 1526. Estos ovinos fueron transportados de los puertos de Sevilla, Cádiz y de las Islas Canarias a las islas del Caribe y de ahí al territorio continental. Se piensa que las razas introducidas fueron principalmente la Manchega, Lacha y Churra; sin embargo, existe la posibilidad de que otras razas como son la Merino española, Castellana y Rasa Aragonesa, fueron también introducidas. Por otro lado, las razas de pelo, como Pelibuey y Blackbelly, fueron traídas por los españoles durante la colonia desde el oeste del continente africano, a través de algunas colonias del Caribe (Ulloa-Arvizu *et al.*, 2009).

La ovinocultura en México se desarrolla bajo un esquema de tipo regional; en la región central del país se produce carne y pieles con razas de lana (Suffolk, Hampshire, Rambouillet, y Dorset) y de pelo (Katahdin, Dorper y Pelibuey), la región sur-sureste se orienta principalmente a la producción de carne con razas de pelo (Pelibuey, Blackbelly, Katahdin y Dorper) y produce poca lana, solo para uso artesanal con animales criollos en Oaxaca y Chiapas; la región norte se dedica a la producción de carne (Pelibuey, Katahdin y Dorper). Existen diferentes sistemas de producción en el país: pastoreo, en estabulación o en combinación de ambas modalidades. De acuerdo con el nivel de intensidad los sistemas de producción ovina se dividen en: intensivo, semi-intensivo y extensivo, y según su propósito fundamental se dividen en comerciales y de subsistencia. A su vez, los sistemas comerciales pueden ser intensivos, semi-intensivos o extensivos, y por lo general, los de subsistencia son de traspato y, en algunos casos muy limitados, de trashumancia (Partida *et al.*, 2013).

El inventario ovino nacional se incrementó 23 % del año 2003 al 2012 pasando a ser de alrededor de 8,405,902 cabezas, como resultado de un aumento en la demanda de carne ovina, por lo que cuenta con un mercado de crecimiento

interno potencial de aproximadamente 30,000 toneladas de carne al año. El consumo per cápita de carne para 2012 fue de 800 g, sin embargo, la producción nacional solo satisfizo el 70 % de la demanda, por lo que se recurrió a las importaciones (SIAP, 2012).

2.2 Producción ovina en sistemas de pastoreo extensivo

El ovino Pelibuey en México, también llamado borrego Tabasco, forma parte del grupo de ovinos de pelo productores de carne, ya que estos animales son rústicos porque tienen gran capacidad de adaptación a diversos ambientes y amplia distribución en el territorio mexicano; además, se reproducen todo el año, son prolíficos y tienen moderada ganancia de peso en engordas intensivas (Lara, 2007). Sin embargo, en el trópico mexicano esta raza se maneja en sistemas de pastoreo extensivo, donde la base de la alimentación consiste en gramíneas forrajeras como *Cynodon nlemfuensis* (pasto estrella de África), *Panicum maximum* (pasto guinea), *Brachiaria brizantha* (pasto brizanta). Estos sistemas de pastoreo extensivos se caracterizan por el uso de grandes superficies de tierra para la producción de pastos y escaso uso de suplementos alimenticios disponibles localmente; la ganancia de peso fluctúa entre 70 y 100 g animal⁻¹ d⁻¹, dependiendo de la calidad del pasto, de la estación del año y de la carga animal presente (Ramírez *et al.*, 2011).

En los últimos años, a la actividad ovina extensiva se le ha caracterizado por generar serios problemas de deforestación por sobrecarga y sobrepastoreo, lo cual incrementa la degradación de las pasturas. Por otra parte, la producción de animales en pastoreo, incluida la ovinocultura, enfrenta problemas sociales y ambientales por el hecho de que, se asocia a la producción animal como uno de los causantes del calentamiento global debido a las emisiones de gases de efecto invernadero procedentes de la fermentación entérica. Steinfeld *et al.* (2009) calcularon emisiones globales de metano (CH₄) por los ovinos y caprinos en pastoreo de 2.95 millones de toneladas por año, y notaron variaciones en el nivel de emisiones de CH₄ por factores relacionados con la dieta y el animal, como lo es la cantidad y calidad del alimento, edad, peso vivo y nivel de

ejercicio del animal. Ante esta situación es necesario implementar estrategias de producción que sean amigables con el medio ambiente y que a la vez ayuden a hacer más eficiente la productividad de los rebaños ovinos en México.

2.3 Características productivas del ovino Pelibuey

2.3.1 Peso vivo de la oveja

El peso vivo corporal (PV) es la característica principal de un animal que se considera para tomar decisiones en una explotación, mientras que la edad, la época del año y las diferencias en las condiciones climatológicas entre un año y otro, afectan significativamente el PV de las ovejas a través de sus etapas productivas (Vatankhah y Salehi, 2010).

El PV de las ovejas al empadre y al parto es influenciado por la época del año, encontrándose que éste es más favorable cuando el empadre se realiza en los meses de enero a febrero y mayo a junio, y cuando las pariciones se tienen de junio a julio y de octubre a noviembre; pero se afecta cuando el empadre se realiza de octubre a noviembre; existiendo una reducción del 5.8 % en el PV de ovejas que tienen partos sencillos y de 13.40 % menos en ovejas que tienen partos dobles, cuando las pariciones son en los meses de marzo a abril (Navarro *et al.*, 1987).

La edad de las ovejas y la época de partos también influyen sobre el PV de la oveja al parto y al destete. Se han registrado los más altos valores de PV al parto en ovejas entre los 3 y 5 años de edad, y la variación de PV durante la lactancia es más severa en ovejas de 3 a 5 años (2.8 %), posiblemente, porque a esa edad las ovejas son capaces de movilizar más reservas y producir más leche; en el verano se tienen mayores pesos vivos, tanto al parto como al destete, y menor variación del PV entre ambos (0.21 %), mientras que en la primavera esta variación es de 8.23 % (Ripoll-Bosch *et al.*, 2011). El PV de la oveja al empadre afecta todos los rasgos relacionados con la productividad de la oveja, y existe un patrón ascendente en la tasa de concepción y parto cuando el PV de la oveja aumenta en 5 kg (Vatankhah y Salehi, 2010).

2.3.2 Condición corporal de la oveja

Las reservas de nutrientes totales del cuerpo de un animal son difíciles de medir o evaluar, pero cuando el suministro de nutrientes es limitado, o cuando la demanda de nutrientes es alta, los animales utilizarán sus reservas corporales en un intento para satisfacer sus necesidades. La cantidad de reservas corporales situadas en la cavidad abdominal, tales como glucógeno en el hígado y la grasa intra-abdominal, no pueden evaluarse fácilmente en animales vivos, sin embargo, la grasa subcutánea y las reservas musculares a lo largo de la columna vertebral pueden ser evaluadas a través de la puntuación de la condición corporal (Kenyon *et al.*, 2013) o pueden ser valoradas mediante ultrasonografía (Silva *et al.*, 2005).

El PV en una etapa de la vida del animal es el mejor indicador para establecer la condición en que se encuentran los vientres. La problemática surge cuando se tiene gran variación en el peso vivo entre las ovejas y entre razas; así como, por la complejidad de pesar continuamente los animales en rebaños grandes. En cambio, la evaluación de la condición corporal (CC) puede ser suficiente para establecer estrategias de alimentación del rebaño con el fin de mantener el nivel óptimo de productividad en las ovejas y sus crías (Sánchez, 2003).

Manazza (2006) sugiere una escala de evaluación de la condición corporal de uno a cinco puntos para clasificar los estados corporales de las ovejas según el grado de gordura (Figura 1).

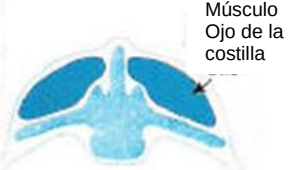
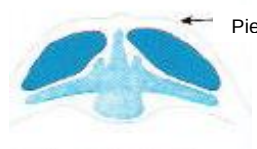
Grado	Área a palpar	Esquema	Descripción
1 Muy flaca	Apófisis espinosas		Puntiagudas, descarnadas, bien notables a palpación; se distingue espacio entre ellas.
	Apófisis transversas		Agudas, los dedos perciben extremos o aletas afiladas, pasan con facilidad por debajo palpando cara inferior de las mismas.
	Músculos del lomo		Deprimidos, sin cobertura de grasa. Se palpa piel y huesos.
2 Flaca	Apófisis espinosas		Prominente pero suave. Dificultad en palpar las apófisis individuales.
	Apófisis transversas		Suaves y redondeadas. Para palpar la cara interior se debe ejercer ligera presión.
	Músculos del lomo		Rectos, con poca cobertura de grasa subcutánea.
3 Normal	Apófisis espinosas		Se perciben pequeñas elevaciones suaves y redondeadas.
	Apófisis transversas		Se tocan solo ejerciendo presión, son suaves y están recubiertas.
	Músculos del lomo		Llenos, de forma convexa y moderada cobertura de grasa.
4 Gorda	Apófisis espinosas		Ejerciendo presión se detectan como línea o cordón duro entre músculos del lomo.
	Apófisis transversas		Imposible palpar los extremos de las mismas.
	Músculos del lomo		Presentan buena cobertura de grasa.
5 Muy gorda	Apófisis espinosas		Imposible palpar aunque se ejerza presión.
	Apófisis transversas		Imposible palpar aunque se ejerza presión.
	Músculos del lomo		Muy llenos y con abundante cobertura de grasa.

Figura 1. Escala de condición corporal en ovinos (Tomado de Manazza, 2006).

En algunos estudios (Bustamante, 2012; Vatankhah *et al.*, 2012) se ha evaluado el efecto de la condición corporal sobre la productividad de la oveja en las diferentes etapas fisiológicas (empadre, gestación y destete) y se han establecido rangos de puntuaciones de CC óptimos para cada una de ellas (Cuadro 1).

Ripoll- Bosch *et al.* (2011) analizaron los factores que afectan la variabilidad de la CC de ovejas Pelibuey y determinaron que la edad de la oveja influyó sobre su CC a través de sus etapas productivas. Así, las ovejas de 3 a 5 años de edad presentaron el mejor estado de reservas corporales, mientras que las

ovejas con más de 5 años de edad tuvieron pobre CC. Las ovejas jóvenes primíparas mostraron mayor incremento de la CC, mientras que las ovejas en crecimiento y desarrollo se favorecieron en el depósito de grasa y músculo frente a la movilización de sus reservas y tejidos.

Cuadro 1. Rango de condición corporal por etapa fisiológica.

Etapa fisiológica	Condición corporal óptima
Empadre	3.0 - 4.0
Gestación temprana y media	2.5 - 4.0
Parto simple	3.0 - 3.5
Parto doble	3.5 - 4.0
Destete	> 2.0

Fuente: Sánchez, 2003.

Estos mismos autores (Ripoll-Bosch *et al.*, 2011) analizaron el efecto de la época de parto sobre la CC de ovejas Pelibuey. En primavera y otoño las ovejas mostraron menor CC al parto (2.51 y 2.48, respectivamente) mientras que durante el verano y el invierno la CC al parto fue mayor (2.60 y 2.62, respectivamente). Al destete, las ovejas mostraron mayor CC durante el invierno y otoño, mientras que las ovejas que destetaron durante la primavera y verano tuvieron menor CC (2.81, 2.82 vs. 2.64, 2.66, respectivamente). Las mayores variaciones de CC durante la lactancia ocurrieron en el otoño e invierno y las menores variaciones durante la primavera y el verano. La variación de CC durante la lactancia estuvo también condicionada por el tipo de parto, donde las mayores variaciones se registraron en ovejas que tuvieron partos múltiples (Ripoll-Bosch *et al.*, 2011).

Vatankhah *et al.* (2012) estudiaron la relación de la CC y algunas variables productivas y reproductivas de ovejas de pelo y observaron que la CC estuvo relacionada positivamente con el peso corporal, tasa de concepción, tamaño de la camada, peso al nacer y al destete de la camada. Estos autores concluyeron que el comportamiento productivo de las ovejas mejoró cuando éstas tuvieron valores de CC de 3 a 3.5.

2.3.3 Peso al nacer de los corderos

El peso al nacer es el factor más importante para la supervivencia de los corderos durante sus primeros días de vida. El peso al nacer de corderos Pelibuey mantenidos en pastoreo fluctúa normalmente entre 2 y 3.3 kg (Carrillo *et al.*, 1987; Navarro *et al.* 1987; Cruz y López, 1991; Herrera *et al.*, 2008). Algunos autores han determinado que el tamaño de la camada es el factor principal que causa mayor variación en el peso al nacer de los corderos, ya que el peso al nacer de un cordero puede ser 8, 21.5 o hasta 25 % mayor en corderos provenientes de parto simple que corderos de parto múltiple (Carrillo *et al.*, 1987; Herrera *et al.*, 2008; López *et al.*, 2011).

El sexo es también factor determinante en el peso al nacer de los corderos; las crías machos son más favorecidas con pesos de entre 6 y 12 % mayores que las crías hembras (Carrillo *et al.*, 1987; Cruz y López, 1991; Fonseca, 2003; Herrera *et al.*, 2008; Tariq *et al.*, 2013; Simeonov *et al.*, 2014).

El peso al nacer de los corderos también es afectado por la época de nacimiento, en mayor medida si la base de alimentación de la oveja es el pastoreo. Se ha observado que los corderos nacidos en el periodo poco lluvioso son 4.6 a 7.6 % más pesados que aquellos que nacieron durante el periodo de lluvias (Carrillo *et al.*, 1987; Herrera *et al.*, 2008); sin embargo, Navarro *et al.* (1987) reportaron que los corderos nacidos entre junio-julio y octubre-noviembre fueron 23 y 12 % más pesados que los nacidos en marzo-abril.

El número de parto y la edad de la oveja tienen alta relación con el peso al nacer de las crías. Herrera *et al.* (2008) determinaron que las crías provenientes de segundo y tercer parto fueron 18.7 y 22.6 % más pesadas que las crías provenientes de ovejas de primer parto, debido a que las ovejas de segundo y tercer parto fueron 23 y 11.5 % más pesadas que las de primer parto.

Corner-Thomas *et al.* (2014) sugieren que el PV de la oveja al empadrear tiene efectos positivos en el peso al nacer de sus crías, del orden de 0.03 kg por kg de PV de la oveja.

Los resultados de Bustamante (2012) demuestran que el estado de carnes de la madre al parto tiene efectos directos sobre el PV al nacer de los corderos, debido a que las ovejas con CC 4 (escala 1 a 5) parieron corderos 24 y 43 % más pesados que los corderos provenientes de ovejas con CC 3 y 2, respectivamente. Por otro lado, en un estudio realizado por Vatankhah *et al.* (2012) en ovejas de pelo, comprobaron que la CC de la oveja al empadre afecta significativamente el peso al nacer de la camada; con base en esos resultados, las ovejas con CC entre 3 y 3.5 parieron camadas 10 y 19 % más pesadas que las camadas provenientes de ovejas con CC al empadre entre 2.0 y 2.5, respectivamente. Sin embargo, Aliyari *et al.* (2012) no encontraron diferencias en el peso al nacer de los corderos por influencia de la CC al empadre en ovejas de pelo Afshari.

2.3.4 Peso de los corderos al destete

El peso vivo al destete es una característica productiva relacionada directamente con el comportamiento del animal en edades posteriores. El peso al destete de los corderos Pelibuey, en condiciones de pastoreo, puede variar de 9 a 16.5 kg, dependiendo de la edad, sexo, número de parto de la madre, época de partos y peso al nacer (Carrillo *et al.*, 1987; Cruz y López, 1991; Herrera *et al.*, 2008; Hinojosa-Cuéllar *et al.*, 2012).

Fonseca (2003) establece que la mayor producción de leche de la oveja se presenta a los 17 días de lactancia mientras que a partir de los 90 días se da la menor producción de leche diaria con relación a las etapas anteriores, de modo que, la mejor edad para destetar a los corderos es alrededor de los 90 días de lactancia.

Carrillo *et al.* (1987) y Herrera *et al.* (2008) demostraron que el aumento del PV de los corderos del nacimiento al destete está influenciado por el número de parto de la madre, siendo más pesados los corderos provenientes de madres de segundo y tercer parto; además, los corderos provenientes de nacimientos simples son 5 % más pesados que aquellos que provienen de partos dobles.

Los mismos autores indicaron que las crías machos son 4.5 a 4.9 % son más pesados al destete que las crías hembras.

La época del año en que ocurren los partos es una variable que afecta el crecimiento predestete del cordero. Así, para Hinojosa-Cuéllar *et al.* (2012) los corderos que nacen durante la época de secas y nortes son 17 y 23 % más pesados que aquellos corderos nacidos en la época de lluvias, resultado de las condiciones climatológicas en que se desarrollaron los corderos y a la disponibilidad de forraje para la madre (Hinojosa-Cuéllar *et al.*, 2009). Al evaluar los factores que afectan el crecimiento predestete, Hinojosa-Cuéllar *et al.* (2012) estimaron el coeficiente de regresión del peso al destete sobre el peso al nacer de los corderos, indicando un incremento de 0.828 kg en el peso al destete por cada kg de aumento en el peso al nacer de las crías.

Aliyari *et al.* (2012) probaron que el peso al destete en corderos Afshari se incrementó a medida que aumentó el peso de la oveja al empadre; sin embargo, estos mismos autores, no hallaron efecto de la CC de la oveja al empadre sobre el peso al destete de sus crías. Asimismo, Vatankhah *et al.* (2012) demostraron que la CC de las ovejas al empadre afectó el peso al destete de la camada, siendo éste 7.1 y 13.03 % menor en ovejas con CC al empadre de entre 2 y 3 que en ovejas que llegaron al empadre con más de 3.5 de CC. Sin embargo, Navarro *et al.* (1987) indicaron que el peso al destete en corderos West African no se afectó por el peso de la oveja al empadre.

2.4 Sistemas Silvopastoriles

El silvopastoreo es el resultado de la introducción de forraje en un sistema de producción forestal. En otras palabras, es el manejo de árboles, ganado y forrajes en un sistema integrado (Petit y Suniaga, 2005).

2.4.1 Sistema silvopastoril intensivo

Según Solorio-Sánchez *et al.* (2009) el sistema silvopastoril intensivo (SSPi) es una modificación del sistema silvopastoril de pasturas en callejones, pero en

este caso, con 1.6 m de separación entre las hileras de la arbustiva, basado en el establecimiento y utilización de una leguminosa en asociación con gramíneas forrajeras tropicales. El manejo del pastoreo en este sistema se realiza de manera rotacional. Estudios previos han demostrado que los SSPi son una opción importante para mejorar la ganadería debido a su alto rendimiento y calidad de forraje, lo cual permite incrementar la producción de carne y leche (Mahecha *et al.*, 2002; Solorio-Sánchez *et al.*, 2009; Murgueitio *et al.*, 2011). Aunado a lo anterior, estos sistemas brindan múltiples servicios ambientales como la captura de carbono, reducción de la emisión de metano, fijación de nitrógeno atmosférico, entre otros (Cuartas *et al.*, 2014). Sin embargo, aún existe desconocimiento en su implementación, debido a controversias que se han generado por la utilización de altas densidades de siembra, especialmente de leucaena. Por ello, es necesario generar información con respecto a lo que representa este tipo de sistema para la ganadería tropical, considerando sus fortalezas, debilidades y oportunidades, con el propósito de lograr una implementación exitosa, con mejora en la rentabilidad y sustentabilidad de los sistemas ganaderos en el trópico (Bacab *et al.*, 2013).

2.4.2 Especies forrajeras

En sistemas silvopastoriles podemos encontrar aquellos sistemas de producción que incluyen pastos mejorados con alto vigor y productividad, por ejemplo: los pastos, estrella, guinea y brachiaria, asociados con arbustos y/o árboles forrajeros. Actualmente, la especie arbórea más usada es la leucaena, aun cuando existen otras opciones, como: *Tithonia diversifolia*, *Cratylia argéntea*, *Trichanthera gigantea*, *Morus nigra*, *Guazuma ulmifolia*, *Erythrina poeppigiana*, así como otros árboles que se utilizan para dar sombra y confort al ganado, producción de leña, madera y postes (Lozano *et al.*, 2006).

***Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit**

La leucaena es una leguminosa conocida comúnmente en México como guaje; es un árbol o arbusto perenne que puede alcanzar hasta 20 m de altura, pero para su empleo como forraje se mantiene a menos de 2 m de altura, mediante

la poda. Esta arbórea forrajera crece desde el nivel del mar hasta los 1800 m de altitud, en temperaturas promedio que van de 22 a 30 °C; se adapta a precipitaciones entre 500 y 3000 mm y es tolerante a la sequía; requiere suelos de mediana a alta fertilidad, con buen drenaje, pH de 5 a 8, bajos en calcio; es poco tolerante a excesos de humedad y a la sombra (Estrada, 2002).

Composición química

Diversos estudios se han realizado para determinar la composición química de la leucaena y determinar su valor nutritivo (Cuadro 2). Se ha demostrado que esta especie tiene alto contenido de proteína y que éste es mayor durante la época de transición y de secas.

Cuadro 2. Composición química de *Leucaena leucocephala*.

Componente (% en base seca)	Fuente			
	García <i>et al.</i> , 2008a	García <i>et al.</i> , 2008b	Fortes <i>et al.</i> , 2003	Fortes <i>et al.</i> , 2003
			Época lluviosa	Época poco lluviosa
Materia seca	24.72	22.62	24.00	25.74
Proteína cruda	25.35	26.36	24.49	25.45
Proteína verdadera	19.88	-----	22.74	22.59
Fibra detergente neutro	44.89	45.66	46.50	43.32
Fibra detergente ácido	16.23	34.28	-----	-----
Fibra cruda	17.9	18.87	-----	-----
Celulosa	9.96	10.72	-----	-----
Cenizas	7.65	7.85	7.92	8.53

Cynodon nlemfuensis Vanderyst

El pasto estrella de África, como es nombrado de manera común, se adapta a climas cálidos y no prospera bien en elevaciones superiores a 1800 m; tolera el calor y resiste la sequía, además, crece bien en suelos de mediana fertilidad y pH superiores a 5.5. (Estrada, 2002).

Composición química

Fernández *et al.* (1991) evaluaron algunas características de composición química en el pasto estrella de África (Cuadro 3) en diferentes épocas del año: lluvia y seca, a diferentes semanas de edad. El mayor contenido de proteína cruda en el pasto se tuvo a la cuarta semana de edad y fue mayor durante la época de lluvias.

Cuadro 3. Composición química de *Cynodon nlemfuensis* en dos épocas del año y tres edades de corte.

Edad (semanas):	4		6		8	
Época:	Lluvias	Seca	Lluvias	Seca	Lluvias	Seca
Componente, % en base seca						
Proteína cruda	8.47	8.12	7.93	7.51	6.57	6.51
Fibra detergente neutro	78.31	75.91	84.55	80.42	86.88	83.13
Fibra detergente ácido	45.63	44.23	46.97	45.17	44.88	46.49
Celulosa	33.57	32.89	34.56	33.13	36.27	33.77
Digestibilidad <i>in vitro</i>	49.65	41.48	47.90	40.45	44.00	39.09

Fuente: Fernández *et al.* (1991)

2.4.3 Composición química del pasto estrella de África y leucaena en asociación

Los árboles forrajeros pueden incorporar nitrógeno atmosférico al suelo y hacerlo más disponible a las pasturas, lo que contribuye a incrementar el contenido de proteína de los pastos (Solorio-Sánchez *et al.*, 2009). En el Cuadro 4 se presentan resultados obtenidos por diferentes autores sobre composición química para leucaena y pasto estrella de África cultivados solos o en asociación. Estos resultados muestran que el contenido de proteína y de energía metabolizable del pasto estrella de África se incrementa cuando se asocia con la leguminosa, mientras que el contenido de pared celular disminuye.

Cuadro 4. Composición química de *Cynodon nlemfuensis* solo o asociado con *Leucaena leucocephala*.

Forraje	Cynodon	Cynodon + Leucaena		Leucaena	
Componente (base seca)	Maya <i>et al.</i> , 2005	Maya <i>et al.</i> , 2005	Martínez y Reyes, 2013	Maya <i>et al.</i> , 2005	Martínez y Reyes, 2013
Materia seca, %	-----	-----	33.15	-----	26.19
Proteína cruda, %	10.98	13.6	10.35	29.31	26.76
Fibra cruda, %	31.13	31	29.96	15.91	13.75
Ceniza, %	10.38	10.03	12.44	8.05	11.02
Fibra detergente neutro, %	76.92	73.12	67.18	45.45	34.16
Fibra detergente ácido, %	49.98	43.06	42.91	27.8	21.24
Energía metabolizable, Mcal kg ⁻¹	2.16	2.35	-----	2.55	-----

2.4.4 Producción de forraje de las especies asociadas

La asociación de especies arbóreas con pastos puede contribuir a incrementar la productividad y sostenibilidad de los agroecosistemas, ya que las especies asociadas pueden aumentar el valor nutricional del forraje disponible, ayudan a mejorar la fertilidad del suelo al incorporar materia orgánica de alta calidad para un eficiente reciclaje de nutrientes, lo que contribuye a incrementar la productividad (Crespo, 2008). De igual forma, se fundamenta que las asociaciones con leguminosas arbóreas establecen simbiosis con microorganismos que mejoran la disponibilidad de elementos en el suelo; no obstante, esas contribuciones de los sistemas silvopastoriles no dependen solo de las especies asociadas, sino también de los recursos disponibles en el sitio y del manejo del agroecosistema (Petit *et al.*, 2009). Diversos estudios se han realizado para determinar la influencia de la leucaena en la producción y calidad de la materia seca del pasto estrella de África en asociación, encontrándose que, tanto el rendimiento como la calidad del forraje se mejoran, dependiendo de la edad de los rebrotes (Cuadro 5).

Las tecnologías fitotécnicas y de producción animal en las que interviene leucaena se basan, fundamentalmente, en su utilización como alimento animal. No obstante, es de vital importancia considerar otros aspectos como: la función

de proporcionar sombra al ganado en los sistemas silvopastoriles, como mejoradora de la fertilidad del suelo, y aportadora a los servicios ambientales (captura de carbono, retención de suelo, recarga de acuíferos, incremento de la biodiversidad). Esta especie presenta mejores resultados en sus múltiples funciones cuando se asocia con pastos de alto rendimiento. El mejor comportamiento se presenta cuando el pasto recibe el beneficio del árbol, aunque ese beneficio es mediado por la distribución y densidad arbórea del potrero, la frecuencia de podas y de la carga animal presente. Del mismo modo, si los animales hacen una mejor distribución de la excretas en el potrero, eso aumentará el contenido de materia orgánica y la fertilidad del suelo y la producción de biomasa se incrementará. Estas condiciones dan como resultado un pastizal de mayor calidad, con mayor impacto durante la estación seca (Ruiz *et al.*, 2010).

Cuadro 5. Altura y disponibilidad de la materia seca (MS) de *Cynodon nlemfuensis* solo o asociado con *Leucaena leucocephala*.

Edad/forraje	Altura, cm	Disponibilidad de materia seca	
		t ha ⁻¹ corte ⁻¹	t ha ⁻¹ año ⁻¹
28 días			
Cynodon	29.1	1.74	22.63
Cynodon asociado	39.2	2.11	27.54
Leucaena	133.3	0.37	4.77
Cynodon + Leucaena	---	2.48	32.31
35 días			
Cynodon	32.8	1.85	19.34
Cynodon asociado	61.4	2.83	29.56
Leucaena	162.4	0.63	6.58
Cynodon + leucaena	---	3.46	36.15
42 días			
Cynodon	42.3	2.9	25.17
Cynodon asociado	68.2	3.6	31.28
Leucaena	175.9	0.75	6.51
Cynodon + Leucaena	---	4.35	37.79

Fuente: Maya *et al.*, 2005

Hernández *et al.* (2001) observaron que la mayor cantidad de biomasa comestible de los árboles a la que tuvieron acceso los bovinos, se alcanzó en el sistema silvopastoril con leucaena y pasto guinea asociados (320-660 kg MS

ha⁻¹) que el monocultivo. En el caso de la leucaena, a pesar de que las plantas en ocasiones presentan alturas superiores a los 2 m, los animales son capaces de quebrar o doblar el tallo principal y consumir el follaje; a esto se agrega la existencia en el sistema de gran cantidad de plantas pequeñas que son capaces de aportar follaje como alimento animal. Por lo cual se puede aseverar que en los sistemas con árboles la producción de follaje de la gramínea es superior a la obtenida con el pasto sembrado en monocultivo.

2.4.5 Utilización de la leucaena en asociación con gramíneas en la producción ovina

Peso vivo y condición corporal de la oveja

Al evaluar el efecto de la inclusión de follaje de leucaena sobre el PV en ovejas Pelibuey, León *et al.* (2002) reportaron que las ovejas con edades entre 3 y 5 años alimentadas con pastos naturales (*Andropogon caricosus* + *Paspalum notatum*), mostraron una respuesta positiva ante el incremento del consumo de leucaena; las que recibieron 1 kg d⁻¹ de follaje seco de leucaena durante el periodo de empadres mostraron mayor PV al inicio de la gestación (33.44 kg) y mejoraron la CC (2.82). Asimismo, León *et al.* (2008) reportaron que cuando las ovejas fueron suplementadas con leucaena (1.5 kg de MS oveja⁻¹ d⁻¹) desde el empadre hasta los 60 días de la lactancia, obtuvieron PV al empadre, al parto y a los 60 días posparto, de 26.72, 37.65 y 36.47 kg, respectivamente; mientras que las que no recibieron suplementación con leucaena alcanzaron PV de 26.8, 30.71 y 27.08 kg, respectivamente; además, la CC de las ovejas suplementadas fue de 3.24 al parto y a 60 días posparto, mientras que las ovejas que no recibieron suplementación con follaje de leucaena, alcanzaron solo 2.21 y 2.11 de CC al parto y a los 60 días de la lactancia, respectivamente.

Pocos son los estudios que han analizado el comportamiento productivo y reproductivo de las ovejas en pastoreo en un sistema silvopastoril.

En un estudio conducido por De Combellas (1999) en el cual se analizó el comportamiento de las ovejas pastoreando potreros cultivados con leucaena y

pasto estrella de África asociados, se determinó que es posible igualar el PV de las ovejas alimentadas en este sistema silvopastoril con el de ovejas que pastorearon únicamente pasto estrella de África más una suplementación de 300 g oveja⁻¹ d⁻¹ de concentrado con 20 % de PC. En ese estudio, se obtuvieron pesos promedio al inicio de la gestación, principio de la lactancia y al destete de 35.15, 34.5 y 35.75 kg, lo que representó una ganancia diaria de peso de 34 g animal⁻¹ d⁻¹ antes del parto, y 19 g animal⁻¹ d⁻¹ del parto al destete.

López *et al.* (2011) concluyeron que el manejo de ovejas en un sistema silvopastoril compuesto por las especies *Gliricidia sepium*, *Leucaena leucocephala* y *Albizia lebbbeck* asociadas con *Dichanthium annulatum* y *Panicum máximum*, permitió indicadores favorables en el comportamiento de las reproductoras durante las etapas de empadre, parto y 30 días posparto, con aumento del PV de 4.7 % a la gestación y pérdida de peso de 7.9 % a los 30 días posparto; además, la CC de las ovejas disminuyó solo 5 % de la gestación y a los 30 días posparto.

Comportamiento productivo de los corderos predestete

De Combellas (1999) concluyó que es factible mantener rebaños ovinos pastoreando pasto estrella de África asociado con leucaena, y obtener parámetros productivos semejantes a los de las ovejas que pastorean solo la gramínea, pero suplementados con concentrado, debido a que no encontró diferencias en el peso al nacer de los corderos provenientes de ovejas alimentadas en un sistema silvopastoril de pasto estrella de África más leucaena o en pasto estrella de África más suplemento concentrado; en ambos sistemas el peso al nacer de los corderos fue de alrededor de 2.8 kg, y la ganancia diaria de peso predestete de 105 g animal⁻¹d⁻¹.

En otro estudio realizado con ovejas Pelibuey, Fonseca (2003) reportó un incremento mayor en el peso al nacer de los corderos provenientes de ovejas que consumieron pasto natural más leucaena que el de corderos provenientes de ovejas pastoreando solo pasto natural y suplementados con concentrado

(3.3 vs. 3.1 kg, respectivamente), sin diferencias entre el peso al nacer de los corderos nacidos en época de lluvia y los corderos nacidos en época de secas, para corderos provenientes de parto simple. No obstante, los corderos de parto doble fueron 7 y 12 % más pesados en época de lluvias y seca, respectivamente, a favor de las crías provenientes de ovejas que consumieron pasto estrella de África más leucaena; asimismo, la ganancia diaria de peso fue 15 y 13.18 % mayor en parto simple y doble, respectivamente, en corderos de madres que pastorearon pasto natural más leucaena. León *et al.* (2008) también indicaron que el peso al nacer y a los 60 días de edad de los corderos fueron 23 y 33 % mayores cuando las madres fueron suplementadas con 1.5 kg oveja⁻¹ d⁻¹ de follaje seco de leucaena.

Ganancia diaria de peso posdestete

El uso de bancos forrajeros de proteína es una de las vías de manejo de pastos donde se ha demostrado la ventaja de las leguminosas en el comportamiento productivo predestete de los corderos. Los bancos de proteína proveen forraje de alta calidad durante las épocas críticas del año, tiempo en el cual el pasto disminuye su productividad y valor nutricional. Algunos reportes indican que la ganancia diaria de peso posdestete de ovinos en pastoreo se mejora cuando los corderos que pastorean pasto estrella de África, pasando de 77 g animal⁻¹ d⁻¹ sin acceso a un banco de proteína a 116 g animal⁻¹ d⁻¹ con dos horas diarias de acceso a un banco de proteína de leucaena (Espinoza *et al.*, 2001).

2.4.6 Experiencias en Sistemas silvopastoriles intensivos

Durante la última década, los SSPi en México, Colombia y Costa Rica, han evidenciado una capacidad de producción ganadera superior a los sistemas tradicionales extensivos, pero similares a los modelos intensivos que emplean altas cantidades de fertilizantes, concentrados, medicamentos y agroquímicos, alcanzando niveles de producción de leche superiores a 10,000 L ha⁻¹ año⁻¹, y ganancias diarias de peso en bovinos de hasta 790 g animal⁻¹ día⁻¹ (Murgueitio *et al.*, 2011). En Colombia, con la asociación de *Cynodon plectostachyus*, *Leucaena leucocephala* y *Prosopis juliflora*, más la suplementación de 1.65 kg

de salvado de arroz y 1.20 kg de gallinaza por animal día⁻¹, fue posible producir 10.30 kg de leche animal⁻¹ día⁻¹, lográndose mayor estabilidad en la producción entre los períodos secos y lluviosos del año (Mahecha *et al.*, 2002).

En México, en un comparación del sistema de producción convencional y el SSPi, Solorio-Sánchez *et al.* (2009) obtuvieron mayor producción de leche en el SSPi (6.9 vs. 3-4 L animal⁻¹ d⁻¹) y mayor ganancia de peso en bovinos (800 vs. 300 g animal⁻¹ d⁻¹), así como una mejora en la producción de forraje (15-25 vs. 6-10 t MS ha⁻¹ año⁻¹), mayor cantidad de proteína y servicios ambientales. También en México Barros-Rodríguez *et al.* (2012) concluyeron que un SSPi con 55,000 plantas de leucaena ha⁻¹ asociada con *Panicum maximum* y *Cynodon nlemfluensis*, disminuyó 30 % la ganancia diaria de peso posdestete en corderos cuando se comparó con un sistema silvopastoril con densidad de 35,000 plantas de leucaena ha⁻¹, posiblemente por el alto nivel de mimosina en el forraje, lo cual redujo el consumo de forraje de los corderos.

2.5 Literatura citada

- Aliyari, D., M. M. Moeini, M. H. Shahir., and M. A. Sirjani. 2012. Effect of body condition score, live weight and age on reproductive performance of Afshari ewes. *Asian Journal of Animal and Veterinary Advances* 7: 904-909.
- Bacab H., M., N. B. Madera, F. J. Solorio, F Vera, y D. F. Marrufo. 2013. Los sistemas silvopastoriles intensivos con *Leucaena leucocephala*: una opción para la ganadería tropical. *Avances en Investigación Agropecuaria* 17: 67-81.
- Barros-Rodríguez, M., J. Solorio-Sánchez, J. Ku-Vera, A. Ayala-Burgos, C. Sandoval-Castro, and G. Solís-Pérez. 2012. Productive performance and urinary excretion of mimosine metabolites by hair sheep grazing in a silvopastoral system with high densities of *Leucaena leucocephala*. *Tropical Animal Health and Production* 44: 1873–1878.
- Bustamante S., V. 2012. Efecto de la condición corporal de la madre, época del año, sexo y tipo de parto sobre el peso al nacer de corderos en Comalcalco. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. México. 90 p.
- Carrillo A., L., A. Velázquez M., y T. Ornelas G., 1987. Algunos factores ambientales que afectan el peso al nacer y al destete de corderos Pelibuey. *Técnica Pecuaria en México* 25: 289-295.

- Corner-Thomas R. A., R. E. Hickson, S. T. Morris, and P. R. Kenyona. 2014. The influences of live weight and body condition score of ewe lambs from breeding to lambing on the live weight of their singleton lambs to weaning. *Small Ruminant Research* 119: 16–21.
- Crespo, G. 2008. Importancia de los sistemas silvopastoriles para mantener y restaurar la fertilidad del suelo en las regiones tropicales. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 42: 329-335.
- Cruz S., F., y R. López F. 1991. Estudio de caracteres productivos y reproductivos del ovino Pelibuey. *Folia amazónica IIAP* 3: 149-159.
- Cuartas C., C. A, J. F. Naranjo R., A. M Tarazona M., E. Murgueitio R., J. D. Chará O., J. Ku V., F. J. Solorio S., M. X. Flores E., B. Solorio S., y R. Barahona R. 2014. Contribution of intensive silvopastoral systems to animal performance and to adaptation and mitigation of climate change. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias* 27: 76-94.
- De Combellas, J. 1999. Comportamiento productivo de ovejas West African pastoreando pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*) y leucaena (*Leucaena leucocephala*). *Revista Facultad de Agronomía* 16: 204-210.
- Espinoza, F., C. Araque, L. León, H. Quintana, y E. Perdomo. 2001. Efecto del banco de proteína sobre la utilización del pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*) en pastoreo con ovinos. *Zootecnia Tropical* 19: 307-318.
- Estrada A., J. 2002. Pastos y Forrajes para el Trópico Colombiano. Editorial. Universidad de Caldas. Colombia. 506 p.
- Fernández R., J., M. I. U. de Chávez, D. R. Virquez, y M. García de H. 1991. Efecto de la frecuencia de corte sobre el rendimiento y valor nutritivo del pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*) en la Unidad Agroecológica 3E 144 del Valle de Aroa. *Zootecnia Tropical* 9: 165-179.
- Fonseca F., N. 2003. Contribución al estudio de la alimentación del ovino Pelibuey cubano. Tesis Doctoral. Universidad de Granma. Cuba. 161 p.
- Fortes, D, O. La O, B. Chongo, e I. Scull. 2003. Una nota acerca de la composición química de seis ecotipos de *Leucaena leucocephala*. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 37: 51-54.
- Galina, M. A., R. Morales, E. Silva, and B. López. 1996. Reproductive performance of Pelibuey and Blackbelly sheep under tropical management systems in Mexico. *Small Ruminant Research* 22: 31-37.
- García D., E., H. B. Wencomo, M. E. Gonzales, M. G. Medina, L. J. Cova, y I. Spengler. 2008a. Evaluación de diecinueve accesiones de *Leucaena leucocephala* en la calidad nutritiva del forraje. *Zootecnia Tropical* 26: 9-18.
- García M., D., H. Wencomo G., M. Gonzáles C., M. Medina R, y L. Cova. 2008b. Caracterización de diez cultivares forrajeros de *Leucaena leucocephala* basada en la composición química y la degradabilidad

- ruminal. Revista de Medicina Veterinaria y Zootecnia Córdoba 13: 1294-1303.
- Herrera J., P. Pulgarón, y A. C. Noda. 2008. Comportamiento productivo de ovinos Pelibuey en un sistema con bajos insumos. Revista Cubana de Ciencia Agrícola 42: 45-49.
- Hernández, I., L. Simón, y P. Duquesne. 2001. Evaluación de las arbóreas *Albizia lebbbeck*, *Bauhinia purpurea* y *Leucaena leucocephala* en asociación con pasto bajo condiciones de pastoreo. Pastos y Forrajes 24: 241-258.
- Hinojosa-Cuéllar, J. A., F. M. Regalado-Arrazola, y J. Oliva-Hernández. 2009. Crecimiento prenatal y predestete en corderos Pelibuey, Dorper, Katahdin y sus cruces en el sureste de México. FCV-LUZ 19: 522-532.
- Hinojosa-Cuéllar, J. A., J. Oliva-Hernández, G. Torres-Hernández, J. C. Segura-Correa, E. M. Aranda-Ibáñez, y J. M. González-Camacho. 2012. Factores que afectan el crecimiento predestete de corderos Pelibuey en el trópico húmedo de México. Universidad y Ciencia 28: 163-171.
- Kenyon, P. R., S. K. Maloney, and D. Blache. 2013. Review of sheep body condition score in relation to production characteristics. New Zealand Journal of Agricultural Research 57: 38–64.
- Lara P., S. J. 2007. Producción de ovinos de pelo en México: material genético para exportación. Memorias del VIII Congreso Mundial de la Lana y del Cordero. Querétaro, Qro. pp.1-4.
- León, E., M. C. Olmos, A. Rodríguez, Y. Fonseca, y A. Labrada. 2002. Variación del crecimiento e indicadores hematoquímicos en reproductoras Pelibuey cubana suplementadas con leucaena durante la campaña de cubriciones. Pastos y Forrajes 26: 61-65.
- León A., E., A. Rodríguez C., M. C. Olmos C., Y. Fonseca J., y A. Labrada S. 2008. Inclusión de follaje fresco de leucaena y miel-urea en dietas de ovejas reproductoras Pelibuey cubana lactantes explotadas en pastos naturalizados. Zootecnia Tropical 26: 367-370.
- López, Y., J. Arece, E. León, y N. Aróstica. 2011. Comportamiento productivo de reproductoras ovinas en un sistema silvopastoril. Pastos y Forrajes 34: 87-96
- Lozano T., M. D., G. Amparo C., M. A. Vanegas R., L. Figueroa, M. Ramírez G., G. Carrero H, N. Constanza V., y M. Cecilia. A. 2006. Sistemas silvopastoriles con uso de biofertilizantes. ed. Produmedios. Bogotá, Colombia. 30 p.
- Mahecha, L., M. Rosales, C. V. Duran, C. H. Molina, E. J. Molina, y F. Uribe. 2002. Evaluación del forraje y los animales a través del año en un silvopastoril conformado por *Cynodon plectostachyus*, *Leucaena leucocephala* y *Prosopis juliflora*, en el Valle del Cauca, Colombia. CIPAV. Colombia.

- Manazza, J. 2006. Condición corporal en ovinos. *Revista Visión Rural* 60: 1-3.
- Martínez M., M., y A. Reyes C. 2013. Composición nutricional de la leucaena (*Leucaena leucocephala* Lam. de Wit) asociada con pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis* Vandyke) en la región huasteca potosina. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 73 p.
- Maya M., G. E., C. V. Durán C., y J. E. Ararat. 2005. Valor nutritivo del pasto estrella solo y en asociación con leucaena a diferentes edades de corte durante el año. *Acta Agronómica* 54.
- Murgueitio, E., Z. Calle, F. Uribe, A. Calle, y B. Solorio. 2011. Native trees and shrubs for the productive rehabilitation of tropical cattle ranching lands. *Forest Ecology and Management* 261: 1654-1663.
- Navarro D., L., M. Ramírez G., y A. Torres D. 1987. Peso al nacer, destete y seis meses de edad en corderos West African en la mesa de Guanipa. *Zootecnia Tropical* 5: 41-57.
- Partida de la P., J. A., D. Braña V., H. Jiménez S., F. G. Ríos R., y G. Buendía R. 2013. Producción de carne ovina. Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Fisiología y Mejoramiento Animal. <http://www.sagarpa.gob.mx/ganaderia/Documents/MANUALES%20INIFAP/Manual%20Producci%C3%B3n%20de%20Carne%20Ovina.pdf>. Consultada el 25 de febrero de 2015.
- Petit A., J., y J. Suniaga Q. 2005. Sistemas silvopastoriles. *In*: Manual de Ganadería Doble Propósito. C. González-Stagnaro, E. Soto-Belloso (eds.). Ediciones Astro Data, S.A. pp: 204-207.
- Petit A., J., F. Casanova L., y F. J. Solorio S. 2009. Asociación de especies arbóreas forrajeras para mejorar la productividad y el reciclaje de nutrimentos. *Agricultura Técnica en México* 35: 113-122.
- Ramírez A., L., L. López B., J. Petit A., y J.C. Ku V. 2011. Producción ovina en sistemas agroforestales en el trópico. *Bioagrociencias* 4: 33-42.
- Ripoll-Bosch, R., D. Villalba, I. Blasco, I. Casasús, S. Congost, F. Falo, R. Revilla, y M. Joy. 2011. Factores que afectan a la variabilidad de peso y de condición corporal al parto y al destete de ovejas de raza Ojinegra en condiciones productivas. XIV Jornadas sobre Producción Animal, Tomo I, 118-120.
- Ruiz T., E., G. Febles, H. Jordán, y H. Díaz. 2010. El árbol y su efecto en la estabilidad productiva del pasto en un sistema silvopastoril. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 44: 297-300.
- Sánchez D., F., 2003. Condición corporal en ovejas. Sitio Argentino De Producción Animal. www.producci3n-animal.com.ar. Consultada el 16 de junio de 2013.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2012. http://www.campomexicano.gob.mx/portal_siap/Integracion/EstadisticaBasica/Pecua

rio/PoblacionGanadera/Resumen/Resumen.pdf. Consultado el 25 de febrero de 2015.

- Silva, S. R., M. J. Gomes, A. D. Da-Silva, L. F. Gil, J. and M. T. Azevedo. 2005. Estimation *in vivo* of the body and carcass chemical composition of growing lambs by real-time ultrasonography. *Journal of Animal Science* 83: 350-357.
- Simeonov, M., N. Todorov, K. Nedelkov, A. Kirilov, and D. L. Harmon. 2014. Influence of live weight, sex and type of birth on growth and slaughter characteristics in early weaned lambs. *Small Ruminant Research* 121: 188–192.
- Solorio-Sánchez, F. j., H. Bacab-Perez, J. B. Castillo-Caamal, L. Ramírez-Avilés, y F. Casanova-Lugo. 2009. Potencial de los sistemas silvopastoriles en México. *In: II Congreso sobre Sistemas Silvopastoriles Intensivos*. México. 10 p.
- Steinfeld, H., P. Gerber, T. Wassenaar, V. Castel, M. Rosales y C. de Haan. 2009. *La Larga Sombra del Ganado*. FAO. 464 p.
- Tariq, M. M., M. A. Bajwa, K. Javed, A. Waheed, M. A. Awan, M. Rafeeq, N. Rashid, and M. Shafee. 2013. Identification of environmental factors affecting pre weaning performance of Mengali sheep of Balochistan. *The Journal of Animal and Plant Sciences* 23: 340-344.
- Ulloa-Arvizu, R., Gayosso-Vázquez A., y R. A. Alonso M. 2009. Origen genético del ovino criollo mexicano (*Ovis aries*) por el análisis del gen del Citocromo C Oxidasa subunidad I. *Técnica Pecuaria México* 47: 323-328.
- Vatankhah, M., and S.A. Salehi. 2010. Genetic and non-genetic factors affecting Lori-Bakhtiari ewe body weight and its relationship with productivity. *Small Ruminant Research* 94: 98–102.
- Vatankhah, M., M. A. Talebi, and F. Zamani. 2012. Relationship between ewe body condition score (BCS) at mating and reproductive and productive traits in Lori-Bakhtiari sheep. *Small Ruminant Research* 106: 105– 109.

3 LIVE WEIGHT AND BODY CONDITION SCORE OF PELIBUEY EWES AND THEIR LAMBS GRAZED ON A CONVENTIONAL OR AN INTENSIVE SILVOPASTORAL SYSTEM

3.1 Resumen

Los objetivos fueron evaluar el efecto del sistema de producción, categoría de parto de la oveja, y el tipo del nacimiento del cordero en las trayectorias de peso vivo (ELW), condición corporal (BCS), peso de la camada (LTW) de ovejas Pelibuey, y el peso vivo de sus corderos (LLW). Los sistemas de producción comparados fueron pastoreo en un sistema convencional de pasto estrella de África (*Cynodon nlemfuensis*) solo y un sistema silvopastoril intensivo de pasto estrella de África asociado con leucaena (*Leucaena leucocephala*). La categoría de partos consistió en ovejas primíparas o múltiparas, mientras que el tipo del nacimiento del cordero consistió en corderos nacidos de partos individuales o múltiples. Las trayectorias de LLW, ELW, BCS y LTW se modelaron mediante análisis de regresión aleatoria. LLW y LTW al nacer y al destete también fueron analizados por análisis de varianza de mínimos cuadrados. En promedio, ELW fue similar entre los sistemas de producción, entre las categorías de parto y entre los tipos de nacimiento de los corderos. Sin embargo, las trayectorias de ELW fueron diferentes en cada sistema de producción. La trayectoria general de BCS de la oveja mostró un efecto cuadrático y, en promedio, las ovejas en el sistema silvopastoril (2.43 vs 2.22; $P < 0.05$) y las de parto simple (2.36 vs 2.30; $P < 0.05$) lograron mayor BCS que las de sistema convencional. La trayectoria de LLW desde el nacimiento hasta el destete no fue diferente entre los sistemas de producción ya que sus pendientes lineales generales fijas (silvopastoril, 153 vs. convencional 145, g cordero⁻¹ d⁻¹) fueron similares ($P = 0.5357$). Sin embargo, corderos provenientes de ovejas múltiparas fueron más pesados desde el nacimiento hasta el destete que los corderos de ovejas primíparas (8.5 vs. 8.1 kg; $P < 0.05$) y los provenientes de parto simple más pesados que los de parto múltiple (8.5 vs. 8.0 kg; $P < 0.05$). El aumento de peso de la camada desde el nacimiento hasta el destete tendió a ser mayor en los corderos provenientes de ovejas pastando en el sistema silvopastoril que en el sistema de solo pasto estrella de África (212 vs 173 g⁻¹ camada⁻¹ d⁻¹; $P = 0.0574$). Se concluye que las ovejas Pelibuey pastoreando en un sistema silvopastoril intensivo de leucaena asociada con pasto estrella de África, muestran una trayectoria de BCS más deseable desde el empadre hasta el destete, y entregan camadas que tienden a crecer más rápido desde el nacimiento hasta el destete que ovejas pastoreando un sistema convencional de solo pasto estrella de África.

Palabras clave: Ovejas Pelibuey, sistema silvopastoril intensivo, peso vivo, condición corporal, crecimiento del cordero, regresión aleatoria.

3.2 Abstract

The objectives were to evaluate the effect of production system, ewe lambing category, and lamb birth type on the trajectories of live weight (ELW), body condition score (BCS) and litter weight (LTW) of Pelibuey ewes, and live weight of their lambs (LLW). The production systems compared were grazing on a conventional system of only African star grass (*Cynodon nlemfuensis*) or an intensive silvopastoral system of African star grass associated with *Leucaena* (*Leucaena leucocephala*). Lambing category consisted of primiparous or multiparous ewes, whereas lamb birth type consisted of lambs singles or multiples. The trajectories of LLW, ELW, BCS and LTW were modeled using random regression analysis. LLW and LTW at birth and at weaning were also analyzed by least squares analysis of variance. On average, ELW did not differ by production system, lambing category or lamb birth type. However, the trajectories of ELW differed by production system. The overall trajectory of ewe BCS was quadratic and, on average, ewes on the silvopastoral system (2.43 vs. 2.22; $P < 0.05$) and those delivering singles (2.36 vs. 2.30; $P < 0.05$) achieved higher BCS than those on the conventional system. The trajectory of LLW from birth to weaning presented no difference between the production systems compared since their overall fixed linear slopes were the same (silvopastoral 153 vs. conventional 145 g $\text{lamb}^{-1} \text{d}^{-1}$; $P = 0.5357$). However, lambs out of multiparous ewes (8.5 vs. 8.1 kg; $P < 0.05$) or those delivered as singles (8.5 vs. 8.0 kg; $P < 0.05$) were heavier at weaning than those from primiparous ewes or those delivered as multiples, respectively. On average, litter weight gain from birth to weaning tended to be higher for litters from ewes grazing on the silvopastoral system than those from the conventional system (212 vs. 173 g $\text{litter}^{-1} \text{d}^{-1}$; $P = 0.0574$). It is concluded that Pelibuey hair ewes grazed on an intensive silvopastoral system of *Leucaena* associated with African Star grass, display a more desirable BCS trajectory from breeding to weaning, and deliver litters that tend to grow faster from birth weaning than ewes grazed on a conventional system of African star grass pasture alone.

Key words: Pelibuey hair sheep, intensive silvopastoral system, live weight, body condition score, lamb growth, random regression.

3.3 Introduction

Pelibuey sheep are an easy species to adapt to different environmental conditions and represent an important source of protein for human consumption. In Mexico, sheep production is generally located in geographic areas where extensive grazing systems, based on diurnal grazing of native grasses, are widely utilized. Such systems are characterized by the use of large areas of land for the production of grasses and low use of locally available food byproducts. In such systems, weight gain is low, which fluctuates between 70 and 100 g animal⁻¹ d⁻¹, depending on pasture quality (Ramírez *et al.*, 2011). In addition, nutritional deficiencies in forages are often reflected in low sheep reproductive rates (Galina *et al.*, 1996). An alternative that can reduce feed production costs and increase diet quality is the intensive silvopastoral system, which is a form of agroforestry and are characterized by the presence of high densities of fodder shrubs, as the legume *Leucaena* (*Leucaena leucocephala*) associated with improved pastures (Bacab *et al.*, 2013).

Tropical legumes such as *L. leucocephala* have higher nutritional content than grasses, and contain more than 20 % crude protein in the dry matter (García *et al.*, 2008). Furthermore, the use of mixed grass-legume tropical pastures increases plant biodiversity, contributes to nitrogen fixation to the soil, and grazing animals harvest a much more balanced diet than when they solely graze monoculture grass pastures (Figueredo and Toro, 2005). In addition, animals grazing on silvopastoral systems often improve average daily LW gain as it has been demonstrated in several studies (De Combellas *et al.*, 1999; Espinoza *et al.*, 2001; Izaguirre *et al.*, 2011; León *et al.*, 2008).

In tropical regions of México, the effect of grazing on an intensive silvopastoral system of *L. leucocephala* associated with *C. nlemfuensis* on the productive performance of hair sheep has not been sufficiently documented. Therefore, the objective was to evaluate the effect of grazing African Star grass pasture alone or an intensive silvopastoral system of African Star grass associated with *Leucaena leucocephala* on the trajectories of lamb and litter LW from birth to

weaning, ewe LW and BCS from breeding to lambing of Pelibuey hair sheep in the tropical region of San Luis Potosí, México.

3.4 Materials and methods

The experiment began in August 2013, with a one-month adaptation period to the grazing systems. The breeding period was held from September 1st to October 4th 2013, while the lambing period was from February 1st to March 7th 2014. Lactation and the corresponding time the lambs were suckling their mothers took place during February through April 2014. From birth to weaning at about 75 days of age, lambs stayed with their mothers all day and night on their respective grazing system.

3.4.1 Site location and pasture management

The study was conducted at the Production Unit "El Gargaleote" located in the township of Tamuín, San Luis Potosi, México. The farm belongs to Universidad Autónoma Chapingo, and it is located at 22° 16' North and 98° 42' West, at 40 m.a.s.l. The climate of the region is classified as warm sub-humid with a summer rainy season, annual average temperature of 25 °C and average rainfall of 990 mm year⁻¹ (like average 5 years, 2007-2012), with a well-defined dry period from January to May (García, 2004).

A one-hectare silvopastoral farmlet established with *L. leucocephala* and *C. nlemfuensis* was available for the experiment. In this system, the leucaena crop was established in rows of 100 m long and at a distance of 1.6 m between rows. The 1.6 m strips between the rows of leucaena were planted with *C. nlemfuensis* grass. The pasture system used as the conventional system consisted of a 1.5 ha farmlet established with a monoculture of *C. nlemfuensis* grass. For the rotational grazing management of the pastures, the experimental area was divided into paddocks of 555 m² each, 18 and 27 paddocks in the silvopastoral and conventional systems, respectively. During the course of the experiment, on average, the subdivisions had a seven-day grazing period and a

35-day resting period. Temporary electric fences were used to manage the grazing rotations of the pasture subdivisions.

3.4.2 Animals and their management

Seventy-two Pelibuey hair ewes, balanced by age, live weight and parity were allocated to one of the two systems compared. Thirty-six ewes were allocated to each system, and within each system, groups of twelve ewes constituted the corresponding replicates. The sheep in the flock were managed under an accelerated lambing scheme, where the first breeding was carried out September 1st to October 4th, in the year 2013; the second from January 1st to February 4th; and the third from May 1st to June 5th, both second and third periods during the year 2014.

On each of the systems compared, grazing management was with daylight rotational grazing, from 7:00 am to 16:00 pm, and ewes were then locked up at night. Besides the grazed forage, animals were supplemented with a mineral mix that contributed to the diet dry matter 0.12 % Ca, 0.17 % P, 30 ppm Zn, 0.30 ppm Se, 2 ppm I, 0.2 ppm Co and 10 ppm Cu. This mineral supplement was formulated attending mineral deficiencies reported for these forage species by Jiménez and Ortiz (2013). During the dry season, breeding ewes were supplemented with 330 g day⁻¹ of a concentrate mixed containing 40 % corn, 39 % sorghum, 8 % soybean meal, 5 % bypass fat, 4 % molasses, 3 % minerals, and 1 % urea; with an estimate composition of 14 % of crude protein and 3.34 Mcal of metabolizable energy. Table 6 shows the results of chemical composition of forages in the grassland, obtained by Martínez y Reyes (2013).

Table 6. Chemical composition of African star grass and leucaena on the grassland of the study.

Variable, %	African star grass	Leucaena
Dry matter	33.11	26.19
Crude protein	10.35	26.70
Crude fibre	29.96	13.75
Ash	12.44	11.02
Neutral detergent fiber	67.18	34.16
Acid detergent fiber	42.91	21.24

3.4.3 Recorded variables

Items measured were the ewes' LW and BCS at mating, at lambing and at weaning. The lamb's birth and weaning weights, as well as the litter weight at birth and at weaning were also recorded. The BCS was assessed using the 1 to 5 point scale described by Manazza (2006), and the ewes' live weight was recorded using a set of digital scales EQB® with capacity of 100 kg. The lamb's birth and weaning weight, as well as the litter weight at birth and at weaning were recorded using a set of digital scales Nuevo León® with capacity of 40 kg.

3.4.4 Statistical analyses

Descriptive statistics

Descriptive statistics for the variables ewe's age, LW, and BCS at the times of breeding, lambing, and weaning, as well as ewe's litter weight at birth and at weaning were obtained using the MEANS procedure of SAS (SAS, 2009). For their lambs, descriptive statistics were calculated for lamb weight at birth and at weaning, as well as lamb weaning age.

Live weight and body condition score of ewes

Individual trajectories for LW and BCS of ewes were modeled as a function of time using random regression analysis. The time scale corresponded with the duration of the experimental period; day one was fixed for all ewes at the start of breeding, and the date weaning took place was the last day of the experiment.

A linear mixed model was fitted using the MIXED procedure of SAS (SAS, 2009). Ordinary polynomials up to third degree were generated with the time variable 'day of the experiment', and individual trajectories were modeled separately for ELW and ewe BCS by fitting random regression models. These models varied in the degree of both the fixed and the random polynomial fitted until the combination of best fit was found. Model fit statistics produced after model convergence, such as -2 Residual Log Likelihood, Akaike's information criterion (AIC) and Bayesian Information Criterion (BIC) were used to rank the

models fitted. The model with the lowest combination of these values was deemed the model of best fit. The ewe's individual identification number was used to uniquely identify the subject in the respective analysis of variance. An unstructured covariance structure was specified in the random statement to model the between subject variation, and a variance components covariance structure was specified in the repeated statement to model the within subject variation (Littell *et al.*, 2000).

Following Schaeffer (2004), in the present experiment the emphasis of the analysis was on the dietary effects of the production systems compared, on animal performance. Thus, the emphasis was on the comparison of the fixed curves estimated for each production system. The animal random regressions, the result of a combination of genetic and permanent environmental effects, were considered nuisance effects.

In the present experiment, ELW and ewe BCS were analyzed separately. For ELW the following random regression model was evaluated:

$$y_{ijklm} = S_i + LC_j + BT_k + b_1(ILW_l - \mu_{ILW}) + \sum_{n=0}^{r1} \beta_{ni}x_{ijkn} + \sum_{n=0}^{r2} \alpha_{nil}x_{ijklm} + e_{ijklm}$$

For ewe BCS the following random regression model was evaluated:

$$y_{ijklm} = S_i + LC_j + BT_k + b_1(IBC S_l - \mu_{IBCS}) + \sum_{n=0}^{r1} \beta_{ni}x_{ijkn} + \sum_{n=0}^{r2} \alpha_{nil}x_{ijklm} + e_{ijklm}$$

Where:

Y_{ijklm} represents ELW or ewe BCS of the i^{th} ewe from the j^{th} production system, the k^{th} lambing category, the l^{th} lamb birth type, recorded on the m^{th} day of the experiment. The terms b_1 are, respectively, the linear regression coefficients associated with the covariables ewe initial live weight (ILW_{*l*}) and ewe initial body condition score (IBCS_{*l*}) of the i^{th} ewe; and μ_{ILW} and μ_{IBCS} are the means of the covariables initial LW and initial BCS, respectively. S_i is the fixed effect of the i^{th}

production system (i = silvopastoral, conventional); LC_j is the fixed effect of the j^{th} lambing category (j = primiparous, multiparous); BT_k is the fixed effect of the k^{th} lamb birth type (k = single, multiples). The β_{ni} terms (i.e. β_{0i} , β_{1i} , β_{2i} , β_{3i} , etc.) are, respectively, the intercept, and the slopes related to the linear, quadratic and cubic effects of day of the experiment (X_{ijkm}) of the overall fixed regression for the i^{th} production system. Likewise, the α_{nil} terms (i.e. α_{0il} , α_{1il} , α_{2il} , α_{3il} , etc.), the e_{ijklm} and the X_{ijklm} are, respectively the random effects of the intercept, slopes and error, and the m^{th} day of the experiment, of the random regression of the l^{th} animal ($l = 1, \dots, n$) pertaining to the i^{th} production system.

The ESTIMATE statement was specified for the interaction between each of the fixed regression coefficients and the production system effect in the MIXED procedure of SAS (SAS Inst., Cary, NC, USA). The respective contrasts tested the null hypothesis of no difference of the fixed regression coefficients across production systems.

Lamb birth and weaning weight

The trajectories of lamb weight from birth to weaning were analyzed by fitting random regression models. The time scale in the model corresponded with lamb age at the time of weighing. The lamb's date of birth was taken as day one of age, and the system's fixed weaning date was used to calculate the lamb's age at weaning, which was taken as the final point of the time-scale. The lamb's unique identification number was used to label the repeated live weight records (i.e. birth and weaning weight) from each lamb. Thus, the lamb's unique identification number acted as the subject effect in the random statement of the analysis of variance. The following random regression model was fitted to the live weight and age data of the lambs born during the experimental period:

$$y_{ijklm} = S_i + LC_j + BT_k + \sum_{n=0}^{r1} \beta_{ni} x_{ijkn} + \sum_{n=0}^{r2} \alpha_{nil} x_{ijklm} + e_{ijklm}$$

Where:

Y_{ijklm} represents LW of the l^{th} lamb from the i^{th} production system, the j^{th} lambing category, the k^{th} lamb birth type, recorded on the m^{th} day of age of the lamb;

S_i is the fixed effect of the i^{th} production system (i = silvopastoral, conventional);

LC_j is the fixed effect of the j^{th} lambing category (j = primiparous, multiparous);

BT_k is the fixed effect of the k^{th} lamb birth type (k = single, multiples);

The β_{ni} terms (i.e. β_{0i} , β_{1i} , etc.) are, respectively, the intercept, and the slope related to the linear effect of lamb age (X_{ijklm}) of the overall fixed regression for the i^{th} production system;

Likewise, the α_{nil} terms (i.e. α_{0il} , α_{1il} , etc.), the e_{ijklm} and the X_{ijklm} are, respectively the random effects of the intercept, linear slope and error, and the m^{th} day of age of the lamb, of the random regression of the l^{th} lamb ($l = 1, \dots, n$) pertaining to the i^{th} production system.

Lamb birth and weaning weights were also analyzed by least square analysis of variance. The MIXED procedure of SAS (SAS Inst., Cary, NC, USA) was used. The following linear models were fitted separately to the birth weights or weaning weights of lambs being born and raised on the experimental treatments.

For birth weight:

$$y_{ijklmn} = \mu + S_i + LC_j + BT_k + LSC_l + Ewe_m + e_{ijklmn}$$

For weaning weight:

$$y_{ijklmn} = \mu + S_i + LC_j + BT_k + LSC_l + Ewe_m + b_{1:1}(BW - \mu_{BW}) + b_{1:2}(WA - \mu_{WA}) + e_{ijklmn}$$

Where:

y_{ijklmn} is the record of either birth or weaning weight of the n^{th} lamb with the k^{th} lamb birth type and the l^{th} sex of lamb by birth category combination, delivered by the m^{th} ewe on her j^{th} lambing category, and managed on the i^{th} production system;

μ is the overall mean;

S_i is the fixed effect of the i^{th} production system (i = silvopastoral, conventional);

LC_j is the fixed effect of the j^{th} ewe's lambing category (j = primiparous, multiparous);

BT_k is the fixed effect of the k^{th} lamb birth type (k = single, multiples);

LSC_l is the fixed effect of the l^{th} sex of lamb by birth category combination (l = male (M), female (F), MM, MF, FF);

Ewe_m is the random effect of ewe $\sim NID(0, \sigma_{ewe}^2)$;

The terms $b_{1:1}$ and $b_{1:2}$ are, respectively, the linear regression coefficients associated with the covariates lamb birth weight (BW) and lamb weaning age (WA); and μ_{BW} and μ_{WA} are the means of the covariates lamb birth weight and lamb weaning age; and e_{ijklmn} is the random residual $\sim NID(0, \sigma_e^2)$.

Ewe litter weight at birth and at weaning

The trajectories of litter weight from birth to weaning were modeled by fitting random regression models. The time scale in the model corresponded with lamb age at the time of weighing. The lamb's date of birth was taken as day one of age, and the system's fixed weaning date was used to calculate the lamb's age at weaning, which was taken as the final point of the time-scale. The ewe's unique identification number was used to label the repeated litter weight records (i.e. litter weight at birth and at weaning) from each ewe. Ewe acted as the subject effect in the random statement of the analysis of variance. The following

random regression model was fitted to the litter weight and age data of the ewes delivering and weaning lambs during the experimental period:

$$y_{ijklm} = S_i + LC_j + BT_k + b_1(LTW_l - \mu_{LTW}) + \sum_{n=0}^{r_1} \beta_{ni} x_{ijkml} + \sum_{n=0}^{r_2} \alpha_{nil} x_{ijkml} + e_{ijklm}$$

Where:

Y_{ijklm} represents litter weight of the i^{th} ewe from the i^{th} production system, the j^{th} lambing category, the k^{th} lamb birth type, recorded on the m^{th} day of age of the lamb;

The term b_1 is the linear regression coefficient associated with the covariate litter weight at birth (LTW) recorded on the i^{th} ewe, and μ_{LTW} is the mean of the covariate litter weight at birth;

S_i is the fixed effect of the i^{th} production system (i = silvopastoral, conventional);

LC_j is the fixed effect of the j^{th} lambing category (j = primiparous, multiparous);

BT_k is the fixed effect of the k^{th} lamb birth type (k = single, multiples).

The β_{ni} terms (i.e. β_{0i} , β_{1i} , etc.) are, respectively, the intercept, and the slope related to the linear effect of lamb age (X_{ijkml}) of the overall fixed regression for the i^{th} production system.

Likewise, the α_{nil} terms (i.e. α_{0il} , α_{1il} , etc.), the e_{ijklm} and the X_{ijkml} are, respectively the random effects of the intercept, linear slope and error, and the m^{th} day of age of the lamb, of the random regression of the i^{th} ewe ($l = 1, \dots, n$) pertaining to the i^{th} production system.

Litter weights at birth and at weaning were also analyzed by least square analysis of variance. The MIXED procedure of SAS (SAS Inst., Cary, NC, USA) was used. The following linear models were fitted separately to the litter weights

at birth and at weaning achieved by ewes managed on the experimental treatments.

For litter weight at birth:

$$y_{ijklm} = \mu + S_i + LC_j + BT_k + LSC_l + e_{ijklm}$$

For litter weight at weaning:

$$y_{ijklm} = \mu + S_i + LC_j + BT_k + LSC_l + b_1(LWB - \mu_{LWB}) + e_{ijklm}$$

Where:

y_{ijklm} is either litter weight at birth or at weaning recorded on the m^{th} ewe with j^{th} lambing category, k^{th} lamb birth type, l^{th} sex of lamb by birth category combination, and managed on the i^{th} production system;

μ is the overall mean;

S_i is the fixed effect of the i^{th} production system (i = silvopastoral, conventional);

LC_j is the fixed effect of the j^{th} ewe's lambing category (j = primiparous, multiparous);

BT_k is the fixed effect of the k^{th} lam birth type (k = single, multiples);

LSC_l is the fixed effect of the l^{th} sex of lamb by birth category combination (l = male (M), female (F), MM, MF, FF);

The term b_1 is the linear regression coefficient associated with the covariate litter weight at birth (LWB); and μ_{LWB} is the mean of the covariate litter weight at birth, and e_{ijklm} is the random residual $\sim NID(0, \sigma_e^2)$.

3.5 Results and discussion

3.5.1 Descriptive statistics of animal measurements

Descriptive statistics for variables of interest measured on the experimental animals are summarized in Table 6. Breeding started with 72 mixed-age ewes ranging from 10 to 55 months of age, with an average LW of 34 kg that ranged from a minimum of just over 26 kg and a maximum of 45 kg for older ewes. Ewe BCS averaged 2.7 and ranged from 1.8 to 4.0 units. At lambing, only 62 out of the 72 breeding ewes submitted for breeding delivered lambs; in total, 87 lambs were born and their birth weight ranged from 1.3 to 4.1 kg, with an average of 2.7 kg.

Table 7. Descriptive statistics of measured variables of Pelibuey ewes and their lambs grazing either on a conventional system of a monoculture of African star grass pasture or a silvopastoral system of African star grass and *Leucaena*.

Stage	Variable	N	Minimum	Maximum	Mean	SD ¹	CV ²
Breeding	Ewe age, months	72	10.4	55.0	32.1	12.7	39.7
	Ewe live weight, kg	72	26.2	45.3	33.9	4.4	13.0
	Ewe BCS, units	72	1.8	4.0	2.7	0.7	24.6
Lambing	Ewe age, months	62	15.7	60.5	37.0	13.0	35.2
	Ewe live weight, kg	62	27.0	44.3	34.5	4.5	13.0
	Ewe BCS, units	62	1.8	3.5	2.6	0.5	19.4
	Lamb birth weight, kg	87	1.3	4.1	2.6	0.6	21.8
	Litter weight at birth, kg	59	2.3	6.3	3.9	1.1	29.1
Weaning	Ewe age, months	58	18.4	63.0	39.1	12.9	33.0
	Ewe live weight, kg	58	21.9	38.9	30.3	3.8	12.5
	Ewe BCS, units	58	1.0	2.5	1.7	0.4	24.3
	Lamb weaning weight, kg	75	8.0	21.5	13.5	3.2	24.0
	Lamb weaning age, days	75	58.0	96.0	76.2	8.7	11.5
	Litter weight at weaning, kg	56	8.6	38.1	18.1	6.7	37.1

¹Standard deviation

²Coefficient of variation

Ewe LW at lambing increased only slightly averaging 34.5 kg and ranged from 27.0 to 44.3 kg; ewe BCS at lambing averaged 2.6 and ranged from 1.8 to 3.5 units. At weaning, only 58 ewes out of the 72 submitted for breeding appeared with a weaned lamb; their average live weight was 30.3 kg and ranged from 21.9 to 38.9; ewe BCS was on average 1.7 units, with a range of 1.0 to 2.5 units.

Only 75 lambs were weaned out of the 87 lambs born; their weaning weight ranged from 8.0 to 21.5 kg, with a mean value of 13.5 kg. On average, lambs were weaned at 76.2 days of age, with a range of 58 to 96 days of age.

3.5.2 Random regression models of best fit

Least squares means for the fixed effects of production system, lambing category and lambing type, as well as regression coefficients for significant linear covariates, overall fixed regression coefficients by production system, and the random effects of the model are given in Table 7 for ELW and ewe BCS. The overall test statistics of -2 times the residual log-likelihood, the Akaike Information Criterion (AIC), and the Bayesian Information Criterion (BIC) for the model of best fit are also given in Table 7. Corresponding values for LLW and ewe LTW are given in Table 8.

Ewe live weight

For the trajectory of ELW the model of best fit consisted of a combination of a third-degree fixed polynomial and a first-degree random polynomial. On average, ELW did not differ between production systems, lambing category or lambing type. However, the production systems differed at the average ELW trajectories displayed during the experiment. The scatter plots, the random regression lines estimated for each ewe, as well as the overall fixed regression lines for the two production systems compared are given in Figure 2. Compared with the conventional system of African star grass pasture alone, all the regression coefficients were significantly larger for the ewes managed on the silvopastoral system (Table 8). The significant cubic effect translated into a very significant drop in ELW at the time around lambing for those ewes grazed on the silvopastoral system (Figure 2). The overall trajectory of the ewes on the conventional system of African star grass pasture alone was no different to a parallel line to the horizontal axis.

Ewe body condition score

For the trajectory of ewe BCS the model of best fit consisted of a combination of a second-degree fixed polynomial and a first-degree random polynomial (Table 8).

Table 8. Parameter estimates for the models fitted to live weight and body condition score of Pelibuey ewes grazed on a conventional system of African star grass pasture alone, or a silvopastoral system with of African star grass and *Leucaena*.

Item	Response variable modeled ^{y/}	
	Ewe live weight, kg	Ewe BCS, units
Fixed effects^{z/}		
Production system		
Silvopastoral	33.2(0.62)	2.43(0.07) ^a
Conventional	32.9(0.63)	2.22(0.07) ^b
Lambing category		
Primiparous	33.3(0.46)	2.32(0.06)
Multiparous	32.9(0.44)	2.33(0.05)
Lamb birth type		
Single	33.0(0.45)	2.36(0.06) ^a
Multiples	33.1(0.44)	2.30(0.05) ^b
Covariates		
Ewe initial live weight, kg	1.07(0.016) ^{***}	----
Ewe initial BCS, units	----	0.800(0.028) ^{***}
Fixed regression coefficients by Production system		
β_0 Silvopastoral	33.5(0.27) ^{***}	2.64(0.06) ^{***}
β_0 Conventional	34.2(0.25) ^{***}	2.61(0.05) ^{***}
β_1 Silvopastoral	0.772(0.13) ^{***}	0.0093(1.1E ⁻³) ^{***}
β_1 Conventional	0.040(0.09) ^{NS}	0.0046(1.2E ⁻³) ^{***}
β_2 Silvopastoral	-7.3E ⁻³ (1.3E ⁻³) ^{***}	-5.0E ⁻⁵ (3.9E ⁻⁶) ^{***}
β_2 Conventional	-1.7E ⁻⁴ (9.5E ⁻⁴) ^{NS}	-4.0E ⁻⁵ (4.2E ⁻⁶) ^{***}
β_3 Silvopastoral	1.7E ⁻⁵ (3.0E ⁻⁶) ^{***}	----
β_3 Conventional	-2.5E ⁻⁷ (2.3E ⁻⁶) ^{NS}	----
Random effects		
$\sigma_{\alpha_0}^2$	0.0	0.0
$\sigma_{\alpha_1}^2$	3.4E ⁻⁴ (1.1E ⁻⁴) ^{**}	1.6E ⁻⁵ (4.2E ⁻⁶) ^{***}
$\sigma_{\alpha_0\alpha_1}$	0.019(0.0038) ^{***}	-5.6E ⁻⁴ (1.2E ⁻⁴) ^{***}
$\sigma_{residual}^2$	0.8987(0.126) ^{***}	0.0456(0.0066) ^{***}
Overall Model Test		
-2 Residual Log Likelihood	740	168
AIC (smaller is better)	746	174
BIC (smaller is better)	753	180

^{w/} ---- = Effect not fitted in the model. ^{x/} Silvopastoral = Silvopastoral system with a mixed African star grass-*Leucaena Leucocephala* pasture. ^{y/} Conventional = Monoculture of African star grass pasture. ^{y/} Standard errors within parentheses; * = P < 0.05; ** = P < 0.01; *** = P < 0.001; NS = Not significant. ^{z/} Within fixed effect category, least square means in the same column with different superscript are different (P < 0.05).

On average, ewe BCS was higher for ewes grazing on the silvopastoral system and for those delivering singles. Likewise, the production systems compared differed at the average BCS trajectories displayed by the ewes in the experiment.

The scatter plots, the random regression lines estimated for each ewe, as well as the overall fixed regression lines for the two production systems compared are given for BCS in Figure 3. Ewes on the silvopastoral system displayed a more desirable BCS trajectory from breeding to weaning than ewes on the system of African star grass pasture alone. Ewes on the silvopastoral system displayed an increasing trajectory of BCS from breeding to lambing, and a similar decline of ewe's BCS from lambing to weaning. However, at the end of the experiment, predicted BCS was higher (2.0 vs. 1.5; $P < 0.01$) for ewes managed on the silvopastoral system (Figure 3).

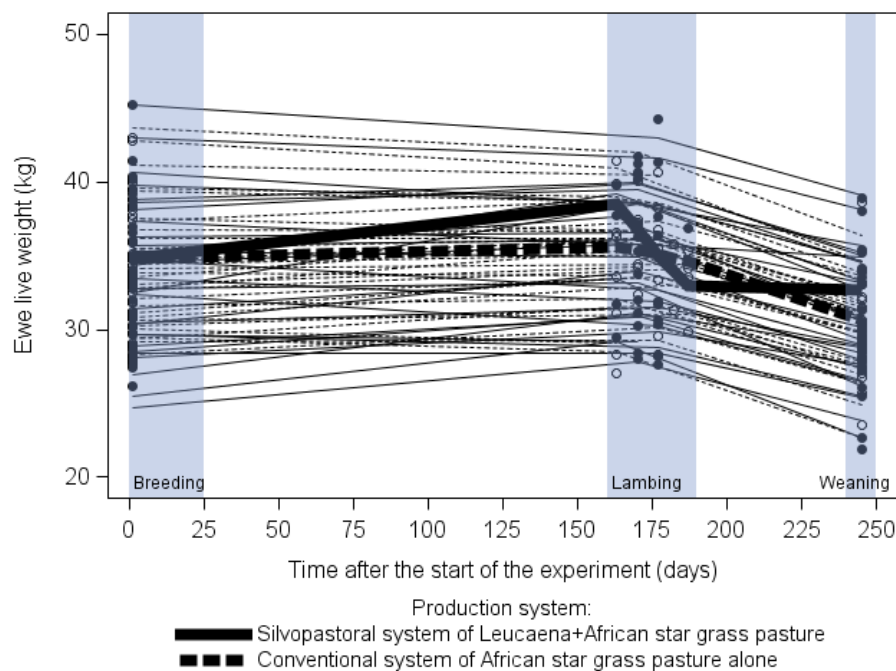


Figure 2. Scatter plot, overall fixed regression lines (thick lines) and individual ewe random regression lines (thin lines) of LW on day of the experiment, of Pelibuey ewes grazed on African star grass pasture alone or on a silvopastoral system of African star grass and Leucaena.

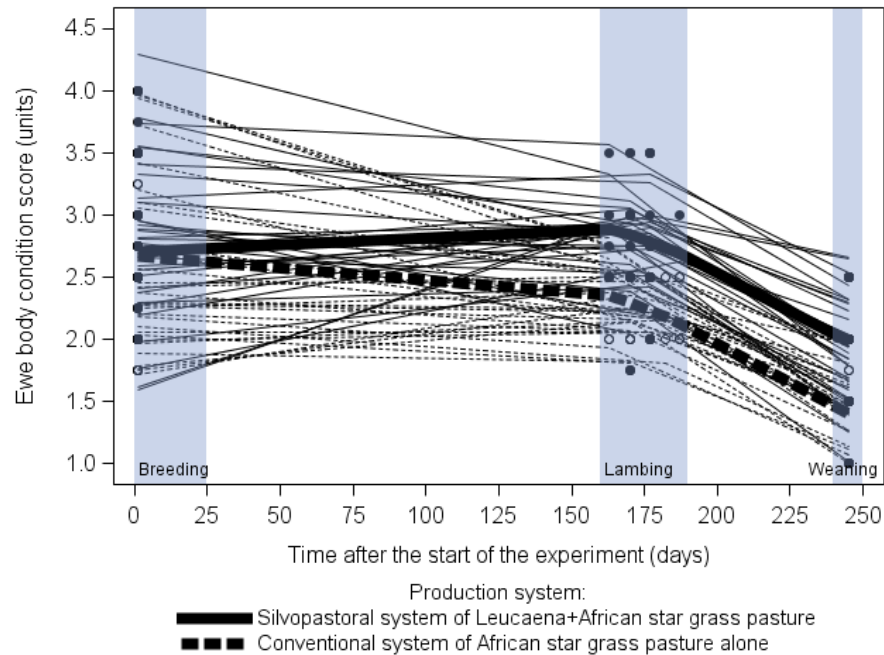


Figure 3. Scatter plot, overall fixed regression lines (thick lines) and individual ewe random regression lines (thin lines) of BCS on day of the experiment of Pelibuey ewes grazed on African star grass pasture alone or on a silvopastoral system of African star grass and Leucaena.

Lamb live weight at birth and at weaning

For the trajectory of lamb LW from birth to weaning the model of best fit consisted of a combination of a first-degree fixed and a first-degree random polynomial (Table 9). The scatter plots, the random regression lines estimated for each lamb, as well as the overall fixed regression lines for each level of production system are given for LLW in Figure 4. On average, LLW from birth to weaning did not differ between the production systems compared. However, lambs out of multiparous ewes (8.5 vs. 8.1 kg; $P < 0.05$) or those delivered as singles (8.5 vs. 8.0 kg; $P < 0.05$) were heavier than those from primiparous ewes or from a twin birth, respectively. The average growth trajectory of lambs from the production systems compared did not differ. Although numerically higher for the silvopastoral system (Table 10), their overall fixed linear slopes were the same (153 vs. $145 \text{ g}^{-1}\text{lamb d}^{-1}$; $P = 0.5357$).

Table 9. Parameter estimates for the models fitted to lamb live weight and ewe litter weight grazed on a conventional system of African star grass pasture alone, or a silvopastoral system of African star grass and *Leucaena*.

Item	Response variable modeled ^y	
	Lamb live weight, kg	Litter weight, kg
Fixed effects^{z/}		
Production system ^{x/}		
Silvopastoral	8.5(0.27)	11.6(0.49) ^a
Conventional	8.1(0.29)	10.0(0.53) ^b
Lambing category		
Primiparous	8.1(0.24) ^b	10.8(0.36)
Multiparous	8.5(0.20) ^a	10.9(0.37)
Lamb birth type		
Single	8.5(0.21) ^a	10.2(0.36) ^a
Multiples	8.0(0.19) ^b	11.0(0.35) ^b
Covariables		
Litter weight at birth, kg	----	0.870(0.038) ^{***}
Fixed regression by Production system		
β_0 Silvopastoral	2.21(0.19) ^{***}	3.66(0.11) ^{***}
β_0 Conventional	2.14(0.19) ^{***}	3.60(0.11) ^{***}
β_1 Silvopastoral	0.153(0.007) ^{***}	0.212(0.013) ^{***}
β_1 Conventional	0.145(0.008) ^{***}	0.173(0.014) ^{***}
Random effects		
$\sigma_{\alpha_0}^2$	0.0821(0.146) ^{NS}	0.090(0.02) ^{***}
$\sigma_{\alpha_1}^2$	0.0017(0.0018) ^{NS}	0.0053(0.001) ^{***}
$\sigma_{\alpha_0\alpha_1}$	-0.0141(0.069) ^{NS}	-0.0079(0.004) ^{NS}
$\sigma_{residual}^2$	0.1976(0.000) ^{NS}	6.4E ⁻⁶ (0.004) ^{NS}
Overall Model Test		
-2 Residual Log Likelihood	363	384
AIC (smaller is better)	371	392
BIC (smaller is better)	381	400

^{w/} ---- = Effect not fitted in the model. ^{x/} Silvopastoral = Silvopastoral system with a mixed African star grass-*Leucaena Leucocephala* pasture. ^{y/} Conventional = Monoculture of African star grass pasture. ^{y/} Standard errors within parentheses; * = P < 0.05; ** = P < 0.01; *** = P < 0.001; NS = Not significant. ^{z/} Within fixed effect category, least square means in the same column with different superscript are different (P < 0.05).

Ewe litter weight at birth and at weaning

For the trajectory of litter weight from birth to weaning, the model of best fit consisted of a combination of a first-degree fixed and a first-degree random polynomial (Table 9). The scatter plots, the random regression lines estimated

for each ewe, as well as the overall fixed regression lines for each level of production system are given for ewe litter weight in Figure 5.

On average, litter weight was higher for ewes grazed on the silvopastoral system (11.6 vs. 10.0 kg; $P < 0.05$), and for those delivering twins (11.0 vs. 10.2 kg; $P < 0.05$) rather than singles (Table 9). The average litter growth trajectory from the production systems compared tended to differ. On average, litter weight gain from birth to weaning tended to be higher for litters from ewes grazing on the silvopastoral system (212 vs. $173 \text{ g}^{-1} \text{ litter d}^{-1}$; $P = 0.0574$).

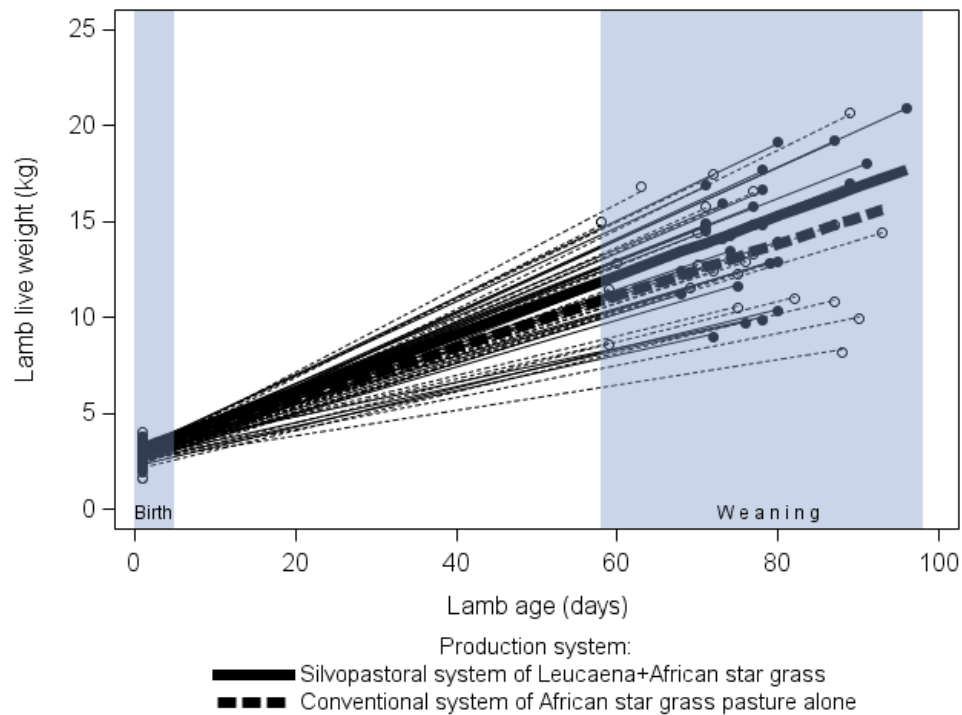


Figure 4. Scatter plot, overall fixed regression lines (thick lines) and individual lamb random regression lines (thin lines) of LW on day of age, of Pelibuey ewes grazed on African star grass pasture alone or on a silvopastoral system of African star grass and Leucaena.

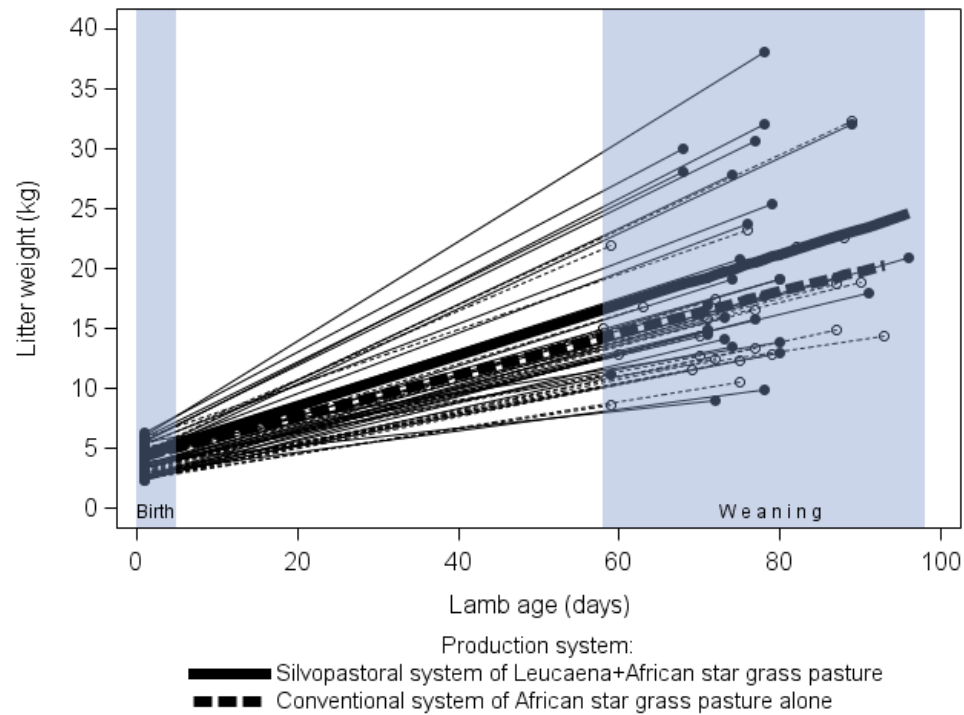


Figure 5. Scatter plot, overall fixed regression lines (thick lines) and individual ewe random regression lines (thin lines) of litter weight on day of lamb age of Pelibuey ewes grazed on African star grass pasture alone or on a silvopastoral system of African star grass and Leucaena.

3.5.3 Test of overall fixed regressions over production systems

The overall fixed regression coefficients for the variables LW and BCS of breeding ewes, and LW and litter weight of their lambs, are summarized in Table 10. Probability values to test the null hypothesis of no difference between the fixed regression coefficients of the two treatments compared are also given in Table 10.

The ewes' LW displayed a significant cubic trajectory only for the silvopastoral system, and the estimated fixed regression lines displayed a significantly different trajectory as evidenced by the level of significance of the tests from Table 10.

For BCS the production systems compared had similar intercept but the linear slope of the ewes on the silvopastoral system was twice as large as that achieved by ewes grazed on the conventional system of African star grass pasture alone (0.0093 vs. 0.0046 units d^{-1} ; $P=0.0066$). Thus, ewes on the silvopastoral system showed a more desirable overall BCS trajectory than ewes grazing solely on African star grass pasture.

Both, the fixed intercept and the linear slope of lamb LW were not different for the production systems compared. However, litter weight gain from birth to weaning was significantly higher for ewes grazed on the silvopastoral system. On average, litters from ewes on the silvopastoral system achieved growth rates from birth to weaning 22 % higher than that achieved by litters grazed on the conventional system of African star grass pasture alone.

Table 10. Fixed overall regression coefficients (e.e.) for live weight and BCS on day of the experiment from Pelibuey ewes grazing either on a monoculture of African star grass pasture or a silvopastoral system of African star grass and *Leucaena*.

Variable	Production system ^a	Overall fixed regression coefficients (e.e.) ^b				Test of equality of fixed regression coefficients across treatments (Pr > F)			
		β_0	β_1	β_2	β_3	β_0	β_1	β_2	β_3
Ewe LW, kg	Silvopastoral	33.5(0.27)	0.772(0.13)	-7.3E ⁻³ (1.3E ⁻³)	1.7E ⁻⁵ (3.0E ⁻⁶)	0.0281	1	1	1
	Conventional	34.2(0.25)	0.040(0.09)	-1.7E ⁻⁴ (9.5E ⁻⁴)	-2.5E ⁻⁷ (2.3E ⁻⁶)				
Ewe BCS, units	Silvopastoral	2.64(0.06)	0.0093(1.1E ⁻³)	-5.0E ⁻⁵ (3.9E ⁻⁶)	----	0.5732	0.0066	0.0066	----
	Conventional	2.61(0.05)	0.0046(1.2E ⁻³)	-4.0E ⁻⁵ (4.2E ⁻⁶)	----				
Lamb LW, kg	Silvopastoral	2.21(0.19)	0.153(0.007)	----	----	0.6174	0.5357	----	----
	Conventional	2.14(0.19)	0.145(0.008)	----	----				
Ewe litter weight, kg	Silvopastoral	3.66(0.11)	0.212(0.013)	----	----	0.5107	0.0574	----	----
	Conventional	3.60(0.11)	0.173(0.014)	----	----				

^a Silvopastoral = Silvopastoral system with a mixed African star grass-*Leucaena Leucocephala* pasture. ^a Conventional = Monoculture of African star grass pasture. ^b Standard error within parenthesis.

3.5.4 Results from the analysis of variance

The level of significance of the fixed effects of production system, ewe lambing category, lamb birth type, lamb sex by birth type category, and the linear covariates lamb birth weight, lamb weaning age, and litter weight at birth are given in Table 11. The corresponding least squares means of fixed effects and the linear regression coefficients for the covariates fitted in the respective models are given in Table 12.

Lam birth and weaning weight

Production system or lamb birth type did not affect lamb birth weight. However, lambing category and the lamb sex by birth type combination affected lamb birth weight; lambs delivered by multiparous were heavier than those delivered by primiparous ewes (2.7 vs. 2.3 kg; $P < 0.05$). Likewise, male or female lambs delivered as singles were the heaviest of the lamb sex by birth type combination. After adjusting for the significant linear effects of birth weight ($b_{1:1} = 2.304 \pm 0.74$; $P < 0.05$) and weaning age ($b_{1:2} = 0.108 \pm 0.40$; $P < 0.05$), lambs on the silvopastoral system were heavier at weaning than those grazed on the conventional system (14.3 vs. 13.0 kg; $P < 0.05$). The effects of lambing category, lamb birth type, and the lamb sex by birth type combination did not affect weaning weight.

Litter weight at birth and at weaning

After adjusting for the significant linear effect of litter weight at birth ($b_1 = 3.9 \pm 0.70$; $P < 0.05$), the fixed effects of production system, lambing category, lamb birth type, and the lamb sex by birth type combination did not affect litter weight at weaning. Likewise, the fixed effects of production system, lambing category, and lamb birth type did not affect litter weight at birth of Pelibuey ewes. However, as expected, litter weight of multiples was higher than that of lambs born as singles.

Table 11. Level of significance (probability) of the fixed effects and covariates for lamb birth and weaning weight, and litter weight at birth and at weaning of Pelibuey ewes managed on a silvopastoral system of Leucaena and African star grass or a conventional system of African star grass pasture alone.

Effect	Response variable modeled ^{a/}			
	Lamb weight, kg at:		Litter weight, kg at:	
	Birth	Weaning	Birth	Weaning
Production system	0.1202	0.0495	0.0793	0.2090
Lambing category	0.0166	0.7981	0.1678	0.0624
Lamb birth type	0.3053	0.9237	0.9302	0.6599
Lamb sex-Birth type	0.0033	0.0556	<0.0001	0.6046
Covariates				
Lamb birth weight, kg linear	---	0.0029	---	---
Lamb weaning age, days linear	---	0.0099	---	---
Litter weight at birth, kg linear	---	---	---	<0.0001

^{a/}--- = Effect not significant and therefore not fitted in the final model.

Table 12. Least square means of fixed effects and regression coefficients of linear covariates, for birth and weaning weight of lambs, litter weight at birth and at weaning of Pelibuey ewes grazed on a silvopastoral system of Leucaena and African star grass or a conventional system of African star grass pasture alone.

Effect	Level	Response variable modeled ¹			
		Lamb weight, kg at:		Litter weight, kg at:	
		Birth	Weaning	Birth	Weaning
Production system	Silvopastoral	2.6(0.09)	14.3(0.51) ^a	4.1(0.15)	20.1(0.93)
	Conventional	2.4(0.11)	13.0(0.63) ^b	3.8(0.17)	18.6(1.09)
Lambing category	Primiparous	2.3(0.14) ^b	13.8(0.79)	3.8(0.20)	17.9(0.83)
	Multiparous	2.7(0.09) ^a	13.5(0.48)	4.1(0.13)	20.8(1.34)
Lamb birth type	Single	2.6(0.15)	13.6(0.85)	3.9(0.22)	18.9(1.38)
	Multiple	2.4(0.09)	13.7(0.55)	4.0(0.15)	19.7(0.96)
Lamb sex-Birth type ²	F	2.9(0.13) ^a	13.5(0.76)	2.8(0.19) ^c	17.9(1.40)
	FF	2.1(0.22) ^b	12.9(1.17)	4.1(0.33) ^{ab}	19.8(2.04)
	M	3.0(0.13) ^a	15.2(0.81)	3.2(0.18) ^{bc}	18.7(1.29)
	MF	2.5(0.16) ^b	12.2(0.84)	5.0(0.23) ^a	18.8(1.77)
	MM	2.3(0.18) ^b	14.5(1.02)	4.5(0.27) ^a	21.4(1.79)
Lamb birth weight, kg linear		---	2.304(0.74)	---	---
Lamb weaning age, days linear		---	0.108(0.40)	---	---
Litter weight at birth, kg linear		---	---	---	3.9(0.70)

¹ Within effect and column, least square means with different superscript are different (Tukey; P < 0.05).

² Lamb sex-Birth type: F = Female; FF = Female, Female; M = Male; MF = Male, Female; MM = Male, Male).

Trajectory of ewe live weight

The overall trajectory of ELW across the ewe's productive stages studied was different due to the effect of production system. The overall trend of the ewes on the conventional system was not different to a parallel line to the horizontal axis, whereas the ewes on the silvopastoral system presented a significant cubic trajectory. On average, ewes on the silvopastoral system lost three times more weight around lambing than ewes on the conventional system. This weight loss leads to suggest that ewes on the silvopastoral system had access to both higher pasture availability and of higher quality than those on the conventional system (Maya *et al.*, 2005). Likewise, León *et al.* (2008) indicated that ELW at lambing and 60 days post lambing of Pelibuey ewes is 29.6 to 34.7 % higher when they have access to leucaena foliage. De Combellas (1999) did not find differences in ELW of Pelibuey ewes grazed on a silvopastoral system of African star grass associated with leucaena or a conventional system of African star grass pasture alone supplemented with 300 g ewe⁻¹ day⁻¹ of a concentrate feed with 20 % crude protein. This result leads De Combellas (1999) to suggest that Leucaena foliage can replace the concentrate supplement without compromising animal productive performance.

Trajectory of ewe body condition score

Ewes on the silvopastoral system consistently had higher BCS from breeding to weaning than those on the conventional system. From breeding to lambing, the BCS of ewes on the systems compared displayed opposite trajectories. Because ewes in both systems started the experimental period after ending lactation, and they did not receive any supplementary feeding from breeding to lambing, the better BCS of ewes on the silvopastoral system can be attributed to the presence of Leucaena on the pasture. Other studies (León *et al.*, 2008) with Pelibuey sheep grazed on tropical pastures and supplemented 1.5 kg d⁻¹ achieved BCS of 4 both at lambing and at 60 days post lambing; whereas not supplemented ewes achieved BCS of 2.21 and 2.11 respectively.

At weaning, ewes achieved the lowest BCS, and, for those in the conventional system the lowest ELW. Cruz *et al.* (1999) have indicated that there is a low significative correlation between ewe BCS and ELW. In our study ewe BCS was affected by production system and lamb birth type, with higher BCS for ewes on the silvopastoral system and those delivering a single lamb. In line with these results, Ripoll-Bosch *et al.* (2011) found differing BCS patterns during lactation for ewes delivering singletons or multiples. These researchers also found ewes from 3 to 5 years of age had the best BCS status, and those of more than five years of age the worst.

Trajectory of lamb live weight from birth to weaning

The growth trajectory of LLW from birth to weaning did not differ by production system. Likewise, lamb birth weight was similar for the two production systems compared. Average lamb birth weight from the present study (2.6 kg) is within the range of 2.0 to 3.3 kg reported for Pelibuey lambs reared on grazing conditions (Carrillo *et al.*, 1987; Navarro *et al.*, 1987; Cruz y López, 1991; Fonseca, 2003; Herrera *et al.*, 2008; López *et al.*, 2011). De Combellas (1999) did not find differences in birth weight of lambs from ewes grazing on a silvopastoral system of African star grass associated with leucaena and that of ewes on a system of African star grass supplemented with concentrate feed. On average, these lambs achieved birth weights of 2.8 kg. In contrast, Fonseca (2003) reported birth weight differences during the rainy season (3.3 vs. 3.1 kg) for lambs whose mothers received native grass and leucaena and those that received native grass and concentrate feed, respectively; however, he did not find difference on lamb birth weight (3.5 kg) during the dry season. Thus, season of lambing will have a significant effect on the birth weight of Pelibuey lambs reared on grazing conditions (Carrillo *et al.*, 1987; Navarro *et al.*, 1987; Herrera *et al.*, 2008; Teleb *et al.*, 2009).

According to Gardner *et al.* (2007) BCS of ewes before lambing has a significant effect on lamb birth weight. However, in the present study a higher BCS of ewes on the silvopastoral system did not produce heavier lambs at birth. This result is

in agreement with the findings of Vatankhah *et al.* (2012) that reported a positive association between the ewes BCS at breeding and the ewes litter weight at birth. Thus, in our study the lack of difference due to production system in lamb birth weight could have been due to the similar BCS of the ewes at breeding in the two systems compared.

Lambs delivered by multiparous ewes were 17 % heavier at birth than those delivered by primiparous ewes. Likewise, the sex combination at birth for multiples had an important effect on lamb birth weight. Male (M) or female (F) lambs delivered as singletons had similar birth weight, and were about 17 %, 20 %, and 30 % heavier at birth than lambs delivered as FF, MF or MM, respectively. Tariq *et al.* (2013) and Simeonov *et al.* (2014) found that singleton male lambs are about 4.5 % heavier than singleton female lambs.

Birth weight of lambs delivered by multiparous ewes was 16.8 % heavier than that of lambs out of primiparous ewes. In agreement with Herrera *et al.* (2008) lambs from the second and third lambing are on average 18.7 and 22.6 % heavier than those from the first lambing, which in part is explained by a larger size ewe at an older age.

Lamb weight at weaning (13.5 kg) is within the range of 9.0 to 16.5 kg reported for Pelibuey lambs managed on grazing conditions (Herrera *et al.*, 2008; Carrillo *et al.*, 1987; Fonseca, 2003; Hinojosa- Cuéllar *et al.*, 2012). On average, lambs on the silvopastoral system were 10 % heavier at weaning than those on the conventional system. Primiparous and multiparous ewes and ewes delivering singletons or multiples weaned lambs with similar weights. This is in contrast with Herrera *et al.* (2008) and Carrillo *et al.* (1987) who found weaning weights 5 % heavier for singletons than for multiples.

Lamb birth weight as a covariate, was important for lamb weaning weight. On average, a difference in one kg of lamb birth weight translated into 2.304 kg of lamb weaning weight. For Pelibuey sheep, Hinojosa-Cuéllar *et al.* (2012) reported a slightly smaller regression coefficient of weaning weight on birth

weight of 0.828 kg. Likewise, weaning age as a covariate was important for lamb weaning weight. On average, a difference in one day of age at weaning translated into 0.108 kg of lamb weaning weight. Fonseca (2003) has found that the highest milk production of the Pelibuey ewe is from lambing to day 17th of lactation, whereas from day 90 onwards daily milk yield drops.

Trajectory of litter weight from birth to weaning

The trajectory of litter weight of ewes on the silvopastoral system was more desirable than that of ewes on the conventional system. On average, daily litter weight gain was 22 % higher for litters of ewes on the silvopastoral system than that of their counterparts on the conventional system. Our results are in agreement with those of Fonseca (2003) that managed single rearing and twin rearing Pelibuey ewes grazing on native grass and supplemented with protein bank of leucaena or concentrate feed. He found higher average daily gains for single reared (15 %) and twin reared (13.2 %) leucaena supplemented than those supplemented with concentrate feed. However, de Combellas (1999) did not find differences in average weight gain from birth to weaning of lambs whose mothers were grazing tropical pasture and supplemented either with concentrate feed or leucaena foliage. León *et al.* (2008) calculated that supplementing Pelibuey ewes with 1.5 kg leucaena foliage animal⁻¹ d⁻¹ will translate in 33 % increase of lamb live weight at 60 days of age.

Regarding an intensive silvopastoral system for sheep, Barros-Rodríguez *et al.* (2012) concluded that a system with 55,000 *Leucaena leucocephala* plants ha⁻¹ associated with tropical grasses such as *Panicum maximum* and *Cynodon nlemfluensis* reduced 30 % the average weight gain of lambs from birth to weaning. In contrast, such production systems but with a lower *Leucaena leucocephala* plant density of 35,000 plants ha⁻¹ did not reduce the average weight gain of lambs from birth to weaning. Such a reduced lamb growth performance could be due to the consumption of high quantities of metabolites derived from the mimosine compound that reduces feed intake.

3.6 Conclusions

Pelibuey ewes grazed on an intensive silvopastoral system of *leucaena* associated with African star grass, display a more desirable BCS trajectory from breeding to weaning, deliver lambs and litters with similar birth weight, but with heavier weaning weights than those raised by ewes grazed on conventional system of African star grass pasture alone.

3.7 Acknowledgements

The author thanks the Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología for financial support during Master of Science studies. Thanks also grateful to Agronegocios Chapingo S. C. de R. L. de C. V., for the facilities granted for the realization of experimental trial and use of experimental animals.

3.8 References

- Bacab H., M., N. B. Madera, F. J. Solorio, F. Vera, y D. F. Marrufo. 2013. Los sistemas silvopastoriles intensivos con *Leucaena leucocephala*: una opción para la ganadería tropical. *Avances en Investigación Agropecuaria* 17: 67-81.
- Barros-Rodríguez, M., J. Solorio-Sánchez, J. Ku-Vera, A. Ayala-Burgos, C. Sandoval-Castro, and G. Solís-Pérez. 2012. Productive performance and urinary excretion of mimosine metabolites by hair sheep grazing in a silvopastoral system with high densities of *Leucaena leucocephala*. *Tropical Animal Health and Production* 44: 1873–1878.
- Carrillo A., L., A. Velázquez M., y T. Ornelas G., 1987. Algunos factores ambientales que afectan el peso al nacer y al destete de corderos Pelibuey. *Técnica Pecuaria México*. 25: 289-295.
- Cruz S., F., y R. López F. 1991. Estudio de caracteres productivos y reproductivos del ovino Pelibuey. *Folia amazónica IIAP* 3: 149-159.
- Cruz M., E., R. García M., G. Miranda M., A. León E., e Y. Fonseca J. 1999. Relación entre peso vivo, condición corporal e indicadores bioquímicos de la nutrición en ovejas vacías y secas de la raza Pelibuey. *Archivos de Zootecnia* 48: 223-226.
- De Combellas, J. 1999. Comportamiento productivo de ovejas West Africaii pastoreando pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*) y leucaena (*Leucaena leucocephala*). *Revista Facultad de Agronomía* 16: 204-210.
- De Combellas, J., L. Ríos, A. Osea, y J. Rojas. 1999. Efecto de la suplementación con follaje de leguminosas sobre la ganancia en peso de

- corderas recibiendo una dieta basal de pasto de corte. *Revista Facultad de Agronomía* 16: 211-216.
- Espinoza, F., C. Araque, L. León, H. Quintana, y E. Perdomo. 2001. Efecto del banco de proteína sobre la utilización del pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*) en pastoreo con ovinos. *Zootecnia Tropical* 19: 307-318.
- Figueredo B., L., y M. I. Del Toro. 2005. Los ovinos. Una producción de bajos insumos. *Revista Electrónica de Veterinaria* 9: 19 p.
- Fonseca F., N. 2003. Contribución al estudio de la alimentación del ovino Pelibuey cubano. Tesis Doctoral. Universidad de Granma. Cuba. 161 p.
- Galina M., A., R. Morales, E. Silva, and B. López. 1996. Reproductive performance of Pelibuey and Blackbelly sheep under tropical management systems in Mexico. *Small Ruminant Research* 22: 31-37.
- García M., E. 2004. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen (para Adaptarlo a las Condiciones Climáticas de la República Mexicana). Quinta Edición. Instituto de Geografía. México. 252 p.
- García D., E., H. B. Wencomo, M. E. Gonzales, M. G. Medina, L. J. Cova, y I. Spengler. 2008. Evaluación de diecinueve accesiones de *Leucaena leucocephala* en la calidad nutritiva del forraje. *Zootecnia Tropical* 26: 9-18.
- Gardner, D. S., P. J. Buttery, Z. Daniel, and M. E. Symonds. 2007. Factors affecting birth weight in sheep: maternal environment. *Reproduction* 133: 297-307.
- Herrera, J., P. Pulgarón, y A. C. Noda. 2008. Comportamiento productivo de ovinos Pelibuey en un sistema con bajos insumos. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 42: 45-49.
- Hinojosa-Cuéllar, J. A, J. Oliva-Hernández, G. Torres-Hernández, J. C. Segura-Correa, E. M. Aranda-Ibáñez, y J. M. González-Camacho. 2012. Factores que afectan el crecimiento predestete de corderos Pelibuey en el trópico húmedo de México. *Universidad y Ciencia* 28: 163-171.
- Izaguirre F., T., J. J. Martínez, F. J. G. O. Jiménez, C. S. Posada, C. C. G. García y P. G. Martínez. 2011. Reproductive and productive response of Pelibuey ewes to supplementation with leaves of *Caulote* (*Guazuma ulmifolia*), Guaje (*Leucaena leucocephala*) and Yaite (*Gliricidia sepium*) in the humid tropics. *Livestock Research for Rural Development* 23: 10.
- Jiménez R., J. D., y M. Ortiz T. 2013. Composición mineral de leucaena (*Leucaena leucocephala* Lam. de Wit) asociada con pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis* Vandyke) en la región huasteca potosina de México. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 40 p.
- León A., E., A. Rodríguez C., M. C. Olmos C., Y. Fonseca J., y A. Labrada S. 2008. Inclusión de follaje fresco de leucaena y miel-urea en dietas de

- ovejas reproductoras Pelibuey cubana lactantes explotadas en pastos naturalizados. *Zootecnia Tropical* 26: 367-370.
- Littell, R.C., J. Pendergast, and R. Natarajan. 2000. Tutorial in Biostatistics. Modelling covariance structure in the analysis of repeated measures data. *Statistics in Medicine* 19: 1793-1819.
- López Y., J. Arece, E. León, y N. Aróstica. 2011. Comportamiento productivo de reproductoras ovinas en un sistema silvopastoril. *Pastos y Forrajes* 34: 87-96.
- Manazza J. 2006. Condición corporal en ovinos. *Visión Rural* 60: 1-3.
- Martínez M., M., y A. Reyes C. 2013. Composición nutricional de la leucaena (*Leucaena leucocephala* Lam. de Wit) asociada con pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis* Vanderyst) en la región huasteca potosina. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 73 p.
- Maya M., G. E, C. V. Durán C., y J. E. Ararat. 2005. Valor nutritivo del pasto estrella solo y en asociación con leucaena a diferentes edades de corte durante el año. *Acta Agronómica* 54(4): 41-46.
- Navarro D., L., M. Ramírez G., y A. Torres D. 1987. Peso al nacer destete y seis meses de edad en corderos West African en la mesa de Guanipa. *Zootecnia Tropical* 5: 41-57.
- Ramírez A., L., L. López B., J. Petit A., y J.C. Ku V. 2011. Producción ovina en sistemas agroforestales en el trópico. *Bioagrociencias* 4: 33-42.
- Ripoll-Bosch, R., D. Villalba, I. Blasco, I. Casasús, S. Congost, F. Falo, R. Revilla, y M. Joy. 2011. Factores que afectan a la variabilidad de peso y de condición corporal al parto y al destete de ovejas de raza Ojinegra en condiciones productivas. XIV Jornadas sobre Producción Animal, Tomo I, 118-120.
- SAS (Statistical Analysis System Institute). 2009. SAS/STAT 9.3 User's Guide. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA. 564 p.
- Schaeffer, L. R. 2004. Application of random regression models in animal breeding. *Livestock Production Science* 86: 35–45.
- Simeonov, M., N. Todorov, K. Nedelkov, A. Kirilov, and D. L. Harmon. 2014. Influence of live weight, sex and type of birth on growth and slaughter characteristics in early weaned lambs. *Small Ruminant Research* 121: 188–192.
- Tariq, M. M., M. A. Bajwa, K. Javed, A. Waheed, M. A. Awan, M. Rafeeq, N. Rashid, and M. Shafee. 2013. Identification of environmental factors affecting pre weaning performance of Mengali sheep of Balochistan. *The Journal of Animal and Plant Sciences* 23: 340-344.
- Teleb F., D., E. O. H. Saifelnasr, and E. H. El-Sayed. Factors affecting performance and survivability of Saidi lambs from lambing to weaning. 2009. *Egyptian Journal of Sheep & Goat Sciences* 4: 55-74.

Vatankhah, M., M. A. Talebi, and F. Zamani. 2012. Relationship between ewe body condition score (BCS) at mating and reproductive and productive traits in Lori-Bakhtiari sheep. *Small Ruminant Research* 106: 105-109.